Univerza v Ljubljani
Zdravstvena fakulteta

Univerzitetni učbenik za študente naravoslovno - tehničnih programov

# AKVAPONIKA

Uredniki:
Ranka Junge, Nadine Antenen, Morris Villarroel,
Tjaša Griessler Bulc, Andrej Ovca, Sarah Milliken

AQU@TEACH:

Innovative educational techniques to promote learning among European students using aquaponics

Erasmus+

AQU@TEACH

Ljubljana, 2021

Akvaponika

Univerzitetni učbenik za študente naravoslovno – tehničnih programov

**Uredniki:** Ranka Junge, Nadine Antenen, Morris Villarroel, Tjaša Griessler Bulc, Andrej Ovca, Sarah Milliken

**Avtorji:** Ranka Junge, Nadine Antenen, Fridolin Tschudi, Sarah Milliken, Benz Kotzen, Morris Villarroel, Fernando Torrent,Tjaša Griessler Bulc, Andrej Ovca, Franja Prosenc, Darja Istenič, Darja Rugelj, Uroš Strniša, Marija Gregori

**Recenzentki:** izr. prof. dr. Nataša Atanasova in doc. dr. Aleksandra Krivograd Klemenčič

**Založila in izdala:**
Univerza v Ljubljani, Zdravstvena fakulteta Zdravstvena pot 5, Ljubljana

Publikacija je dostopna v PDF formatu na spletni strani:

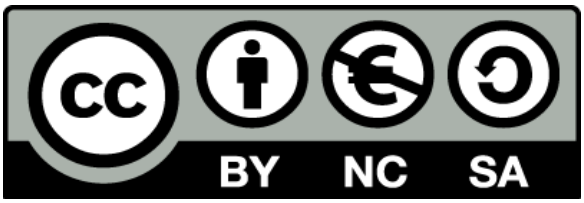
https://www.zf.uni-lj.si/images/stories/datoteke/Zalozba/Akvaponika.pdf

Ljubljana, 2021

Copyright © Partnerji projekta Aqu@teach

Aqu@teach je projekt v okviru strateškega partnerstva Erasmus+ v visokem šolstvu (2017–2020), ki ga je vodila Univerza Greenwich v sodelovanju z Univerzo uporabnih znanosti v Zürichu (Švica), Tehniško univerzo v Madridu (Španija), Univerzo v Ljubljani (Slovenija) in Biotehniškim centrom Naklo (Slovenija).

To delo je zaščiteno z licenco Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0) / Priznanje avtorstva-Nekomercialno-Deljenje pod enakimi pogoji. Dovoljeno je deljenje (kopiranje in razširjanje) vsebin na kakršnemkoli mediju in obliki, predelovanje, urejanje, predelava in vključevanje vsebine v lastna dela. Primerno morate navesti avtorja, povezavo do licence in označiti spremembe, če so nastale. To lahko storite na kakršenkoli razumen način, vendar ne na način, ki bi namigoval na to, da dajalec licence podpira vas ali vašo uporabo dela. Te vsebine ne smete uporabiti v komercialne namene




Kataložni zapis o publikaciji (CIP) pripravili v Narodni in univerzitetni knjižnici v Ljubljani
COBISS.SI-ID=55452163
ISBN 978-961-7112-03-0 (pdf)

# Predgovor

Z rastjo svetovnega števila prebivalcev se povečuje potreba po večji in učinkovitejši proizvodnji hrane. Proizvodnja lokalne, sveže in zdrave hrane z upoštevanjem zahtev po varčevanju s pitno vodo ter drugimi naravnimi viri zagotovo sodi med bolj trajnostne načine pridelave hrane.

Pred vami je učbenik o akvaponični pridelavi hrane, ki je po svojem načinu trajnostna, hkrati pa omogoča poglobitev razumevanja o kroženju vode ter hranilih, ki je bistveno tudi z vidika prilagajanja na podnebne in druge okoljske spremembe. Akvaponični sistem združuje hidroponično pridelavo rastlin v povezavi z akvakulturo. Z besedo akvakultura pojmujemo gojenje vodnih organizmov, kot so ribe, mehkužci, raki, pri čemer najpogosteje gojimo ribe. Hidroponika je opredeljena kot postopek gojenja rastlin brez uporabe tal, pri čemer za rast rastlin uporabljamo različne medije za oporo in oskrbo rastlin s hranili. V akvaponiki voda neprestano kroži, ribji presnovki se s pomočjo bakterij pretvarjajo v rastlinam uporabna hranila, pri čemer se voda čisti. Akvaponika je zaradi uporabe naravnih hranil in majhne porabe pitne ali padavinske vode okolju in uporabniku prijazna. Cilj akvaponike je ravnovesje hranil v sistemu, ki je osnova za ustrezno delovanje sistema. Razumevanje delovanja akvaponike nam zato omogoča razumevanje biološkega ravnovesja, ki je ključno pri vzpostavljanju dinamičnih ravnovesij v naravnih, sonaravnih ali umetnih ekosistemih.

Način podajanja znanja v učbeniku sloni na predpostavki, da so študentje že usvojili osnovna znanja iz inženirstva ter ekologije s poudarkom na biogeokemijskih krogih. V 15 ločenih poglavjih učbenika so razloženi principi delovanja akvaponike, principi gojena rib, kroženje hranil s kinetiko procesov, hidroponična pridelava rastlin, obvladovanje bolezni, monitoring delovanja sistema, zagotavljanje varnosti pridelane hrane ter način zasnove raziskav, načrtovanje akvaponike z upoštevanjem socialnega vidika, kot je podpora skupnostim za pridelavo hrane in starejšim za zadovoljevanje njihovih gibalnih, kognitivnih in socialnih potreb. Skozi poglavja se s teoretičnimi izhodišči prepletajo praktični primeri, ki bralcu omogočajo celovitejšo predstavo obravnavane teme. Učbenik je namenjen predvsem študentom študijskega programa sanitarno inženirstvo in študentom na študijski izmenjavi, ki v okviru različnih predmetov prve in druge stopnje obravnavajo vsebine s področja okoljskih tehnologij, obvladovanja škodljivcev ter varnosti in kakovosti živil. Poleg tega učbenik predstavlja uporabno gradivo tudi drugim strokam (npr. živilska tehnologija, agronomija, vodarstvo, arhitektura, biologija, krajinska arhitektura itd.), ki oblikujejo ali načrtujejo tehnološke postopke in infrastrukturne rešitve, tudi sonaravne, za pridelavo hrane ter izboljšanje stanja okolja in zdravja ljudi.

Učbenik je nastal v okviru mednarodnega projekta Aqua@teach, programa Erasmus plus v sodelovanju Zdravstvene fakultete Univerze v Ljubljani z univerzami v Greenwichu v Veliki Britaniji, Madridu v Španiji, Züriško univerzo uporabnih znanosti v Švici in Biotehniškim centrom Naklo. Na Zdravstveni fakulteti Univerze v Ljubljani, so bili vključeni Oddelki za sanitarno inženirstvo, fizioterapijo in delovno terapijo ter Znanstveno raziskovalni inštitut. Učbenik je na voljo v slovenski, angleški, nemški in španski različici.

Za nastanek učbenika se avtorji zahvaljujemo vsem, ki so kakor koli sodelovali pri njegovem nastanku. Posebej se zahvaljujemo dr. Mariji Tomšič in študentki Piji Leban. Zahvaljujem se tudi vsem študentom, ki so sodelovali v projektu Aqua@teach in so s svojimi komentarji, predlogi, testiranjem učnega gradiva ter sodelovanjem na poletnih šolah prispevali h končni vsebini učbenika. V bodočih generacijah študentov pa avtorji vidimo veliko možnosti za nove predloge, ki predstavljene vsebine lahko še izboljšajo.

Avtorji

# KAZALO VSEBINE

## 1 TEHNOLOGIJA AKVAPONIKE (Ranka Junge, Nadine Antenen)


**1.1 UVOD V TEHNOLOGIJO AKVAPONIKE ..... 9**

**1.2 ELEMENTI AKVAPONSKEGA SISTEMA ..... 11**

1.2.1 RIBOGOJSTVO ..... 11

1.2.2 HIDROPONIKA ..... 12

**1.3 RAZVRŠČANJE AKVAPONIKE ..... 12**

1.3.1 RAZVRSTITEV AKVAPONSKIH SISTEMOV GLEDE NA NAČIN DELOVANJA: OBSEŽNO (Z INTEGRIRANO UPORABO BLATA) IN INTENZIVNO (Z ODVAJANJEM BLATA) ..... 14

1.3.2 UPRAVLJANJE VODNEGA KROGA ..... 15

1.3.3 VRSTA HIDROPONSKEGA SISTEMA V AKVAPONIKI ..... 16

1.3.4 IZRABA PROSTORA: VODORAVNI IN NAVPIČNI SISTEMI ..... 18

**1.4 ZGODOVINA AKVAPONIKE ..... 18**

**1.5 PRIMERI AKVAPONSKIH SISTEMOV PO VSEM SVETU ..... 20**

1.5.1 EVROPA ..... 20

1.5.2 AZIJA ..... 22

1.5.3 AMERIKA ..... 23

1.5.4 AVSTRALIJA ..... 24

**1.6 NAJNOVEJŠE RAZISKAVE V AKVAPONIKI ..... 24**

1.6.1 USMERITVE V TEHNOLOGIJI ..... 24

1.6.2 USMERITVE NAČRTOVANJA SISTEMOV ..... 25

1.6.3 DRUŽBENOEKONOMSKE RAZISKAVE ..... 25

**1.7 LITERATURA ..... 26**


## 2 RIBOGOJSTVO (Ranka Junge, Nadine Antenen, Fridolin Tschudi)


**2.1 UVOD V RIBOGOJSTVO ..... 30**

**2.2 RECIRKULACIJSKI RIBOGOJNI SISTEM (RAS) ..... 31**

2.2.1 BAZEN ZA RIBE ..... 32

2.2.2 LOČEVANJE TRDNIH SNOVI IZ VODE ..... 34

2.2.3 DEZINFEKCIJA ..... 35

2.2.4 BIOFILTRACIJA ..... 36

2.2.5 RAZPLINJEVANJE IN AERACIJA ..... 36

2.2.6 ČRPALKE IN ČRPALNE JAME ..... 37

**2.3 UPRAVLJANJE RAS ..... 38**

2.3.1 GOSTOTA RIBJEGA STALEŽA ..... 38
2.3.2 MONITORING ..... 39
**2.4 NAČRTOVANJE RECIRKULACIJSKEGA DELA RIBOGOJSTVA ZA AKVAPONSKI SISTEM ..... 43**
**2.5 LITERATURA ..... 44**
**3 ANATOMIJA, ZDRAVJE IN DOBRO POČUTJE RIB (Morris Villarroel)**
**3.1 SPLOŠNA ZUNANJA ANATOMIJA ..... 45**
**3.2 SPLOŠNA NOTRANJA ANATOMIJA ..... 49**
**3.3 RESPIRATORNA FIZIOLOGIJA ..... 52**
**3.4 DOBRO POČUTJE RIB ..... 52**
3.4.1 UVOD ..... 52
3.4.2 ZAKONODAJA V EU ..... 53
3.4.3 POSEBNI UKREPI ZA OCENO DOBREGA POČUTJA ..... 54
3.4.4 OS HPI IN ODZIV NA STRES ..... 54
3.4.5 GOJITVENI KAZALNIKI DOBREGA POČUTJA ..... 55
**3.5 LITERATURA ..... 56**
**4 HRANJENJE IN RAST RIB (Morris Villarroel, Fernando Torrent)**
**4.1 UVOD V KRMLJENJE RIB ..... 59**
**4.2 ENERGIJSKE POTREBE ..... 60**
**4.3 GLAVNI MEDSEBOJNI VPLIVI KRMLJENJA IN OKOLJSKIH DEJAVNIKOV ..... 61**
4.3.1 ABIOTSKI DEJAVNIKI ..... 61
4.3.2 BIOTSKI DEJAVNIKI ..... 62
**4.4 PREDVIDENA SESTAVA RIBJE KRME IN OSNOVNE HRANILNE SNOVI ..... 63**
**4.5 VRSTA KRME ..... 65**
**4.6 STRATEGIJE KRMLJENJA ..... 65**
**4.7 SAMODEJNI KRMILNIKI ..... 68**
**4.8 NAČRT PROIZVODNJE IN SPREMLJANJE RAZVOJA RIBOGOJNICE ..... 69**
**4.9 OBLIKOVANJE KRME ZA AKVAPONIKO ..... 71**
**4.10 LITERATURA ..... 75**
**5 RAVNOVESJE VODOTOPNIH HRANIL (Ranka Junge)**
**5.1 MAKRO- IN MIKROHRANILA ..... 77**
5.1.1 KEMIJSKI ELEMENTI ..... 77
5.1.2 MAKRO- IN MIKROHRANILA TER NJIHOVA VLOGA V ŽIVIH ORGANIZMIH ..... 78
**5.2 BIOGEOKEMIJSKO KROŽENJE GLAVNIH HRANIL V AKVAPONIKI ..... 80**

5.2.1 KROŽENJE DUŠIKA ..... 80
5.2.2 KROŽENJE FOSFORJA ..... 85
**5.3 PREHRANA RASTLIN ..... 86**
5.3.1 NUJNO POTREBNI ELEMENTI ..... 86
5.3.2 RAZPOLOŽLJIVOST HRANIL IN pH ..... 90
5.3.3 MOTNJE V PRESNOVI HRANIL V RASTLINAH ..... 92
**5.4 OSKRBA S HRANILI V AKVAPONIKI ..... 95**
**5.5 LITERATURA ..... 98**
**6 HIDROPONIKA (Sarah Milliken, Ranka Junge)**
**6.1 UVOD V HIDROPONIKO ..... 102**
6.1.1 NAČELA HIDROPONIKE ..... 102
6.1.2 PREDNOSTI HIDROPONIKE ..... 102
6.1.3 POMANJKLJIVOSTI HIDROPONIKE ..... 103
**6.2 HIDROPONSKI SISTEM ..... 103**
6.2.1 HIDROPONIKA Z RASTNIMI GREDAMI ..... 104
6.2.2 TEHNIKA HRANILNIH FILMOV (NFT) ..... 107
6.2.3 GLOBOKOVODNA KULTURA (DWC) ..... 109
6.2.4 AEROPONIKA ..... 109
**6.3 ANATOMIJA RASTLIN, FIZIOLOGIJA IN RASTNE ZAHTEVE ..... 110**
6.3.1 ANATOMIJA RASTLIN ..... 110
6.3.2 FIZIOLOGIJA RASTLIN ..... 111
6.3.3 RASTNE ZAHTEVE ..... 114
**6.4 SPLOŠNE PRAKSE GOJENJA ..... 116**
6.4.1 SADIKE IZ SEMEN ..... 116
6.4.2 PRESADITVE IZ POTAKNJENCEV ..... 119
6.4.3 SADIKE Z UPORABO CEPLJENK ..... 119
**6.5 GNOJENJE ..... 120**
**6.6 NADZORNI SISTEMI V RASTLINJAKU ..... 121**
6.6.1 RAZSVETLJAVA ..... 122
6.6.2 TEMPERATURA IN VLAŽNOST ..... 124
6.6.3 OGLJIKOV DIOKSID ($CO_2$) ..... 125
6.6.4 KROŽENJE ZRAKA ..... 125
6.6.5 SISTEMI ZA NADZOR OKOLJA ..... 125
**6.7 LITERATURA ..... 126**

# 7 RASTLINSKE VRSTE (Sarah Milliken)

**7.1 UVOD** ..... **128**

**7.2 IZBIRA RASTLIN** ..... **130**

7.2.1 LISTNATA ZELENJAVA ..... 130

7.2.2 ZELIŠČA ..... 136

7.2.3 PLODOVKE ..... 141

7.2.4 IZBIRA POLJŠČIN ZA RAZLIČNE SISTEME ..... 148

**7.3 NAČRTOVANJE POSEVKOV** ..... **150**

**7.4 LITERATURA** ..... **152**

# 8 CELOSTNO OBVLADOVANJE ŠKODLJIVCEV
## (Marija Gregori, Sarah Milliken, Ranka Junge)

**8.1 KONCEPT CELOSTNEGA ZATIRANJA ŠKODLJIVCEV (IPM)** ..... **154**

**8.2 ZAŠČITNI UKREPI ZA CELOVITO ZATIRANJE ŠKODLJIVCEV** ..... **156**

8.2.1 HIGIENA OKOLJA ..... 157

8.2.2 ODPORNE RASTLINSKE VRSTE ..... 157

8.2.3 RAZMIK MED RASTLINAMI ..... 158

8.2.4. USTREZNA OSKRBA S HRANILI ..... 158

8.2.5 MONITORING ..... 158

8.2.6 FIZIČNA ZAŠČITA ..... 159

8.2.7 PODPORA NARAVNO PRISOTNIM ORGANIZMOM ..... 159

8.2.8 ČE VSE DRUGO ODPOVE ..... 155

**8.3 NAJPOGOSTEJŠI ŠKODLJIVCI IN BOLEZNI** ..... **161**

8.3.1 PREPOZNAVA ŠKODLJIVCEV IN BOLEZNI ..... 161

8.3.2 POGOSTE BOLEZNI RASTLIN ..... 162

8.3.3 POGOSTI RASTLINSKI ŠKODLJIVCI ..... 164

**8.4 BIOLOŠKI NADZOR ŠKODLJIVCEV** ..... **167**

8.4.1 NARAVNI SOVRAŽNIKI ŠKODLJIVCEV ..... 167

8.4.2 PRIMERI BIOLOŠKIH SREDSTEV ..... 169

**8.5 LITERATURA** ..... **176**

# 9 MONITORING PARAMETROV (Franja Prosenc, Tjaša Griessler Bulc)

**9.1 UVOD V MONITORING** ..... **177**

9.1.1 ZNANSTVENI PARAMETRI ..... 177

9.1.2 ZAKAJ IZVAJATI MONITORING? ..... 178

9.1.3 RAZLIČNI PRISTOPI K MONITORINGU ..... 173

9.1.4 Razvrstitev parametrov za monitoring ..... 179
9.1.5 Pogostost monitoringa ..... 180
**9.2 POMEMBNI PARAMETRI V AKVAPONIKI ..... 181**
9.2.1 Tehnologija ..... 181
9.2.2 Kakovost vode ..... 183
9.2.3 Zdravje rastlin ..... 190
9.2.4 Zdravje rib ..... 193
9.2.5 Drugi parametri ..... 196
**9.3 LITERATURA ..... 197**

## 10 VARNOST HRANE (Andrej Ovca, Tjaša Griessler Bulc)

**10.1 ZAKONODAJA ..... 200**
**10.2 TVEGANJA ZA VARNOST HRANE V AKVAPONIKI ..... 201**
**10.3 DOBRA KMETIJSKA IN DOBRA HIGIENSKA PRAKSA ..... 203**
10.3.1 Lokacija, zasnova in postavitev rastlinjaka ..... 204
10.3.2 Oprema ..... 205
10.3.3 Osebna higiena ..... 206
10.3.4 Oskrba z vodo ..... 209
10.3.5 Ribja krma ..... 210
10.3.6 Obiranje in predelava pridelka ..... 210
10.3.7 Čiščenje in razkuževanje ..... 213
10.3.8 Nadzor nad škodljivci in živalmi ..... 215
10.3.9 Odpadne in nevarne snovi ..... 216
**10.4 SISTEM HACCP ..... 217**
**10.5 LITERATURA ..... 219**

## 11 METODE ZNANSTVENEGA RAZISKOVANJA
**(Darja Istenič, Tjaša Griessler Bulc, Sarah Milliken, Morris Villarroel)**

**11.1 KAJ JE ZNANOST, KAJ JE RAZISKAVA? OSNOVNI POJMI ..... 221**
11.1.1 Splošne definicije ..... 221
11.1.2 Raziskovalni besednjak ..... 221
**11.2 OSNOVE METODOLOGIJE ZNANSTVENEGA RAZISKOVANJA ..... 224**
11.2.1 Zasnova raziskav ..... 225
11.2.2 Predhodni koraki ..... 226
11.2.3 Zasnova protokola ..... 229
11.2.4 Analiza rezultatov ..... 233

11.2.5 OBJAVA POROČIL O RAZISKAVAH ..... 235
**11.3 METODOLOGIJA ZNANSTVENEGA RAZISKOVANJA, KI SE UPORABLJA ZA AKVAPONIKO ..... 239**
**11.4 LITERATURA ..... 242**
**12 NAČRTOVANJE IN GRADNJA**
**(Uroš Strniša, Ranka Junge, Fridolin Tschudi, Morris Villarroel)**
**12.1 ZAČETEK NAČRTOVANJA AKVAPONSKEGA SISTEMA ..... 244**
**12.2 ŠTUDIJA IZVEDLJIVOSTI: LOKACIJA IN INFRASTRUKTURA ..... 246**
**12.3 BAZEN ZA RIBE ..... 247**
12.3.1 PROSTORNINA ..... 247
12.3.2 OBLIKA BAZENA ZA RIBE ..... 248
12.3.3 VIŠINA IN RAZMERJA ..... 249
12.3.4 MATERIALI ..... 250
12.3.5 POKROV BAZENA ..... 251
12.3.6 PRETOK VODE ..... 251
**12.4 LOČEVANJE TRDNIH SNOVI ..... 252**
**12.5 BIOFILTER ..... 256**
12.5.1 ALI JE POTREBEN LOČEN BIOFILTER ..... 256
12.5.2 IZBIRA BIOFILTRA ..... 256
12.5.3. RAZPLINJEVANJE IN PREZRAČEVANJE ..... 258
**12.6 RASTNE GREDE ..... 261**
12.6.1 PRETOK VODE IN POZICIONIRANJE RASTNIH GRED ..... 261
12.6.2 GRADBENI MATERIAL ..... 262
12.6.3 DOTOK IN ODTOK VODE ..... 262
**12.7 STIKI, GIBANJE IN ZRAČENJE VODE ..... 262**
12.7.1 VODOVOD ..... 262
12.7.2 PRETOK VODE IN ČRPALKE ..... 263
**12.8 UPRAVLJANJE AKVAPONSKEGA SISTEMA ..... 265**
12.8.1 OSNOVNI POSTOPKI DELOVANJA IN VZDRŽEVANJA SISTEMA ..... 265
12.8.2 OKVARE SISTEMA IN DELOVANJE V IZREDNIH RAZMERAH ..... 267
**12.9 LITERATURA ..... 268**
**13 URBANO KMETIJSTVO (Sarah Milliken)**
**13.1 UVOD V URBANO KMETIJSTVO ..... 269**
**13.2 TIPOLOGIJA KOMERCIALNEGA KMETIJSTVA V NOTRANJIH PROSTORIH ..... 271**
13.2.1 RASTLINJAKI NA STREHAH STAVB ..... 271

13.2.2 Prostostoječi rastlinjaki ... 273
13.2.3 Vertikalna pridelava hrane in tovarne rastlin ... 273
13.2.4 Kmetijska pridelava hrane v ladijskih zabojnikih ... 278
**13.3 VZDRŽNOST (TRAJNOST) KOMERCIALNE KMETIJSKE PRIDELAVE V NOTRANJIH PROSTORIH ... 279**
13.3.1 Okoljska vzdržnost (trajnost) ... 279
13.3.2 Ekonomska vzdržnost (trajnost) ... 280
13.3.3 Urbano kmetijstvo in krožno gospodarstvo ... 282
**13.4 ZAKONODAJA IN UPRAVLJANJE ... 283**
**13.5 POSLOVNI MODELI URBANEGA KMETIJSTVA ... 286**
**13.6 ZAKLJUČKI ... 293**
**13.7 LITERATURA ... 294**

## 14 VERTIKALNA AKVAPONIKA (Sarah Milliken)

**14.1 UVOD ... 296**
**14.2 RASTNI STOLPI ... 297**
**14.3 ZLOŽENE RASTNE GREDE ... 303**
**14.4 SISTEMI Z A-OKVIRJEM ... 307**
**14.5 ŽIVE STENE ... 309**
**14.6 ZAKLJUČKI ... 312**
**14.7 LITERATURA ... 312**

## 15 DRUŽBENI VIDIKI AKVAPONIKE (Sarah Milliken, Darja Rugelj, Ranka Junge)

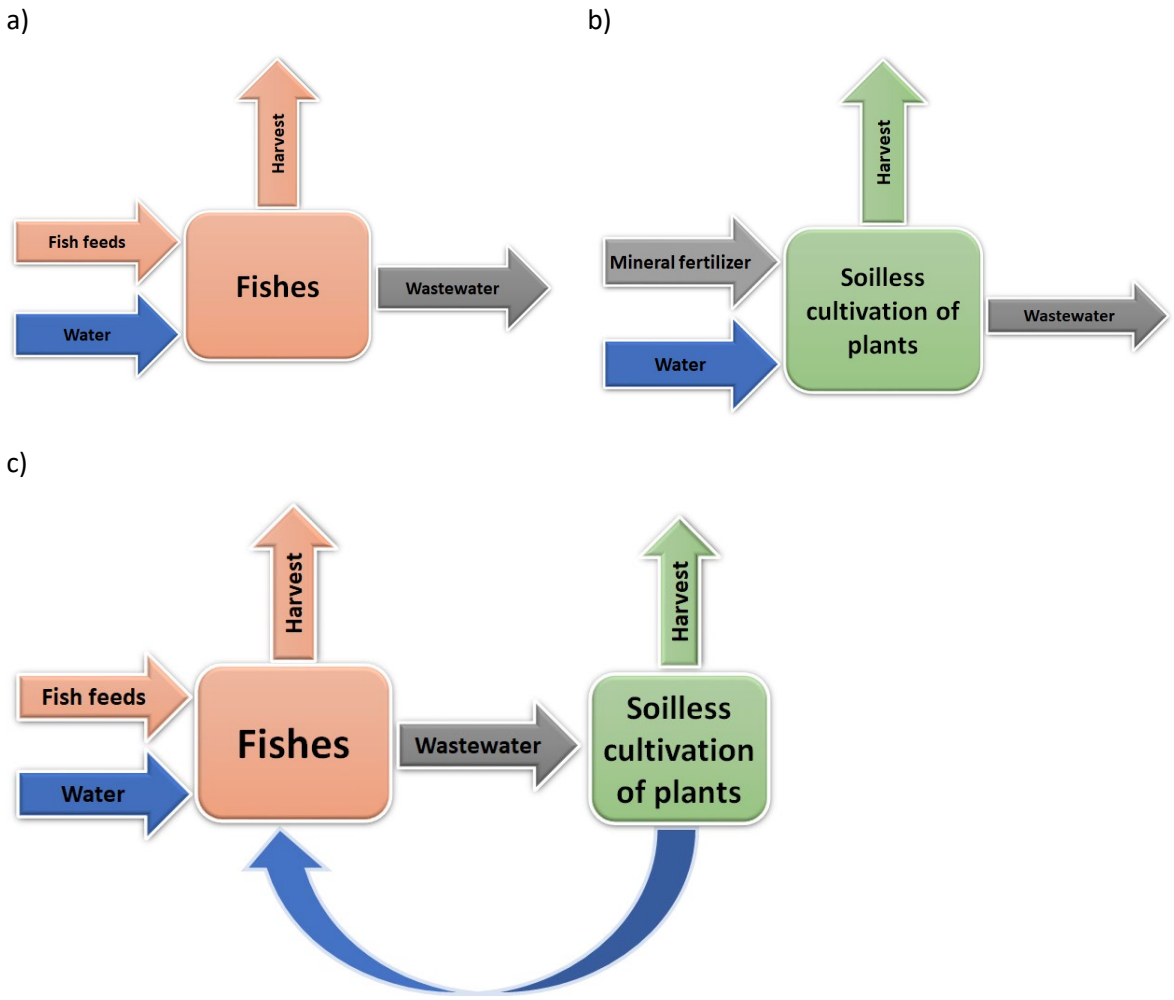
**15.1 UVOD ... 315**
15.1.1 Prehranska preskrbljenost ... 315
15.1.2 Prehranska puščava ... 318
15.1.3 Prehranska suverenost ... 319
15.1.4 Alternativna prehranska mreža ... 320
**15.2 AKVAPONIKA IN SOCIALNA PODJETJA ... 322**
**15.3 AKVAPONIKA KOT IZOBRAŽEVALNO ORODJE ... 324**
**15.4 AKVAPONIKA IN DOBRO POČUTJE ... 325**
**15.5 AKVAPONIKA ZA ZAGOTAVLJANJE DOBREGA POČUTJA STAREJŠIH OSEB ... 327**
15.5.1 Kognitivno vedenje ... 327
15.5.2 Senzorično-motorično integracija ... 328
15.5.3 Gibalne sposobnosti ... 330
**15.6 LITERATURA ... 332**

**Ranka Junge, Nadine Antenen**

# 1. TEHNOLOGIJA AKVAPONIKE

## 1.1 Uvod v tehnologijo akvaponike

Zaradi hitrega naraščanja prebivalstva, čedalje večjih potreb po hrani in urbanizacije so kmetijska zemljišča danes čedalje manjša, oceani pa so čedalje bolj izlovljeni. Glede na pričakovane potrebe po hrani v prihodnosti potrebujemo inovativne in ekološke tehnologije za pridelavo hrane, ki ne zavzemajo veliko prostora. Akvaponika je integrirana multitrofična tehnologija pridelave hrane, sestavljena iz dveh sklopov: ribogojstva in hidroponike (pridelava zelenjave brez uporabe tal). Osnovni cilj akvaponike je ponovna uporaba hranil, ki ostanejo iz krme za ribe ter ribjih iztrebkov za gojenje rastlinskih pridelkov (Graber & Junge 2009; Lennard & Leonard 2004; Lennard & Leonard 2006; Rakocy *et al.* 2003). Združitev ribogojstva in hidroponike preprečuje nekatere netrajnostne vidike neodvisnega ribogojstva oz. hidroponskih sistemov (Somerville *et al.* 2014).




Slika 1: Osnovni snovni tokovi v sistemih ribogojstva (a), hidroponike (b) in akvaponike (c)

**Hidroponika** se v zadnjih desetletjih postaja vse bolj priljubljena predvsem zato, ker omogoča večji pridelek ob zmanjšanju zatiranju škodljivcev in preprečevanju bolezni, ki se prenašajo preko tal. Omogoča tudi večji vpliv na rastne pogoje, da bi zadovoljili optimalne potrebe rastlin, hkrati pa

povečuje učinkovitost uporabe vode in gnojil. Omogoča tudi razvoj kmetijstva na nekakovostnih zemljiščih (Somerville *et al.* 2014), vendar pa ima t. i. konvencionalna hidroponska pridelava tudi pomanjkljivosti: za pridelavo zelenjave se namreč uporablja draga in pogosto neobnovljivo proizvedena kemična gnojila, poleg tega pa za delovanje potrebuje tudi vir energije (npr. električne).

**Ribogojstvo** je lastna reja in gojenje rib ter drugih vodnih živalskih in rastlinskih vrst v nadzorovanih pogojih (Somerville *et al.* 2014). Ribogojstvo postaja vse pomembnejši vir svetovne proizvodnje beljakovin, hkrati pa omejuje ribolov v izlovljenih oceanih. Zaradi različnih tehnik ribogojstva, kot so sistemi odprtih voda, ribniki in pretočni sistemi, v okolje odtekajo odpadne vode, bogate s hranili, kar povzroča evtrofikacijo in hipoksijo v vodnih telesih. Pri t. i. recirkulacijskih sistemih ribogojstva (angl. *Recirculating Aquaculture Systems* – RAS) se ta odpadna voda prečisti in ponovno uporabi.

Ribje iztrebke lahko rastline izrabijo neposredno ali posredno, ko bakterije spremenijo amonijak v nitrit in nitrat. S krmo za ribe se rastline oskrbuje s hranljivimi snovmi, zato nam ni treba odvajati odvečnih hranilnih raztopin ali jih nadomeščati z manjkajočim kot pri hidroponiki. Ne da bi rastlinam/rastlinskim pridelkom dodajali gnojila, se povečuje donosnost sistema. Akvaponika je hitro rastoča kmetijska praksa, ki prinaša koristi, ima pa ta potencialno trajnostni sistem kmetijske proizvodnje tudi pomanjkljivosti (tabela 1). Teoretično bi lahko ta sistem pridelave hrane na regionalni in svetovni ravni lahko rešil nekatere ključne probleme našega planeta: razpoložljivost in uporaba pitne in namakalne vode, onesnaževanje površinskih voda zaradi živinoreje in upravljanje neobnovljivih virov gnojil. Kljub vsem prednostim je za širitev te obetavne tehnologije še vedno veliko teoretičnih in praktičnih ovir.

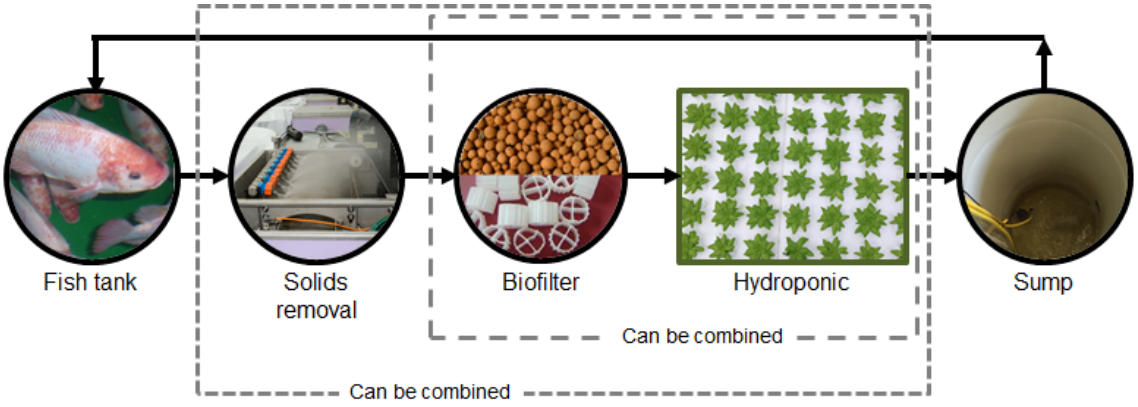
Tabela 1: Prednosti in pomanjkljivosti akvaponike (Diver 2006; Joly *et al.* 2015; Somerville *et al*. 2014)

| Prednosti | Pomanjkljivosti |
|---|---|
| Ohranjanje vodnih virov | Zagon je dražji v primerjavi z drugimi tehnologijami |
| Učinkovita uporaba hranil (krma za ribe) | Potrebno je temeljito poznavanje vpletenih organizmov (rib, rastlin, bakterij) |
| Recikliranje neobnovljivih (fosfor, kalij) in obnovljivih virov, vendar pomanjkljivih (voda) | Zahteve rib in rastlin so lahko različne in jih ni mogoče izpolniti brez večjih vlaganj v tehnologije toplogrednih plinov |
| Brez uporabe kemičnih herbicidov ali pesticidov, ker recikliranje vode znotraj sistema ovira njihovo uporabo zaradi škodljivih učinkov na ribe ali na rastline | Potrebno je stalno (vsakodnevno) upravljanje |
| Zelo omejena uporaba pesticidov biološkega izvora | Potrebuje električno energijo, oskrbo sadik in mladičev (mlade ribe) |
| Višja raven biološke varnosti in manj onesnaževal | V večini evropskih držav je pravni status akvaponike nejasen (poslovna dejavnost, kmetijska dejavnost) |
| Zmanjšani obratovalni stroški (v primerjavi z ribogojstvom ali hidroponiko posebej) | |
| Lahko se uporablja na njivah | |
| Gradbeni materiali in informacije so široko dostopni | |
| Lahko se upravlja v različnih podnebjih ter v podeželskih in mestnih krajih, kar omogoča pridelavo Hrane za posamezno družino ali pridelke za trg | |
| Lahko poveča produktivnost razpoložljivega prostora, saj lahko z iste površine pobiramo dva pridelka (če so bazeni za ribe postavljeni pod obrat za proizvodnjo rastlin) | |

Akvaponika je okolju in podnebju neškodljiva tehnologija za pridelavo hrane in za zadovoljevanje potreb potrošnikov po trajnostnem in zdravem načinu življenja. Če naložba v sistem ni previsoka, je akvaponika zelo primerna za države v razvoju, saj ribe zagotavljajo nujno potrebne beljakovine in vir dohodka. Pridelke visoke vrednosti, kot je zelenjava, lahko gojimo z akvaponiko na območjih, kjer običajni načini kmetovanja lahko proizvajajo samo seme. Ker je sistem običajno zaprt v rastlinjaku, je akvaponika odporna proti podnebnim in vremenskim spremembam, vseeno pa lahko uspešno deluje tudi na prostem. Da naložba ne bi bila previsoka, je rastline namesto v rastlinjaku mogoče gojiti pod preprosto streho, ki ščiti pred neugodnimi vremenskimi razmerami ter preprečuje dostop ptic in drugih živali. To je še posebej izvedljivo za tropske države v razvoju. Kljub pomanjkljivostim naj bi akvaponika v prihodnje postala tehnologija za lokalno pridelavo hrane, npr. v urbanem okolju z manjšimi proizvodnimi enotami, zasnovanimi za domove in restavracije. Za razvoj tehnologije sta potrebna raziskovanje in izobraževanje, zlasti raziskave za optimizacijo proizvodnega procesa za varno in varčno proizvodnjo. Tehnologija spodbuja ustvarjanje novih, t. i. zelenih delovnih mest. Zaradi vse večjega števila akvaponskih kmetij bo oz. je predviden nov poklic: akvaponski kmetovalec (Graber *et al.* 2014).

## 1.2 Elementi akvaponskega sistema

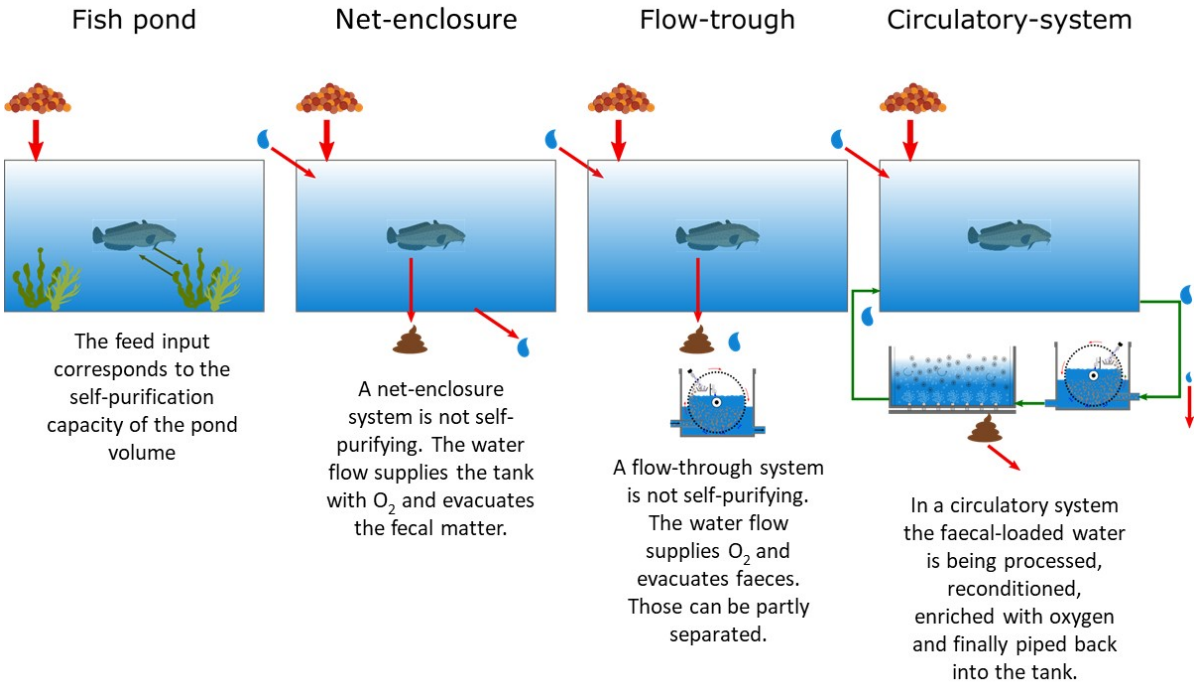
Oprema, ki jo potrebujemo za akvaponski sistem, je sestavljena je sestavljena iz (i) bazena za ribe, (ii) črpalke za vodo in zrak, (iii) enote za odstranjevanje trdnih delcev (bobenski filtri, usedalniki), (iv) biofilter, (v) gred za gojenje rastlin in (vi) vodovodne cevi. V tem sistemu so primarni proizvajalci (rastline) ločeni od potrošnikov (večinoma ribe), vseprisotni mikroorganizmi pa omogočajo simbiozo med obema glavnima skupinama.




Slika 2: Glavni sestavni deli akvaponskega sistema (povzeto po Rakocy *et al.* 2006)

### 1.2.1 Ribogojstvo

Ribogojstvo je lastna reja oz. gojenje rib ter drugih vodnih živalskih in rastlinskih vrst v nadzorovanih pogojih (Somerville *et al.* 2014); postaja vse pomembnejši vir svetovne proizvodnje beljakovin, hkrati pa omejuje ribolov v izlovljenih oceanih. Zaradi različnih tehnik ribogojstva, kot so sistemi odprtih voda, ribniki in pretočni sistemi, v okolje odtekajo odpadne vode, bogate s hranili, kar povzroča evtrofikacijo in hipoksijo v vodnih telesih. Pri recirkulacijskih sistemih ribogojstva (RAS) se ta odpadna voda prečisti in ponovno uporablja v sistemu. Tako je akvaponiko mogoče razumeti tudi kot obliko RAS ali podaljšek RAS. Spodnja slika prikazuje glavne oblike ribogojstva, več podrobnosti (kakšni, katerih, o čem, zakaj?) pa je navedenih v drugem poglavju.




Slika 3: Glavne oblike ribogojstva

### 1.2.2 Hidroponika

Hidroponika se je začela razvijati z delom Williama Gerickeja na kalifornijski univerzi leta 1929 (Gericke 1937). V zadnjih desetletjih se hidroponika širi predvsem zato, ker omogoča večji pridelek ob zmanjšanju zatiranju škodljivcev in preprečevanju bolezni, ki se prenašajo preko tal. Omogoča tudi manipulacijo rastnih pogojev za doseganje optimalnih potreb rastlin, hkrati pa povečuje učinkovitost porabe vode in gnojil. Omogoča tudi razvoj kmetijstva na nekvalitetnih zemljiščih (Somerville *et al.* 2014), vendar pa ima tako imenovana konvencionalna hidroponska pridelava, tudi pomanjkljivost. Za gojenje pridelkov uporablja draga in pogosto nevtralizirajoča mineralna gnojila in energijo. Hidroponski sistemi zahtevajo veliko makrohranil (C, H, O, N, P, K, Ca, S, Mg) in mikrohranil (Fe, Cl, Mn, B, Zn, Cu, Mo, Ni), ki so ključnega pomena za rast rastlin. Hranila se dodajo hidroponskim raztopinam v ionski obliki. C, H in O so na voljo iz zraka in vode. Koncentracijo hranilnih snovi je treba spremljati. Po drugi strani v akvaponiki uporabljamo vodo, ki je bogata z ribjimi iztrebki, ki so vir hranil za rast rastlin, vendar hranilna vrednost te vode ni vedno popolnoma v skladu s potrebami rastlin. Nekatera hranila so pogosto slabše kakovosti, zato je hranila treba kljub temu dodati, da prilagodimo njihovo koncentracijo, npr. Fe, $PO_4^{3-}$ in K (Bittsanszky *et al.* 2016a). Podrobnejši opis hranil je v petem in šestem poglavju.

## 1.3 Razvrščanje akvaponike

Razmejitev akvaponike in drugih integriranih tehnologij je včasih nejasna. Palm *et al.* (2018) so predlagali novo opredelitev akvaponike, pri kateri mora biti večina (> 50 %) hranil, ki ohranjajo rast rastlin, pridobljena iz iztrebkov in drugih ostankov, ki nastanejo s hranjenjem vodnih organizmov. Predlagajo razlikovanje med akvaponiko v ožjem smislu (aquaponics *sensu stricto*), ki se uporablja

samo za sisteme s hidroponiko in brez uporabe tal. Nekaj novih integriranih sistemov ribogojstva, ki združujejo ribe z gojenjem alg, bi prav tako lahko uvrstili v ta koncept. Po drugi strani pa lahko izraz akvaponika v širšem smislu (aquaponics *sensu lato*) uporabimo za sisteme, ki vključujejo vrtnarsko tehnologijo in tehnike pridelave poljščin, ki uporabljajo postopke mineralizacije, pufre in hranilne snovi različnih substratov, vključno s tlemi. Palm *et al.* (2018) za te dejavnosti predlagajo izraz akvaponsko kmetovanje.

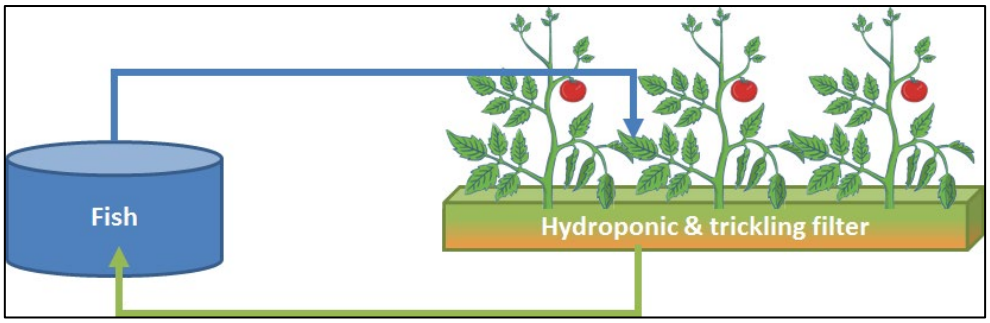
Tabela 2: Razvrstitev akvaponike po različnih načelih oblikovanja s primeri za vsako kategorijo (povzeto po Maucieri *et al*. 2018)

| **Cilj načrtovanja** | **Kategorija** | **Primeri** |
|---|---|---|
| Objektivne koristi | Komercialna pridelava pridelkov | ECF Farm |
| | Zadostnost gospodinjstev | Somerville *et al.* 2014 |
| | Izobraževanje | Graber *et al.* 2014<br>Junge *et al.* 2014 |
| | Socialna podjetja | Laidlaw & Magee, 2016 |
| | Ozelenitev in okras | Schnitzler 2013 |
| Velikost | L – velik sistem (> 1000 $m^2$) | Monsees *et al.* 2017 |
| | M – srednji sistem (200–1000 $m^2$) | Graber *et al.* 2014 |
| | S – majhen sistem (50–200 $m^2$) | Roof Water Farm |
| | XS – zelo majhen sistem (5–50 $m^2$) | Podgrajšek *et al.* 2014 |
| | XXS – mikrosistem (< 5 $m^2$) | Maucieri *et al.* 2018<br>Nozzi *et al.* 2016 |
| Način delovanja oddelka za ribogojstvo | Obsežno (omogoča celostno uporabo blata v rastnih gredicah) | Graber & Junge 2009 |
| | Intenzivno (obvezno ločevanje blata) | Schmautz *et al.* 2016b<br>Nozzi *et al.* 2018 |
| Upravljanje vodnega kroga | Zaprta zanka (»povezani sistemi«): voda se reciklira v ribogojstvu | Graber & Junge 2009<br>Monsees *et al.* 2017 |
| | Odprta zanka ali konec cevi (»ločeni sistemi«): po hidroponski enoti voda ali ni ali pa je delno reciklirana v komponento ribogojstva | Monsees *et al.* 2017 |
| Vrsta vode | Sladka voda | Schmautz *et al.* 2016b<br>Klemenčič & Bulc 2015 |
| | Slana voda | Nozzi *et al.* 2016 |
| Vrsta hidroponskega sistema | Rastna grede z različnimi mediji | Roosta &Afsharipoor 2012<br>Buhmann *et al.* 2015 |
| | Sistem na izliv in pretok | Nozzi *et al.* 2016 |
| | Rastne vreče | Rafiee and Saad 2010 |
| | Kapljično namakanje | Schmautz *et al.* 2016b |
| | Gojenje v globoki vodi (plavajoči splav) | Schmautz *et al.* 2016b |
| | Tehnika hranilnih filmov (angl. *Nutrient Film Technique* – NFT) | Lennard and Leonard 2006<br>Goddek *et al.* 2016a |
| Uporaba prostora | Vodoravni | Schmautz *et al.* 2016b<br>Klemenčič & Bulc 2015 |
| | Navpični | Khandaker & Kotzen 2018 |

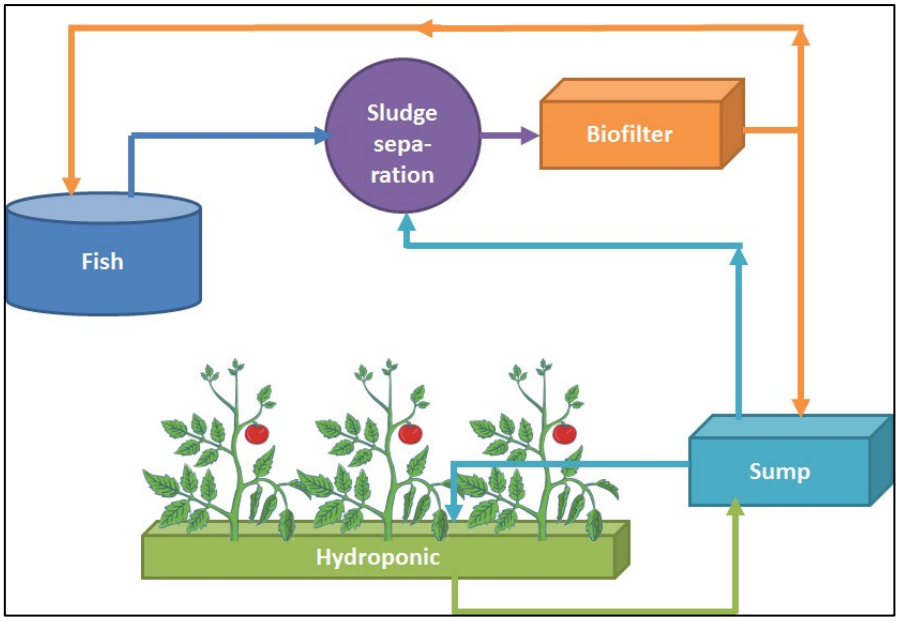
Akvaponika ima lahko različne cilje in koristi, od raziskav in razvoja, izobraževalnih in družbenih dejavnosti, do samostojnega kmetovanja in pridelave hrane za komercilane potrebe. Izvaja se lahko na različne načine in v različnih okoljih, npr. na sušnih in onesnaženih zemljiščih, kot dvoriščna proizvodnja, mestno kmetijstvo itd. Čeprav lahko sistem hkrati dosega več ciljev, vključno z ozelenitvijo in okrasitvijo, socialno interakcijo in pridelavo hrane, običajno ne more doseči vseh hkrati. Za zadovoljivo dosego vsakega od možnih ciljev morajo posemzni sklopi sistema izpolnjevati različne, včasih nasprotujoče si zahteve. Izbira primernega akvaponskega sistema za določen namen bi morala temeljiti na realističnih predlogih (vključno z dobrim poslovnim načrtom, če je to primerno) in imeti za posledico prilagojeno rešitev. Če sledimo klasifikaciji, ki razvršča akvaponske sisteme v skladu z različnimi kategorijami (npr. način delovanja, velikost, vrsta hidroponskega sistema itd.) (Maucieri *et al.* 2018), obstaja več različnih možnosti za izbiro primernega akvaponskega sistema (tabela 2). Vsaka odločitev mora biti sprejeta v skladu z razpoložljivim proračunom, čeprav je mogoče zgraditi sistem tudi z zelo nizkimi stroški.

### 1.3.1 Razvrstitev akvaponskih sistemov glede na način delovanja: obsežno (z integrirano uporabo blata) in intenzivno (z odvajanjem blata)

Del akvaponskega sistema je bazen za ribe, v katerem se ribe hranijo in zaradi metabolizma v vodo izločajo iztrebke in amonijak. Vendar pa so za ribe visoke koncentracije amonijaka strupene. Z nitrifikacijskimi bakterijami se amonijak spremeni v nitrit in nato v nitrat, kar je za ribe razmeroma neškodljivo in je najboljša oblika dušika za gojenje rastlin, kot je zelenjava. Obsežna proizvodnja vključuje tudi biofilter in odstranjevanje blata neposredno znotraj hidroponske enote z uporabo substratov, ki zagotavljajo rast biofilma, kot so prod, pesek in ekspandirana glina. Intenzivna proizvodnja uporablja ločen sistem biofiltra in ločevanja blata. Obe operativni metodi imata prednosti in slabosti. Čeprav celostna uporaba blata omogoča popolno recikliranje hranil, so slaba stran motna voda in precej nizke zmogljivosti biofiltra, ki omogočajo le omejeno zalogo rib. Po drugi strani ločeno odstranjevanje blata in biofilter omogočata intenzivno skladiščenje rib do 100 ali več kg/m$^3$. Pozitivno stran predstavljajo čista vodo, nižja koncentracija biokemične potrebe po kisiku (BPK), manjšo obremenitev mikrobov in optimizirano delovanje biofiltra. Ti sistemi vseeno omogočajo le delno recikliranje hranil. Morda bo potreben dodaten ukrep pri obdelavi blata (na samem kraju ali zunaj obrata), npr. pri povezovanju blata z bioplinarnami ali vermikompostiranju (Goddek *et al.* 2016b).




Slika 4: Akvaponski sistem z integrirano uporabo blata



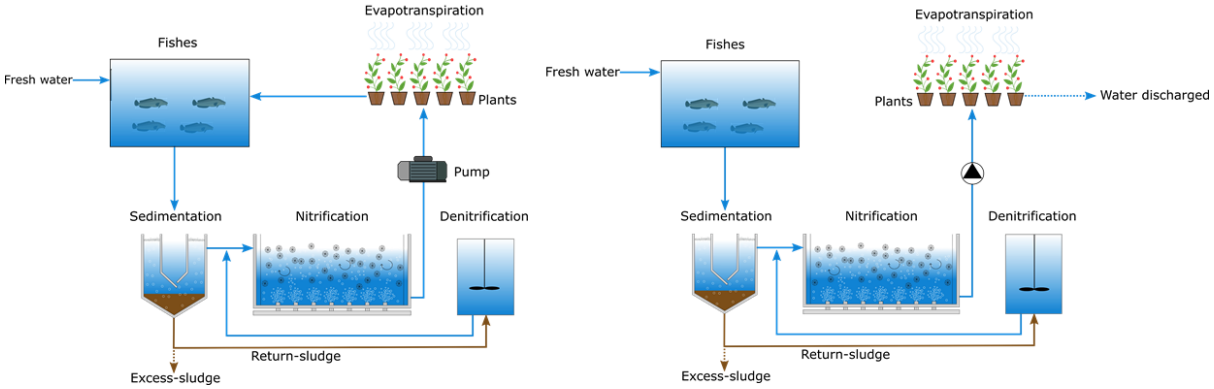
Slika 5: Možna izvedba akvaponskega sistema z odvajanjem blata

### 1.3.2 Upravljanje vodnega kroga

**Sistemi zaprte zanke (povezani sistemi):** Akvaponske sisteme je mogoče zgraditi in upravljati kot nenehno krožno zanko, pri čemer voda kroži od bazenov za ribe do hidroponske enote in nazaj. Voda neprestano kroži iz RAS v hidroponsko enoto in nazaj v RAS.

**Sistemi odprte zanke:** V zadnjem času se pojavljajo prizadevanja za napredek na področju neodvisnega nadzora nad vsako enoto sistema, predvsem zaradi zagotavljanja ustreznega okolja rib in rastlin. Sistemi, v katerih se lahko ribogojstvo, hidroponika in po potrebi remineralizacija ribjega blata neodvisno nadzira, se imenujejo ločeni akvaponski sistemi (angl. *Decoupled Aquaponic Systems* – DAPS). Ločeni akvaponski sistemi so sestavljeni iz RAS, ki je preko enosmernega ventila povezan s hidroponsko enoto (z dodatnim bazenom). Voda v vsakem sistemu ločeno kroži in se na zahtevo RAS dovaja v hidroponsko enoto, vendar ne teče nazaj (Goddek *et al.* 2016a; Monsees *et al.* 2017).

Na sliki 6 sta shematično prikazana povezani in ločeni akvapnski sistem. V povezanem sistemu (zaprta zanka), ki je sestavljen iz RAS (modra: posoda za rejo, čistilnik in biofilter), neposredno povezanega s hidroponsko enoto (zelena: NFT-pladnji), voda nenehno kroži iz RAS v hidroponsko enoto in nazaj v RAS. V ločenem sistemu (odprta zanka), ki je sestavljen iz RAS, povezanega s hidroponsko enoto (z dodatnim bazenom) prek enosmernega ventila, voda v vsakem sistemu ločeno kroži, potem pa se voda na zahtevo RAS dovaja do hidroponske enote, vendar se ta ne vrne RAS.




Slika 6: Shematski prikaz povezanega (levo) in nepovezanega (desno) akvaponskega sistema

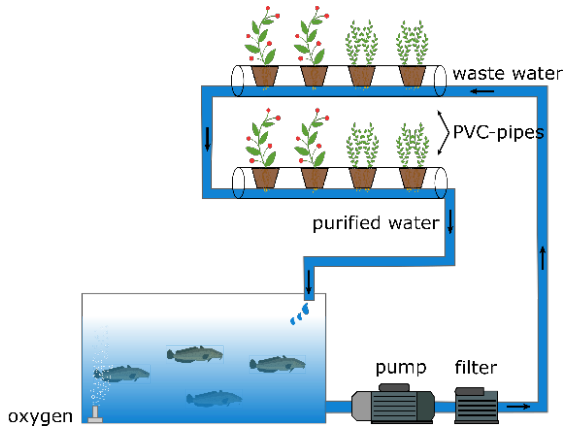
## 1.3.3 Vrsta hidroponskega sistema v akvaponiki

### Tehnika hranilnih filmov

V sistemih tehnike hranilnih filmov (NFT) se voda iz bazena za ribe filtrira in skozi tanek film spira skozi dno vodoravne PVC-cevi. Te cevi imajo na vrhu vrezane luknje, v katerih rastline gojimo tako, da njihove korenine visijo v vodi, ki teče na dnu cevi. Voda iz bazenov vsebuje hranila, ki jih rastline vsrkajo. Njihove korenine so le delno potopljene, kar omogoča tudi stik z atmosferskim kisikom.

Tabela 3: Prednosti in pomanjkljivosti sistema NFT

| Prednosti | Pomanjkljivosti |
|---|---|
| • Stalni pretok vode<br>• Zadostuje majhen zbiralnik<br>• Enostavnost vzdrževanja in čiščenja<br>• Zadostuje manjša količina vode<br>• Lahka hidroponska infrastruktura, zelo primerna za gojenje na strehah | • Za preprečitev zamašenih korenin zahteva predhodno filtracijo<br>• Dragi materiali<br>• Manj stabilen sistem (v primeru, če je manj vode)<br>• Primerno samo za gojenje listnate zelenjave in zelišč, ki imajo manjše koreninske sisteme<br>• Občutljiv na temperaturne spremembe |



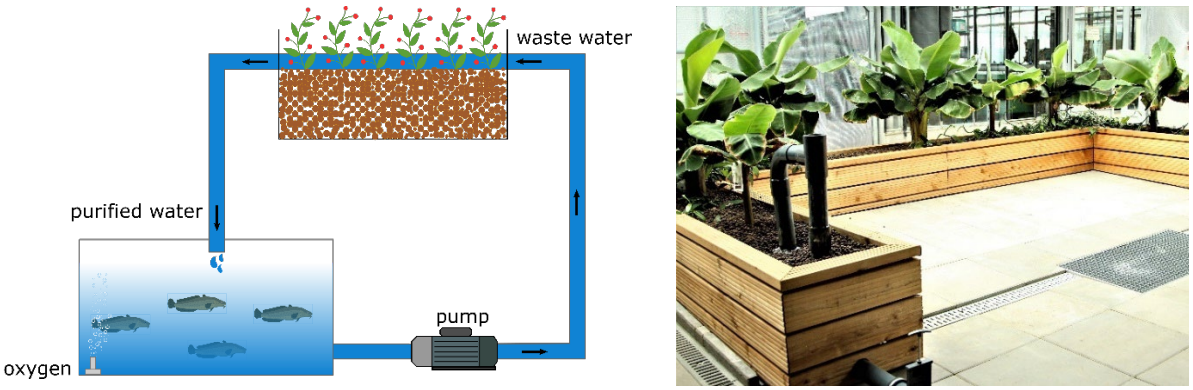
Slika 7: Tehnika hranilnih filmov (NFT) (levo: shematski prikaz celotnega sistema; desno: fotografija sistema, foto: ZHAW)

## Tehnika rastnih gred z različnimi mediji

Enote rastnih gred, napolnjene z različnimi mediji, so najbolj priljubljena zasnova za majhne akvaponske sisteme. Ti modeli učinkovito izrabljajo prostor, imajo sorazmerno nizke začetne stroške in so primerni za začetnike zaradi svoje stabilnosti in preprostosti delovanja. V rastnih gredicah se različni mediji uporabljajo za fizično podporo koreninam rastlin in delujejo kot mehanski in biološki filter.

Tabela 4: Prednosti in pomanjkljivosti tehnike rastnih gred

| Prednosti | Pomanjkljivosti |
|---|---|
| • Biofiltracija: medij se uporablja kot substrat za nitrifikacijske bakterije<br>• Deluje kot sredstvo za filtriranje trdnih snovi<br>• Mineralizacija poteka neposredno v gojišču<br>• Substrat lahko koloniziramo s širokim naborom mikrobiote, od katerih imajo nekateri koristne učinke | • Nekatere grede in infrastruktura so zelo težki: niso vedno primerni za gojenje na strehi<br>• Grede in infrastruktura v večjem obsegu lahko postanejo okorni in razmeroma dragi<br>• Vzdrževanje in čiščenje sta težavna<br>• Zamašitev lahko preusmeri vodo in privede do neučinkovite biofiltracije in s tem tudi do neučinkovite dostave hranil rastlinam<br>• Grede se lahko zamašijo, če gostota ribjih zalog presega nosilno zmogljivost korit, kar lahko zahteva ločeno filtracijo<br>• Izhlapevanje vode je večje v koritih z večjo površino, ki je izpostavljena soncu<br>• Če se uporablja metoda poplavljanja in odtekanja, je potreben večji zbiralnik |



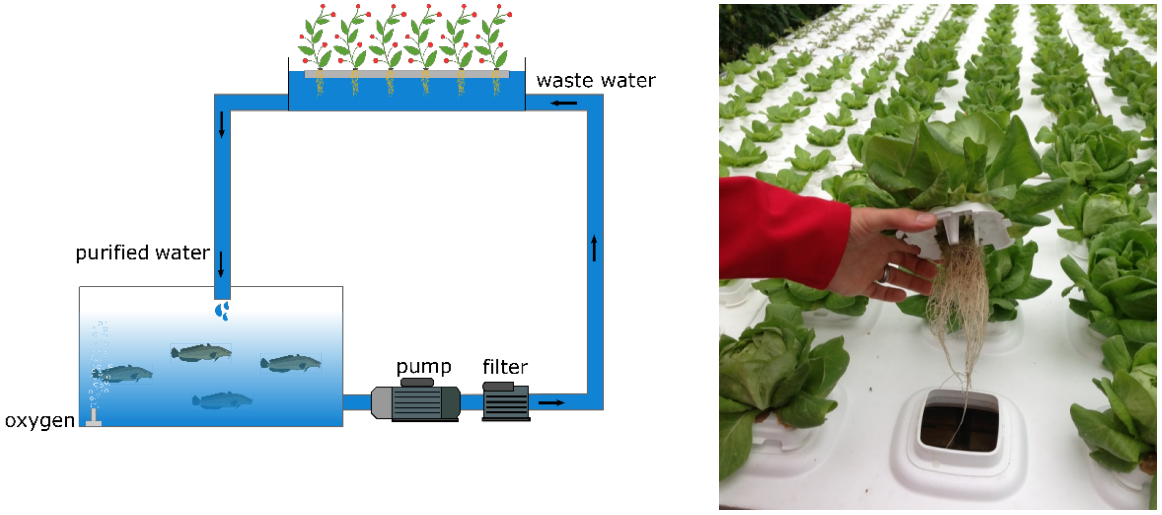

Slika 8: Tehnika rastnih gred (levo: shematski prikaz celotnega sistema; desno: primer iz podjetja ZHAW Waedenswil, foto: Robert Junge)

## Gojenje v globoki vodi ali plavajoči splav

Sistem globoke vode (angl. *Deep Water Culture* – DWC) uporablja polistirenski splav, ki plava na približno 30 cm vode za gojenje rastlin. Na splavu so luknje, v katerih rastline rastejo v mrežastih loncih, tako da so njihove korenine potopljene v vodo. Splav se lahko namesti tudi tako, da plava neposredno v bazenu za ribe, lahko pa se voda iz bazena črpa v filtracijski sistem in nato v kanale, ki vsebujejo več splavov. Zračnik dovaja kisik tako vodi v bazen kot vodi, na kateri plava splav. Ker se korenine ne morejo ničesar oprijeti, se lahko ta sistem uporablja samo za gojenje manjših listnatih rastlin ali zelišč in ne večjih rastlin. Zaradi hitrosti in enostavnosti žetve je sistem najbolj priljubljen za komercialno poslovanje.

Tabela 5: Prednosti in pomanjkljivosti sistemov globoke vode

| Prednosti | Pomanjkljivosti |
|---|---|
| • Stalni pretok vode<br>• Zadostuje manjši zbiralnik<br>• Enostavnost vzdrževanja in čiščenja | • Potreben je ločen biofilter<br>• Zahteva veliko količino vode<br>• Težka hidroponska infrastruktura<br>• Potrebna je naprava za prezračevanje korenin |




Slika 9: Gojenje v globoki vodi ali na plavajočem splavu (levo: shematski prikaz celotnega sistema; desno: rastoča solata na splavu iz stiropora s koreninami, spuščenimi v vodo)

### 1.3.4 Izraba prostora: vodoravni in navpični sistemi

Večina akvaponskih sistemov uporablja vodoravna korita ali gredice, ki posnemajo tradicionalno obdelovalno površino za pridelavo zelenjave. V preteklosti pa so se pojavile in razvijale nove tehnologije živih zidov in vertikalnega kmetovanja, ki lahko ob povezavi ribogojskega dela z akvaponskim sistemom omogočijo gojenje več rastlin navpično in ne vodoravno ter s tem naredijo sisteme produktivnejše (Khandaker & Kotzen 2018).

**Vodoravni sistemi** učinkovito izrabijo dnevno svetlobo in lahko delujejo brez dodatne osvetlitve tudi pozimi, zato ne porabijo veliko električne energije. Začetni naložbeni stroški so srednji oz. nizki, še posebej, če je cena zemljišča nizka.

**Navpični sistemi** so optimalna rešitev, ki prihrani prostor, zato so zelo primerni za urbane objekte (za okras ali za lokalno pridelavo hrane). Taki sistemi nad rastlinskimi gredicami potrebujejo luči za gojenje rastlin. Potrebujejo manj črpalk za vodo, vendar morajo te biti močnejše, kar pa vpliva na večjo porabi električne energije. Tudi začetni naložbeni stroški so visoki.

## 1.4 Zgodovina akvaponike

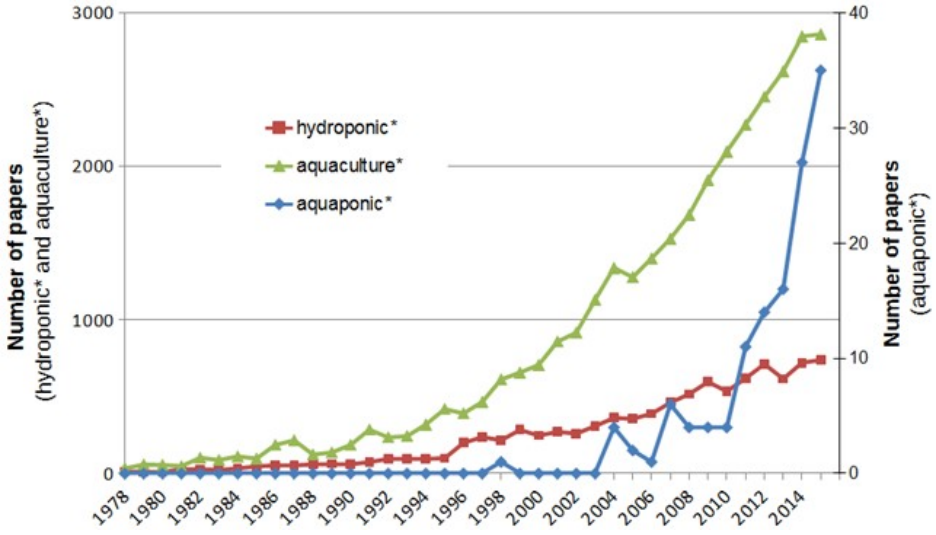
Ribji iztrebki se za gnojenje rastlin uporabljajo že tisočletja. To metodo so uporabljale že civilizacije v Aziji in Južni Ameriki. Najbolj znani primeri so t. i. stacionarni otoki ali azteške činampe, postavljene v plitvih jezerih v Srednji Ameriki (1350–1150 pr. Kr.), in sistem ribogojstva ribe medake, ki je bil v Aziji

uveden pred približno 1500 leti in se uporablja še danes. Organizacija za prehrano in kmetijstvo Organizacije združenih narodov (angl. *Food and Agriculture Organization* – FAO) je ribogojna sistema ribe medake in činampe uvrstila med globalno pomembne sisteme kmetijske dediščine (Koohafkan & Altieri 2018).

V Evropi zgodnji RAS segajo v konec sedemdesetih let prejšnjega stoletja (Bohl 1977). Hkrati je Naegel (1977) že poizkušal združiti hidroponiko z vodnimi in hranilnimi cikli RAS. Sodobna akvaponika v ZDA se je začela s pionirskim raziskovanjem Todda, ki ga skupaj s študijami Goldman *et al.* 1974, Ryther *et al*. 1975 navaja Love *et al.* (2014) na področju ponovne uporabi hranil iz odpadne vode za rastlinsko in živalsko proizvodnjo. Pred tehnološkim napredkom v osemdesetih letih je bila večina poskusov povezovanja hidroponike in ribogojstva neuspešna. V osemdesetih in devetdesetih letih je bil dosežen napredek pri načrtovanju sistemov, biofiltraciji in določitvi optimalnih razmerij med ribolovom in rastlinami, kar je povzročilo ustvarjanje zaprtih sistemov, ki omogočajo recikliranje vode in kopičenja hranil za rast rastlin. Pionirji akvaponike so:

- dr. Mark McMurtry (McMurtry *et al.* 1990) se je ukvarjal z akvaponiko od srede osemdesetih do začetka devetdesetih let na državni Univerzi Severna Karolina in metodo poimenoval integrirani sistem ribogojstva (angl. *Integrated Aqua Vegeculture System* – IAVS), na katerem temeljijo današnji ljubiteljski sistemi akvaponike;
- dr. James Rakocy je leta 1980 zasnoval verjetno do zdaj največkrat uporabljeno obliko, akvaponskih sistemih univerze na ameriških deviških otokih (UVI) (Rakocy *et al.* 2003; Rakocy *et al.* 2004), razvil je glavna razmerja in izračune, da bi povečal proizvodnjo rib in zelenjave, hkrati pa ohranil uravnotežen ekosistem;
- dr. Wilson Lennard je v Avstraliji izdelal glavne izračune in načrte proizvodnje za druge vrste sistemov (Lennard & Leonard 2004; Lennard & Leonard 2006);
- dr. Nick Savidov (Savidov & Brooks 2004) je v Kanadi dokazal, da je v akvaponskih sistemih, ko so bile zagotovljene ustrezne količine hranil, zraslo precej več paradižnika in kumar kot v hidroponskih sistemih.

Ti in podobni preboji raziskav so omogočali uveljavitev različnih skupin in podjetij po vsem svetu. Raziskave akvaponike so se dejansko začele šele po letu 2010 (glejte sliko 10), zato še vedno obstaja velika razlika med tem, o čem govori nestrokovna javnost, in tistim, kar se trenutno raziskuje. Junge *et al.* (2017) so skovali izraz »hype razmerje«, ki je pokazatelj priljubljenosti teme v množičnih medijih v primerjavi s priljubljenostjo teme med akademiki. Izračuna se tako: število rezultatov iskanja v Googlu delimo s številom rezultatov iskanja v Googlovem učenjaku. Za akvaponiko je »hype razmerje« več kot 1000, kar je precej več kot npr. za hidroponiko (nad 100) in ribogojstvo (približno 20). Akvaponiko zato lahko imenujemo novonastajajoča tehnologija ter novonastajajoča znanstvena tema.




Slika 10: Število prispevkov o hidroponiki, ribogojstvu in akvaponiki ‡ od leta 1978 do 2015 (podatki so bili zbrani iz baze Scopus 17. septembra 2016). ‡ Upoštevajte, da je lestvica za akvaponiko dva reda velikosti nižja od hidroponike ali ribogojstva (povzeto po Junge *et al.* 2017)

## 1.5 Primeri akvaponskih sistemov po vsem svetu

Na vseh celinah obstaja več različnih akvaponskih sistemov. Tabela 6 povzema nekatere sisteme in njihove glavne značilnosti.

### 1.5.1 Evropa

Med letoma 2014 in 2018 je Evropska unija financirala akcijo COST FA1305 EU Aquaponics Hub, v kateri so države članice sodelovale pri raziskovanju kvaponskih sistemov kot ustrezne tehnologije za trajnostno proizvodnjo rib in zelenjave v EU. Spletno mesto akcije COST je vir informacij s povezavami do obrazcev, publikacij in videoposnetkov za potrebe izobraževanja. Ista skupina je v okviru akcije COST opravila tudi raziskavo o uporabi akvaponike v Evropi in poudarila, da je večina akvaponskih sistemov majhnih v povezavi z raziskovalnimi nameni (Villarroel et al., 2017). Zemljevid skoraj vseh znanih objektov akvaponike v Evropi je bil objavljen na spletni strani Google Maps.

Slika 11: Zemljevid objektov akvaponioke

Na zemljevidu so označeni vsi raziskovalni inštituti (modra) in podjetja (rdeča), ki trenutno aktivno ukvarjajo z akvaponiko. Zemljevida ni mogoče neposredno urejati, vendar lahko raziskovalci in podjetja, ki se želijo uvrstiti nanj, pošljejo svoje podatke na morris.villarroel@upm.es. Zemljevid kaže, da je vloga industrije pri tem, da se akvaponika lahko dokaže kot uspešen sistem lokalne pridelave hrane v EU, nujna. Na zemljevidu je 50 raziskovalnih centrov in 45 podjetij, kar kaže, da so raziskave in razvoj v ravnovesju.

Tabela 6: Povzetek nekaterih akvaponskih sistemov po svetu

| Država | Namen in vrsta | Ribe | Rastline | Avtorji |
|---|---|---|---|---|
| Avstralija | Raziskave<br>Zaledni sistem (izliv in pretok) | Trska Murray | Zelena solata | Lennard & Leonard 2004 |
| Barbados | Raziskave<br>Zaledni sistem (izliv in pretok) | Rdeča tilapija | Bazilika in okra (gojišče: kokosova lupina) | Connolly & Trebic 2010 |
| Ameriški Deviški otoki | Raziskave<br>Komercialni sistem Plavajoča splav hidroponika | Tilapija | Bazilika, okra | Rakocy *et al.* 2003 |
| Kitajska | Veliki komercialni sistemi (ribniki) | Okolje za naravni drst domačih rib | Riže, Kana | Duncan 2014 |
| Nemčija, Berlin | Raziskave, demonstracije, izobraževanja (kanali NFT in NGS)* | Postrv | Jagode, pak choi, mini kumare, solate | Roof Water Farm |
| Havaji | Veliki komercialni sistemi | Tilapija | Solate | Kunia Country Farms |
| Madžarska, Kaposvar | Socialna ustanova (rastne gredice, NFT) | Wels som | Zelišča, solata, paradižnik, jagode | Passive Aquaponics |
| Islandija | Raziskave<br>Manjši komercialni sistem (rastne gredice, plavajoči splav, kanali NFT) | Tilapija | Paradižnik, fižol, zelena solata | Thorarinsdottir 2015 |
| Iran | Raziskave<br>Na osnovi modela UVI plavajoči splav, rastne grede | Navadni krap, travni krap in srebrni krap | Paradižnik | Roosta & Afsharipoor 2012 |
| Slovenija, Naklo | Poklicno izobraževanje na podlagi modela Waedenswil (rastne grede, plavajoči splav, kanali NFT) | Krap | Solata | Podgrajšek *et al.* 2014 |
| Združeni arabski emirati | Veliki komercialni sistem Plavajoča raft hidroponika | Tilapija, barramundi ribe | Solata | Smith 2015 |
| Vietnam | Raziskave<br>Zaledni sistem (rastne grede) | Tilapija | Kana, vodna špinača, solata | Trang &Brix 2014 |

* *Novi rastoči sistemi: www.ngsystem.com*

**Islandija:** Akvaponski sistem podjetja Svinna-verkfraedi Ltd sestavljajo trije bazeni za ribe s prostornino 4 $m^3$, bobni filter, biofilter, zbiralnik in kanali NFT. Hidroponski del se uporablja za gojenje paradižnika, fižola in solate. Podjetje preizkuša različne hidroponske sisteme (rastne grede, plavajoče splave, kanale NFT), v sistem pa so pred kratkim dodali rake s pomočjo katerih odstranjujejo blato iz bazenov za ribe (Thorarinsdottir 2015).

**Madžarska:** Madžarsko podjetje je zgradilo pasivno akvaponsko hišo pri socialnem podjetju okrožnega združenja invalidov okrožja Somogy – Passive Aquaponics. Hišo ogrevajo s plinom (70 %) v kombinaciji z grelnikom komposta (30 %). Velški som (*Silurus glanis*) se goji v majhnih bazenih. Hidroponske enote, napolnjene z ekspandirano glino, se uporabljajo za gojenje zelišč (bazilike, mete), solate, paradižnika, paprike, jagod in celo banan.

**Nemčija:** Roof Water Farm v Berlinu je predstavitveni projekt za inovativno gospodarjenje z vodo in pridelavo hrane. Poudarek je na higiensko varni uporabi deževnice, sive vode in črne vode v kombinaciji z decentraliziranimi tehnologijami za čiščenje vode in za pridelavo akvaponske in hidroponske hrane.

Slika 12: Levo: vodna kmetija (foto: Grit Bürgow) Desno: kmetijsko-izobraževalni center Strickhof (foto: Roger Bolt)

**Švica:** V kmetijskem izobraževalnem centru Strickhof v kantonu Zürich je bil leta 2012 zgrajen eksperimentalni akvaponski sistem. Zgrajen je na zadnji strani starega rastlinjaka na površini približno 36 $m^2$ in sestavljen iz bazenov za ribe (3 $m^3$), petih kanalov NFT ter dveh miz za sistem izliva in pretoka.

### 1.5.2 Azija

**Kitajska:** Kolikor vemo, je največji akvaponski sistem, ki je bil kdaj koli zgrajen, na jezeru Taihu. Ob jezeru je velika ribogojska industrija, kar je povzročilo evtrofikacijo in s tem težave zaradi razcveta alg. To je raziskovalce spodbudilo k iskanju novih rešitev. Odločili so se uporabiti tehnologijo Aqua Biofilter za odstranjevanje hranil, ki povzročajo cvetenje alg ter posledično zgradili akvaponski sistem, ki obsega 1,6 hektarja in se uporablja za gojenje riža v ribnikih (Duncan 2014).

**Vietnam:** Trang and Brix (2014) sta v delti Mekonga zgradila akvaponski sistem, ki je eno najproduktivnejših ribogojnih območij v Vietnamu. Zgradili so tri zunanje zaprte akvaponske sisteme (vsak ima prostornino približno 2 $m^3$) in dokazali, da lahko v primerjavi s tradicionalnimi ribniki prihranijo precejšnje količine vode in omogočijo recikliranje hranil ter ribičem omogočijo dodaten zaslužek.

**Iran:** Na Univerzi Vali-e-Asr v Rafsanjanu so zasnovali eksperimentalni akvaponski sistem, ki je temeljil na modelu UVI, da bi raziskali učinke foliarnih aplikacij nekaterih mikro- in makrohranil na rast in donos paradižnika v primerjavi s hidroponskim sistemom. Akvaponski sistem je sestavljen iz treh ločenih in enakih akvaponskih enot. Vsaka enota ima bazen za gojenje rib, čistilno napravo, bazen za filtriranje, bazen za razplinjevanje in rastno gredico za gojenje rastlin (Roosta & Afsharipoor 2012).

**Združeni arabski emirati:** Konec leta 2013 je enega največjih svetovnih trgovinskih akvaponskih sistemov zgradil Paul Van der Werf iz Queenslandove skupine Earthan. Kmetija na 4.500 $m^2$ vzredi približno 40 ton tilapij, ukvarja pa se tudi z vzrejo mladih rib barramundi. Sistem uporablja odpadno vodo bližnjega proizvajalca hrane, ki bi jo sicer zavrgel v puščavo. Edina pomanjkljivost sistema predstavlja dejstvo, da lahko brez hlajenja temperatura zraka v rastlinjaku doseže 68 °C (Smith 2015).

### 1.5.3 Amerika

**Barbados** ima tropsko oceansko podnebje z majhnimi nihanji temperature (približno 20–32 °C), na kar vplivajo hladni vzhodni pasati z Atlantskega oceana. Leta 2009 je bil zgrajen eksperimentalni akvaponski sistem s prostornino približno 6 $m^3$, v katerem bi proučevali parametre za izboljšanje sistema in oblikovali priporočila za upravljanje, da bi optimizirali proizvodnjo rib in rastlinske biomase (Connolly & Trebic 2010).

**Ameriški Deviški otoki:** Na Univerzi na Deviških otokih (UVI) je komercialni akvaponski sistem postal vzorec za številne nadaljnje sisteme. Akvaponski sistem je v daljšem časovnem obdobju uspešno deloval in omogočal gojenje tilapije neprekinjeno štiri leta. V tem času sta bila narejena dva preizkusa za oceno pridelave bazilike in okre. Za pridelavo je bilo ugotovljeno, da je precej večja kot pri proizvodnji na kontrolnem polju (Rakocy *et al.* 2003).

**Havaji:** Organizacija Kunia Country Farms je začela delovati leta 2010, zdaj pa je ena največjih akvaponskih kmetij in proizvajalka zelene listnate zelenjave v zvezni državi Havaji. Njihov sistem je sestavljen iz treh bazenov za ribe, v katerih gojijo tilapijo, osemnajstih rastnih gred (gojenje v globoki vodi na splavih iz stiropora) in enega zbiralnika. V vsakem koritu lahko zraste od 1650 do 3300 rastlin. Celotni sistem vsebuje približno 380 $m^3$ vode. Čeprav sistem na Havajih porabi malo električne energije, je še vedno precej drag, zato načrtujejo gradnjo fotonapetostnega sistema z

močjo 20 kW, ki bo z uporabo sončnih celic pridobil dovolj elektrike, da bo električno omrežje na kmetiji samozadostno.

### 1.5.4 Avstralija

Lennard & Leonard 2004 sta uporabila trsko Murray (*Maccullochella peelii peelii*) in solato (*Lactuca sativa*) za preizkušanje razlik med dvema akvaponskima režimoma: (a) povraten tok in (b) stalen pretok. Njihov eksperimentalni sistem je bil sestavljen iz 12 ločenih enakih akvaponskih enot. Vsaka enota je imela en bazen za ribe, biofilter in hidroponsko rastno gredo. Oba sistema sta dobro delovala, vendar je solata v sistemu s stalnim pretokom bolje uspevala.

## 1.6 Najnovejše raziskave v akvaponiki

### 1.6.1 Usmeritve v tehnologiji

Zasnova uspešnih akvaponskih sistemov je odvisna od uporabnikov. Proizvodnja brez zemlje zahteva velik vložek v tehnologijo (črpalke, aeratorji, merilniki) in znanje, zato je primerna predvsem za komercialno poslovanje. Mogoče je načrtovati in uporabljati tudi tehnološko manj razvite akvaponske sisteme, ki jih je enostavno uporabljati in še vedno prinašajo zgledne rezultate. To vodil v široko uporabo akvaponike, kar vpliva na nadaljnji razvoj tehnologije, zasnovo akvaponskega sistema in socialno-ekonomskih vidikov. Akvaponska tehnologija bi se lahko razvila v vsaj dve smeri: do tehnoloških enostavnejših rešitev (verjetno večinoma v državah v razvoju in za nekomercialno uporabo) ali do visoko učinkovite tehnološke izvedbe (pretežno v razvitih državah) in s profesionalnimi/komercialnimi partnerji (Junge *et al.* 2017).

Čeprav tehnologija sama po sebi nima omejitev na ruralnih predelih (ker so sistemi lahko modularni), velikost mestnih območij določa (i) značilnost razpoložljivega območja, ki je v mestu nujno razdrobljeno (premalo izkoriščene ali prazne zgradbe ter strehe), in (ii) omejitve ekonomičnosti gojenja rastlin. Površina, ki se zahteva za komercialno poslovanje, je praviloma 1.000 $m^2$, površine za prostočasne dejavnosti in dvorišča so lahko precej manjše. Akvaponske kmetije se lahko razširijo z namestitvijo novih operacijskih sistemov (ali modulov) ali z vertikalno izvedbo, čeprav jih ni mogoče povečati brez dodatnih stroškov gradnje in porabe energije. Velikost urbanih akvaponskih kmetij bo verjetno od 150 $m^2$ do 3.000 $m^2$ zaradi prostorskih, gospodarskih in upravljavskih omejitev. Vendar bi kljub temu lahko zadostovalo za zadovoljitev osnovnih potreb po sveži zelenjavi za del meščanov. Urbane ribogojske kmetije bi lahko bile večje in prilagojene tako, da bi vključevale sisteme celinskega ribogojstva za ponovno uporabo odpadnih voda, bogatih s hranili, sestavljenega ribjega blata in/ali bioplina na podeželju.

Akvaponska tehnologija še ni povsem razvita, saj je še vedno treba reševati težave povezane z delovanjem sistema. Preprosta povezava najsodobnejšega sistema ribogojstva z najsodobnejšim hidroponskim sistemom ne upošteva drugih dejavnikov, kot so težave z zamašenimi bobničnimi filtri, neučinkovitimi usedalniki, pomanjkanjem kisika, slabo zasnovanimi usedalniki in zamašenimi cevmi. Čeprav je delovanje rastnih gred (NFT, kapljično namakanje, gojenje v globoki vodi) v hidroponskih sistemih že dobro raziskano, je treba izbiro teh gred v akvaponskh sistemih še podrobneje proučiti, saj ustrezna izbira vpliva na produktivnost in delovanje celotnega sistema. Nadaljnje raziskave so potrebne tudi na drugih področjih. Ker so mikroorganizmi vseprisotni, imajo pomembno vlogo v vseh

fazah akvaponske pridelave. Vpliv okoljskih razmer na njihovo številčnost, raznolikost in vloge bi bilo mogoče raziskati npr. z nadaljnjo uporabo nove generacije metod za sekvencioniranje zaporedja baz v molekuli DNK (Schmautz *et al.* 2016a). Eno osrednjih vprašanj je tudi nadzor nad škodljivci in boleznimi. O težavah z zaščito rastlin v akvaponiki poročajo že Bittsanszky *et al.* (2016b). Ugotovili so, da je treba kljub zelo malo ukrepom, ki so na voljo za zaščito rastlin v akvaponiki, poudariti previdnostno načelo, da se čim bolj zmanjša vdor škodljivcev. Po drugi strani je treba metode biološkega zatiranja škodljivcev, ki so trenutno na voljo za ekološkem kmetijstvu, prilagoditi akvaponiki (glej poglavje 8).

Če bo akvaponika postala uspešna tehnologija za pridelavo hrane, se bo treba osredotočiti na zmanjšanje potreb po delovni sili. Medtem ko je ponekod avtomatizacija že dobro razvita (za zalivanje in krmljenje, spletno spremljanje z alarmi za številne parametre, zlasti za kisik), jo je drugje še treba izpopolniti, da bi omogočili natančnejše in učinkovitejše delovanje sistema, kar bo zahtevalo razvoj ustreznih senzorjev. Ena od možnosti za zmanjšanje delovne sile bi lahko bila uporaba robotov. Za namensko uporabo v akvaponiki je treba razviti izpopolnjene sisteme, podobne projektu FarmBot.

### 1.6.2 Usmeritve načrtovanja sistemov

Medtem ko ima akvaponika trajnostni potencial, je celovita analiza življenjskega cikla (LCA) akvaponskih izdelkov nezadostna (Forchino *et al.* 2017; Maucieri *et al*. 2018). Jasno je, da bi lahko ekološki vpliv akvaponike še izboljšali z izkoriščanjem obnovljivih virov energije in razvojem učinkovitejših metod žetve pri dnevni svetlobi, s čimer bi se izognili porabi električne energije. Uporaba predhodno obdelane ali reciklirane vode in deževnice ter z izboljšanjem mikroklime rastlinjakov. V mestnem okolju je treba akvaponiko še bolj vključiti v same zgradbe, kar omogoča souporabo plina, vode in energije med rastlinjaki in zgradbami. Potrebne so tudi izboljšave na področju ciklov organskega materiala. Krma za ribe je glavni vnos hranil in v veliki meri določa trajnost delovanja sistema. Akvaponika (tako kot RAS) zahteva optimalno prehrano za ribe, krma za ribe pa mora biti sestavljena iz trajnostnih, lokalno pridobljenih surovin (organskih, vegetarijanskih, žuželk). Akvaponsko zanko je treba nadalje zapreti s predelavo ribjega blata, da se lahko hranila ponovno uporabijo v akvaponskem sistemu ali z uporabo črvov in/ali žuželk za predelavo rastlinskih ostankov, ostankov ribjega blata in rastlinskih odpadkov, ki se kompostirajo. Cilj je doseči koncept brez odpadkov, da bi zmanjšali akvaponski odtis. Nazadnje je treba dodatno razširiti možnost uporabe novih organizmov v akvaponiki (npr. vodne rastline, morske ribe, alge in morske alge, raki itd.), da bi razširili ekološki cikel. Novo ribogojstvo in rastlinski pridelki bi lahko vplivali tudi na ekonomsko upravičenost tehnologije.

### 1.6.3 Družbenoekonomske raziskave

Akvaponika je trenutno majhen, a razvijajoč se gospodarska panoga, v katero se steka vse več kapitala. Čeprav je pridelava hrane osnovni cilj akvaponike, jo trenutno povezujemo s turizmom in izobraževanjem, da bi izboljšali njeno dobičkonosnost. Akvaponika nima jasnega pravnega statusa v veljavnih predpisih v Evropi zaradi svojega dokaj novega tehnološkega medsektorskega pristopa (Joly *et al.* 2015). Medtem ko se pridelki akvaponike v ZDA certificirajo kot ekološki, v Evropi to trenutno še ni mogoče, ker akvaponika vključuje pridelavo brez zemlje in visoko gostoto naseljenosti rib.

Čeprav lahko akvaponika veliko prispeva družbi, je le malo raziskav obravnavalo odnos družbe in potrošnikov do nje. Dejavnike, kot so potrošnikovo znanje, vrednote in prepričanja, je treba razumeti v različnih kulturnih in tržnih okoljih. Kot smo že poudarili, je akvaponika pomembna tema v množičnih medijih, o potrošnikovem znanju in vedenju pa je znanega malo. Na splošno ne vemo dovolj o tem, kako trajnostno prednost akvaponike v povezavi z okusom, svežino, vplivom na zdravje in ceno predstaviti potrošnikom (Newman *et al.* 2014).

Večina že opravljenih raziskav akvaponike se je osredotočila na njeno delovanje. Eden od načinov za izboljšanje dobičkonosnosti bi lahko bilo izboljšanje tehnološke učinkovitosti sistemov. Učinkovita uporaba alternativnih virov energije in vode ter recikliranje organskih odplak bosta zmanjšala proizvodne stroške, vendar jih je v tem primeru treba nadomestiti z višjimi naložbenimi stroški. Za povečanje komercialnega poslovanja je treba razviti tudi nove poslovne vzorce glede na nastajajoče ideje krožnih in lokalnih gospodarstev. Treba bo obravnavati izzive v povezavi z obratovalnimi stroški, logistiko in dejavniki, ki vplivajo na nakupovanje zelenjave in rib. Poleg izboljšanja tehnološke učinkovitosti obstajajo tudi izzivi operativnega upravljanja, zato bi bilo zanimivo raziskati nove vrste rastlin, ki so občutljive na prevoz, da bi dosegli dovolj visoko tržno ceno, da bi se izognili cenovni konkurenci med akvaponiko in specializiranim vrtnarstvom. Vendar pa povezovanje nove tehnologije z novimi izdelki povečuje tudi podjetniško negotovost.

Akvaponika je še posebej koristna v pedagoški praksi: tudi majhen akvaponski sistem ponuja veliko možnosti za pouk na različnih izobraževalnih ravneh, od osnovne šole do univerze (glej poglavje 15). Akvaponika se zlahka vključi v vse predmete STEM (naravoslovje, tehnologija, inženiring in matematika), ne le za prikaz osnovnih bioloških in ekoloških zakonitosti, temveč tudi kemije, fizike in matematike. Različne kompetence in veščine se lahko pridobijo z delovanjem akvaponskih sistemov, kot so osnovne laboratorijske veščine, timsko delo in okoljska etika. Tu predstavljeni socialnoekonomski vidiki kažejo, da bo akvaponika uspešna, če bo sodelovalo čim več pomembnih strokovnjakov, ki niso le naravoslovni znanstveniki in inženirji. V akvaponiko lahko vključujemo 1) oblikovalce in arhitekte, ki zasnujejo estetsko privlačne zasnove, 2) družboslovce, ki lahko poskrbijo za lažje dojemanje in sprejemanje akvaponike v javnosti, in 3) zdravstvene ter prehranske znanstvenike za raziskave na področju vključevanja akvaponskih pridelkov kot zdrave in trajnostne pridelane hrane v prehrano. Prav tako je treba razviti povratne zanke za razvijalce sistemov ter fiziologe rastlin in rib, da bi izboljšali sisteme glede na povpraševanje potrošnikov, trajnost in hranilno vrednost pridelkov.

## 1.7 Literatura


Bittsanszky, A., Uzinger, N., Gyulai, G., Mathis, A., Junge, R., Villarroel, M., Kotzen, B. & Kőmíves, T. 2016a. Nutrient supply of plants in aquaponic systems. *Ecocycles* 2 (2), 17-20.

Bittsánszky, A., Gyulai, G., Junge R., Schmautz, Z. & Komives, T. 2016b Plant protection in ecocycle-based agricultural systems: Aquaponics as an example. In *Proceedings of the 28th International Plant Protection Congress (IPPC), Berlin, Germany, 24–27 August 2016.*

Bohl, M. 1977. Some initial aquaculture experiments in recirculating water systems. *Aquaculture* 11 (4), 323-328.

Buhmann, A. K., Waller, U., Wecker, B. & Papenbrock, J. 2015. Optimization of culturing conditions and selection of species for the use of halophytes as biofilter for nutrient-rich saline water. *Agricultural Water Management* 149, 102-114.

Connolly, K. & Trebic, T. 2010. *Optimization of a Backyard Aquaponic Food Production System*. Faculty of Agricultural and Environmental Sciences, Macdonald Campus, McGill University, BREE 495 Design 3.

Diver, S. 2006. *Aquaponics – Integration of Hydroponics with Aquaculture*. ATTRA – National Sustainable Agriculture Information Service.

Duncan, T. 2014. *World's largest aquaponics project, in China's third largest aquaculture lake*. Permaculture Research Institute.

Forchino, A.A., Lourguioui, H., Brigolin, D. & Pastres, R. 2017. Aquaponics and sustainability: the comparison of two different aquaponic techniques using the life cycle assessment (LCA). A*quacultural Engineering* 77, 80-88.

Gericke, W.F. 1937). Hydroponics — Crop production in liquid culture media. *Science* 85 (2198), 177-178.

Goddek, S., Espinal, C.A., Delaide, B., Jijakli, M.H., Schmautz, Z., Wuertz, S. & Keesman, K J. 2016a. Navigating towards decoupled aquaponic systems: A system dynamics design approach. *Water* 8 (7), 303.

Goddek, S., Schmautz, Z., Scott, B., Delaide, B., Keesman, K.J., Wuertz, S. & Junge, R. 2016b. The effect of anaerobic and aerobic fish sludge supernatant on hydroponic lettuce. *Agronomy* 6 (2), 37.

Goldman, J.C., Tenore, K.R., Ryther, J.H. & Corwin, N. 1974. Inorganic nitrogen removal in a combined tertiary treatment—marine aquaculture system—I. Removal efficiences. *Water Research* 8 (1), 45-54.

Graber, A. & Junge, R. 2009. Aquaponic systems: Nutrient recycling from fish wastewater by vegetable production. *Desalination* 246 (1-3), 147-156.

Graber, A., Durno, M., Gaus, R., Mathis, A. & Junge, R. 2014. UF001 LokDepot, Basel: The first commercial rooftop aquaponic farm in Switzerland. In *International Conference on Vertical Farming and Urban Agriculture (VFUA 2014), Nottingham, United Kingdom, 9–10 September 2014*.

Graber, A., Antenen, N. & Junge, R. 2014. The multifunctional aquaponic system at ZHAW used as research and training lab. In Maček Jerala, M. & Maček, M.A. (eds). *Conference VIVUS: Transmission of Innovations, Knowledge and Practical Experience into Everyday Practice. Collection of Papers, Strahinj, 14–15 November 2014*, pp. 245-255.

Joly, A., Junge, R. & Bardocz, T. 2015. Aquaponics business in Europe: some legal obstacles and solutions. *Ecocycles* 1 (2), 3-5.

Junge, R., Wilhelm, S. & Hofstetter, U. 2014. Aquaponic in classrooms as a tool to promote system thinking. In Maček Jerala, M. & Maček, M.A. (eds.) *Conference VIVUS: Transmission of Innovations, Knowledge and Practical Experience into Everyday Practice. Collection of Papers, Strahinj, 14-15 November 2014*, pp. 234-244.

Junge, R., König, B., Villarroel, M., Komives, T. & Jijakli, M.H. 2017. Strategic points in aquaponics. *Water* 9 (3), 182.

Khandaker, M. & Kotzen, B. 2018. The potential for combining living wall and vertical farming systems with aquaponics with special emphasis on substrates. *Aquaculture Research* 49 (4), 1454-1468.

Klemenčič, A.K. & Bulc, T.G. 2015. The use of vertical constructed wetland and ultrasound in aquaponic systems. *Environmental Science and Pollution Research* 22 (2), 1420-1430.

Koohafkan, P. & Altieri, M.A. 2018. *Globally Important Agricultural Heritage Systems: A Legacy for the Future*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.

Laidlaw, J. & Magee, L. 2016. Towards urban food sovereignty: the trials and tribulations of community-based aquaponics enterprises in Milwaukee and Melbourne. *Local Environment* 21 (5), 573-590.

Lennard, W.A. & Leonard, B.V. 2004. A comparison of reciprocating flow versus constant flow in an integrated, gravel bed, aquaponic test system. *Aquaculture International* 12 (6), 539-553.

Lennard, W.A. & Leonard, B.V. 2006. A comparison of three different hydroponic sub-systems (gravel bed, floating and nutrient film technique) in an aquaponic test system. *Aquaculture International* 14 (6), 539-550.

Love, D.C., Fry, J.P., Genello, L., Hill, E.S., Frederick, J.A., Li, X. & Semmens, K. 2014. An international survey of aquaponics practitioners. *PLoS ONE* 9 (7), e102662.

Maucieri, C., Forchino, A.A., Nicoletto, C., Junge, R., Pastres, R., Sambo, P. & Borin, M. 2018. Life cycle assessment of a micro aquaponic system for educational purposes built using recovered material. *Journal of Cleaner Production* 172, 3119-3127.

McMurtry, M.R., Nelson, P.V., Sanders, D.C. & Hodges, L. 1990. Sand culture of vegetables using recirculated aquacultural effluents. *Applied Agricultural Research* 5 (4), 280-284.

Monsees, H., Kloas, W. & Wuertz, S. 2017. Decoupled systems on trial: Eliminating bottlenecks to improve aquaponic processes. *PloS ONE* 12 (9), e0183056.

Naegel, L.C. 1977. Combined production of fish and plants in recirculating water. *Aquaculture* 10 (1), 17-24.

Newman, G.E., Gorlin, M. & Dhar, R. 2014. When going green backfires: How firm intentions shape the evaluation of socially beneficial product enhancements. *Journal of Consumer Research* 41 (3), 823-839.

Nozzi, V., Parisi, G., Di Crescenzo, D., Giordano, M. & Carnevali, O. 2016. Evaluation of *Dicentrarchus labrax* meats and the vegetable quality of *Beta vulgaris var. cicla* farmed in freshwater and saltwater aquaponic systems. *Water* 8 (10), 423.

Nozzi, V., Graber, A., Schmautz, Z., Mathis, A. & Junge, R. 2018. Nutrient Management in Aquaponics: Comparison of Three Approaches for Cultivating Lettuce, Mint and Mushroom Herb. *Agronomy* 8 (3), 27.

Palm, H.W., Knaus, U., Appelbaum, S., Goddek, S., Strauch, S.M., Vermeulen, T., Jijakli, M.H. & Kotzen, B. 2018. Towards commercial aquaponics: A review of systems, designs, scales and nomenclature. *Aquaculture International* 26 (3), 813-842.

Podgrajsek, B., Schmautz, Z., Krivograd Klemencic, A., Jarni, K., Junge, R. & Griessler Bulc, T. 2014. Preliminarni monitoring akvaponicnega sistema v biotehniskem centru Naklo: Preliminary Monitoring of an Aquaponic System in Biotechnical Center Naklo. *Moje Podezelje* 5 (9), 10-11.

Rafiee, G. & Saad, C.R. 2010. The effect of natural zeolite (clinoptiolite) on aquaponic production of red tilapia (*Oreochromis* sp.) and lettuce (*Lactuca sativa* var. *longifolia*), and improvement of water quality. *Journal of Agricultural Science and Technology* 8, 313-322.

Rakocy, J.E. & Allison, R. 1981 Evaluation of a closed recirculating system for the culture of tilapia and aquatic macrophytes. In Allen, L.J. & Kinney, E.C. (eds.) *Proceedings of the Bio-Engineering Symposium for Fish Culture*, pp. 296–307. American Fisheries Society: Bethesda, MD, USA.

Rakocy, J.E., Schultz, R.C., Bailey, D.S. & Thoman, E.S. 2003. Aquaponic Production of Tilapia and Basil: Comparing a Batch and Staggered Cropping System. *Acta Horticulturae* 648, 63-70.

Rakocy, J.E., Bailey, D.S., Shultz, R.C. & Thoman, E.S. 2004. Update on tilapia and vegetable production in the UVI aquaponic system. In *New Dimensions on Farmed Tilapia: Proceedings of the Sixth International Symposium on Tilapia in Aquaculture*, pp. 12-16.

Rakocy, J.E., Masser, M.P. & Losordo, T.M. 2006. *Recirculating Aquaculture Tank Production Systems: Aquaponics — Integrating Fish and Plant Culture*. Southern Regional Aquaculture Center, SRAC Publication No. 454.

Roosta, H.R. & Afsharipoor, S., 2012. Effects of different cultivation media on vegetative growth, ecophysiological traits and nutrients concentration in strawberry under hydroponic and aquaponic cultivation systems. *Advances in Environmental Biology* 6 (2), 543-555.

Ryther, J.H., Goldman, J.C., Gifford, C.E., Huguenin, J.E., Wing, A.S., Clarner, J.P., Williams, L.D. & Lapointe, B.E. 1975. Physical models of integrated waste recycling-marine polyculture systems. *Aquaculture* 5 (2), 163-177.

Savidov, N. & Brooks, A.B. 2004. *Evaluation and Development of Aquaponics Production and Product Market Capabilities in Alberta*. Crop Diversification Centre South, Brooks, Alberta.

Schmautz, Z., Graber, A., Jaenicke, S., Goesmann, A., Junge, R. & Smits, T.H.M. 2016a. Microbial diversity in different compartments of an aquaponics system. *Archives of Microbiology* 199 (4), 613-620.

Schmautz, Z., Loeu, F., Liebisch, F., Graber, A., Mathis, A., Griessler Bulc, T. & Junge, R. 2016b. Tomato productivity and quality in aquaponics: comparison of three hydroponic methods. *Water* 8 (11), 533.

Schnitzler, W.H. 2013. Urban hydroponics for green and clean cities and for food security. *Acta Horticulturae* 1004, 13-26.

Smith, L. 2015. Aquaculture expert helps build one of the world's biggest fish farms in Middle East. *New South Wales Country Hour*.

Somerville et al. 2014. Introduction to aquaponics. Somerville, C., Cohen, M., Pantanella, E., Stankus, A. & Lovatelli, A. 2014. *Small-scale Aquaponic Food Production: Integrated Fish and Plant Farming*. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper No. 589. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, pp. 1-10.

Thorarinsdottir, R.I. (ed.) 2015. *Aquaponics Guidelines*. EU Lifelong Learning Programme, Reykjavik.

Trang, N.T.D. & Brix, H. 2014. Use of planted biofilters in integrated recirculating aquaculture-hydroponics systems in the Mekong Delta, Vietnam. *Aquaculture Research* 45 (3), 460-469.

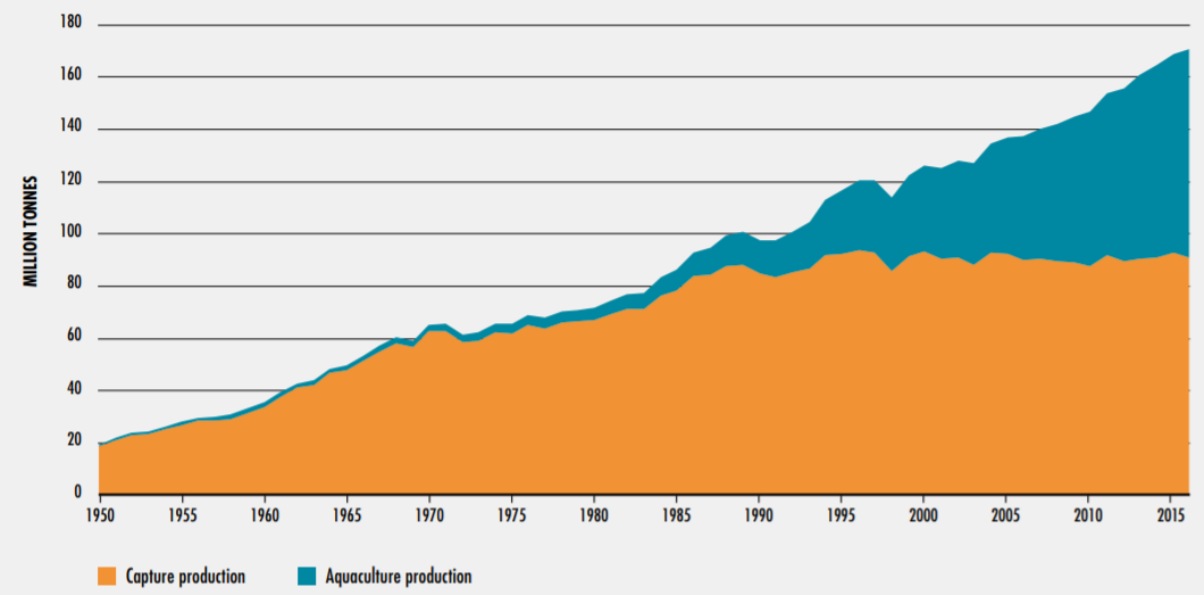
Villarroel, M., Junge, R., Komives, T., König, B., Plaza, I., Bittsánszky, A., & Joly, A. 2016. Survey of aquaponics in Europe. *Water*, 8 (10), 468.

**Ranka Junge, Nadine Antenen, Fridolin Tschudi**

# 2. RIBOGOJSTVO

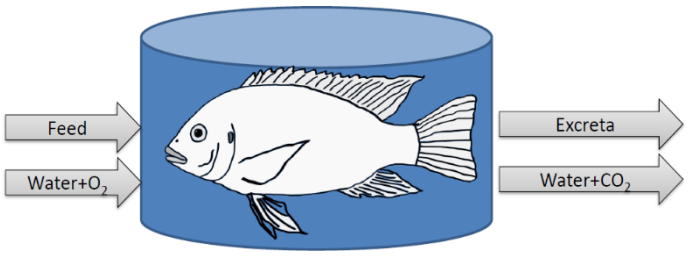
## 2.1 Uvod v ribogojstvo

Ribogojstvo je gojenje in proizvodnja rib ter drugih vodnih živalskih in rastlinskih vrst v nadzorovanih pogojih (Somerville *et al.* 2014). Ribogojstvo je zaradi prelova in posledičnega zmanjšanja staleža divjih rib v zadnjih desetletjih zelo pomembno (slika 1) in bo v prihodnosti še pomembnejše, saj na stalež divjih rib zelo močno vplivajo podnebne spremembe (Gibbens 2019). V letu 2016 je ribogojstvo predstavljalo približno 47 % celotne svetovne proizvodnje rib (slika 1).




Slika 1: Delež izlovljenih rib in rib iz ribogojstva med 1950 in 2016 (FAO 2018)

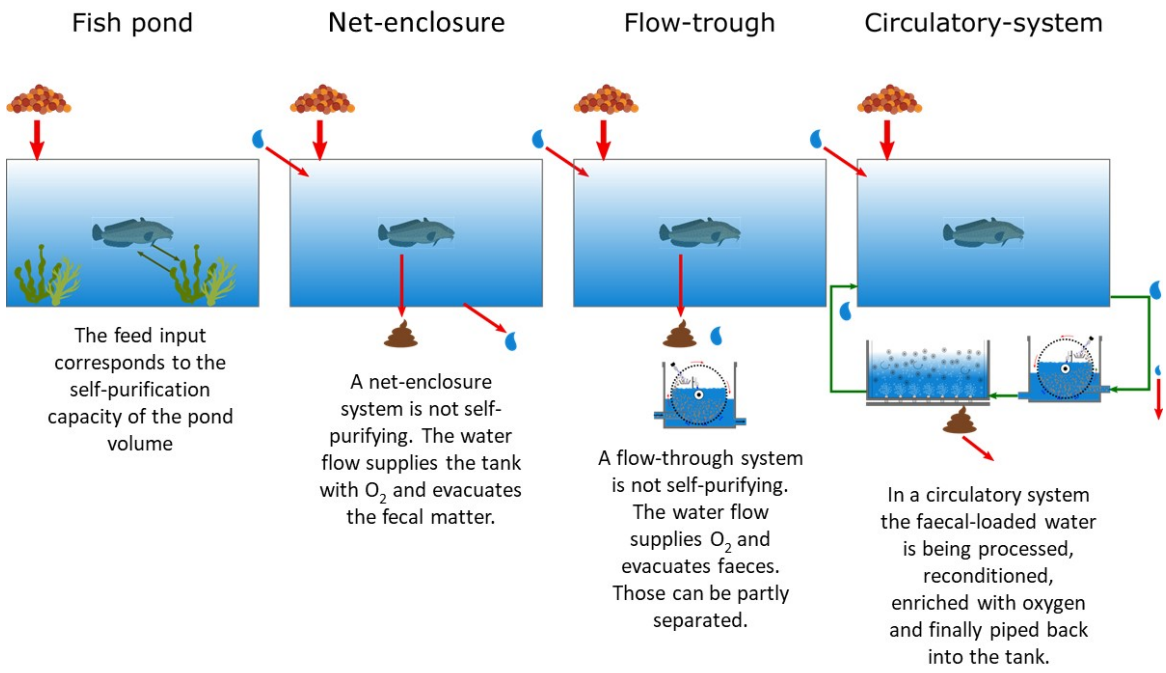
Glavni cilj katerega koli sistema ribogojstva je gojenje in prodaja rib. Osnovna shema gojenja rib je prikazana na Sliki 2. Ribe, ki živijo v vodnem telesu, prejemajo krmo in kisik. Njihov metabolizem jih pretvori v izločke in $CO_2$, ki so, če se kopičijo v vodi, zanje strupeni. V različnih tehnologijah gojenja rib skušajo ribogojci premagati to težavo z uporabo različnih strategij. Ribe, ki živijo v vodi, sprejemajo krmo in kisik. Njihov metabolizem jih pretvori v izločke in $CO_2$, ki so za ribe strupeni. Voda postane odpadna voda (slika 2).




Slika 2: Osnovno načelo ribogojstva

Ribogojne sisteme lahko razvrstimo v štiri osnovne izvedbe: ribnik, mrežna ograja, pretočni sistem in recirkulacijski sistem (slika 3). Odprte tehnike ribogojstva, kot so mrežne ograje, ribniki in pretočni sistemi, sproščajo s hranili bogate odpadne vode v okolje, kar lahko povzroči evtrofikacijo in hipoksijo v vodnih telesih. Pri recirkulacijskih ribogojnih sistemih (angl. *Recirculating Aquaculture System* – RAS) se ta odpadna voda prečisti in ponovno uporablja v sistemu.

RAS ima v primerjavi z drugimi sistemi ribogojstva številne prednosti. Gre za popolnoma nadzorovan sistem, ki je v večji meri neodvisen od lokalnih pogojev, ima zelo nizko porabo vode z nizkimi pretoki odpadne vode, proizvodnjo pa je mogoče načrtovati in oceniti preko celega leta. Obstajajo tudi pomanjkljivosti, kot so znatni investicijski in obratovalni stroški ter visoko tveganje za pojav napak v obratovanju zaradi občutljivosti tehnologije za okvare. Izbor ribjih vrst je večinoma omejen na mesojede vrste, sistem pa je v celoti odvisen od umetnih krmil. V tem okviru je akvaponiko mogoče razumeti kot obliko RAS ali razširitev RAS, zato je v tem poglavju podrobneje predstavljen del ribogojstva recirkulacijskega akvaponskega sistema.

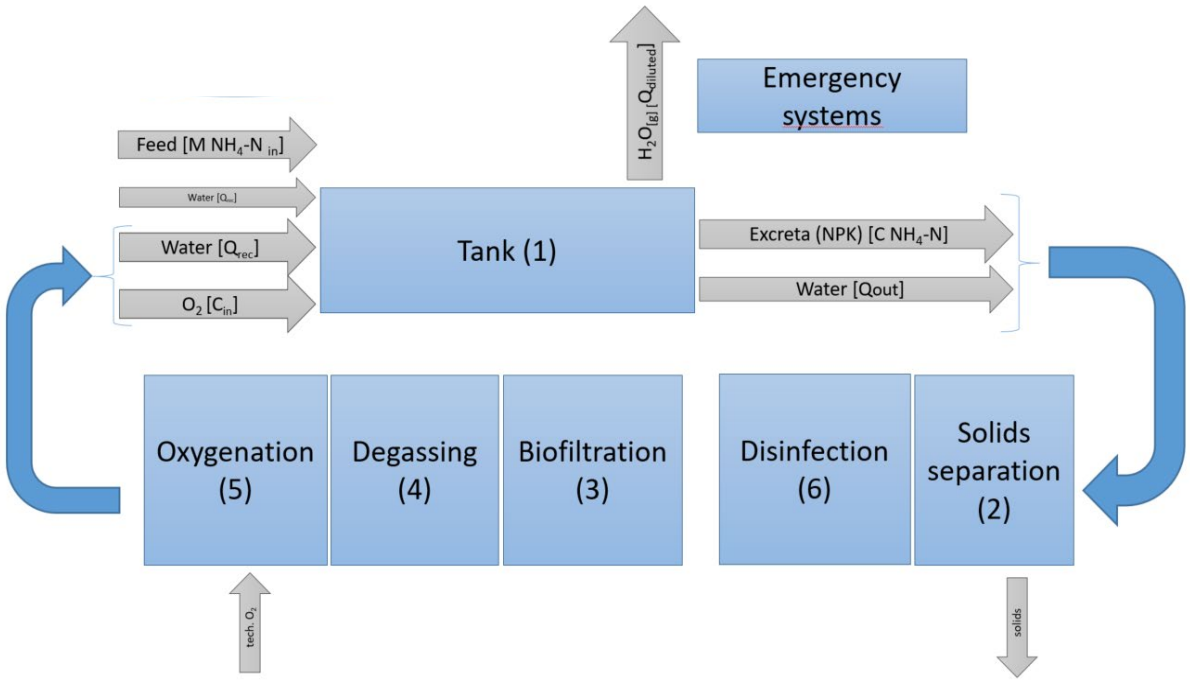



Slika 3: Glavne vrste ribogojnih sistemov

## 2.2 Recirkulacijski ribogojni sistem (RAS)

RAS je sestavljen iz bazenov za ribe in več filtracijskih enot za čiščenje vode. V klasičnem RAS se voda stalno pretaka iz bazenov skozi filtracijske enote in nato nazaj v bazene (Slika 4). Voda, ki izteka iz bazenov, zaradi metabolizma rib vsebuje visoke koncentracije trdnih snovi, hranil in $CO_2$, medtem ko je koncentracija raztopljenega kisika v vodi, v primerjavi z dotokom, nizka. Namen filtracijskih enot je zmanjšati koncentracijo trdnih snovi, hranil, strupenih snovi in ogljikovega dioksida ter povečati ravni raztopljenega kisika v vodi, preden se ta vrne v rezervoar za ribe.

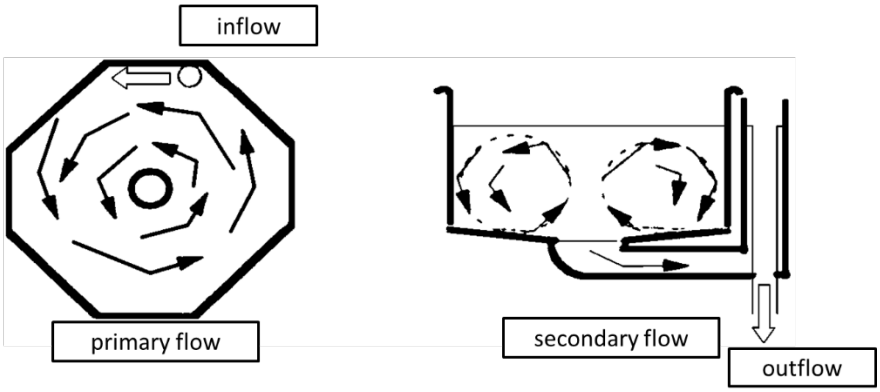
Sistem filtracije je večstopenjski (slika 4). Prva stopnja obdelave po odtoku vode je ločevanje trdnih snovi (Slika 4, točka 2), pri čemer se trdne snovi (ostanki krme, iztrebki, večje alge in bakterije) odstranijo iz vode. Potem se voda dezinficira z UV ali ozonom (Slika 4, točka 6). Ta stopnja se ne izvaja vedno v ribogojnicah in jo je mogoče izvesti tudi po stopnji, kjer se nahaja biofilter. Voda nato priteče v biofilter (slika 4, točka 3), v katerem bakterije presnavljajo del organske obremenitve in oksidirajo amonijak v nitrit in nato v nitrat. Vse te bakterije v presnovnih reakcijah uporabljajo raztopljeni kisik ($O_2$) in sproščajo ogljikov dioksid ($CO_2$) v vodo, zato je treba po biofiltraciji znižati raven $CO_2$ v vodi. To se izvede v napravi za odplinjevanje, v kateri se gladina vode zviša, pri čemer $CO_2$ vstopi v fazo zraka (slika 4, točka 4). Nazadnje je treba povečati koncentracijo kisika v vodi, ki je primerna za ribe. To se naredi v enoti za oksigenacijo (Slika 4, točka 5). V nadaljevanju poglavja so stopnje sistema filtracije podrobneje opisane.




Slika 4: Glavne stopnje RAS

### 2.2.1 Bazen za ribe

Bazen za ribe je prostor rasti rib in zato osnovna sestavina RAS. Klasične oblike bazenov so okrogle in kvadratne. Eden glavnih vidikov, zaradi katerih so okrogli bazeni boljši od kvadratnih, je samočistilni učinek, ki ga je mogoče doseči s krožnim hidravličnim vzorcem (Slika 5). Pretok v bazenih za ribe ima dve funkciji: (i) enakomerna porazdelitev dotočne vode in krme za ribe ter (ii) prehajanje delcev do središča bazena. Primarni krožni tok je tok iz dotoka in nato v smeri urnega kazalca/v obratni smeri urnega kazalca v bazenu. Ta tok nosi trdne snovi proti dnu bazena. Primarni krožni tok ustvarja sekundarni radialni tok, ki skupaj tvorita samočistilni bazen. Primarni tok (slika 5) zagotavlja dobro porazdelitev vode na dovodu, sekundarni tok (slika 5) pa prispeva k učinkovitemu odstranjevanju trdnih snovi.




Slika 5: Vloga primarnega in sekundarnega toka (prilagojeno po Timmons *et al.* 1999)

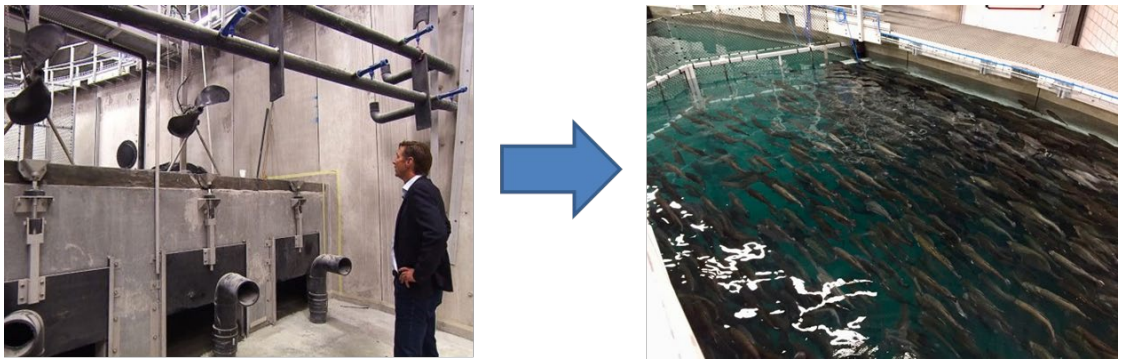
V okroglih bazenih imajo voda in raztopljene hranilne snovi ter delci zaradi hidravlike sorazmerno kratek čas zadrževanja v primerjavi s kvadratnimi bazeni. Čeprav imajo okrogli bazeni številne prednosti v primerjavi s kvadratnimi bazeni, jih njihova glavna pomanjkljivost (majhna površinska učinkovitost) pogosto uvršča med manj ustrezne rešitve za ribogojnice RAS. V zadnjih desetletjih so zato bile razvite in preizkušene številne druge oblike bazenov (več v poglavju 12).

Odkar je RAS postal vse bolj priljubljen in se sistem načrtuje tudi za velike ribogojnice (npr. Nordic Aquafarms načrtuje investicijo, vredno 550 milijonov EUR, za ribogojnico RAS v Belfastu, Maine, USA), postaja načrtovanje velikih bazenov zelo pomembno. Veliki bazeni so pogosto (vsaj teoretično) cenovno ugodnejši kot tradicionalno majhni bazeni (Slika 6).

Slika 6: Velik okrogel bazen (globina 6 m, premer 32,5 m) kot del RAS za gojenje lososov (Swiss Alpine Fish)

Pretočne razmere pomembno vplivajo na zdravje rib. Za vzpostavitev različnih tokov vode je možno bazene hidravlično strukturirati s pomočjo plošč. Na ta način ribe ostanejo v najustreznejšem delu bazena (slika 7).

Ribe morajo namreč čim več plavati, kar pomeni, da potrebujejo tok, njegova hitrost pa mora biti prilagojena vrstam rib. Na splošno manjše ribe potrebujejo nižjo hitrost toka, vseeno pa mora biti dovolj visoka, da ločevanje trdnih snovi iz vode še vedno poteka. Vse to namreč vpliva na kakovost ribjega mesa.



Slika 7: Sistem pretoka, posebej razvit za gojenje lososa (Swiss Alpine Fish AG, Lostallo, Švica)

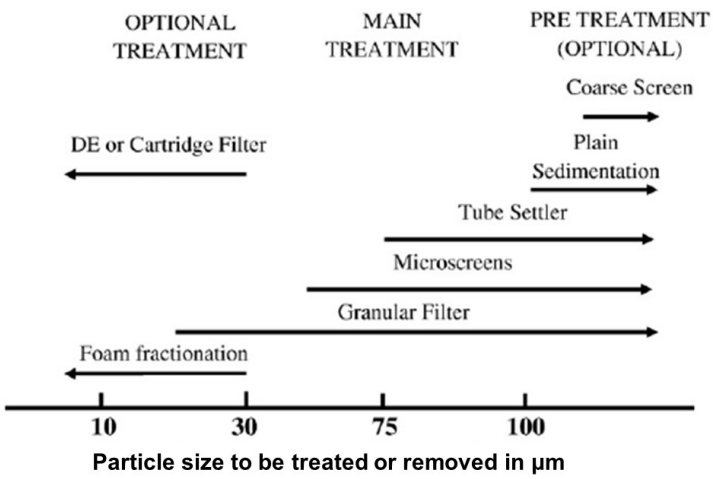
### 2.2.2 Ločevanje trdnih snovi iz vode

Razlogov za ločevanje trdnih snovi iz vode je več. Prvič, kakovost vode se izboljšuje z zmanjšanjem organskih trdnih snovi v njej, kar zmanjšuje mineralizacijo (aerobno dihanje), zato pomaga stabilizirati vsebnost kisika. Drugič, ohranjanje kakovosti vode koristi tudi asimilaciji krme in nadzoru staleža. Poleg tega odstranjevanje trdnih snovi iz vode zmanjšuje obremenitev z bakterijami, saj odstranjuje vir hrane za mikroorganizme. Visoka bakterijska aktivnost v vodnem stolpcu vpliva na nepotrebno porabo kisika.

Druga prednost odstranjevanja trdnih snovi iz vode je preprečevanje mašenja ribjih škrg, kar lahko upočasni rast ali celo pogin rib, vendar je to odvisno od vrste rib. Ribe, ki se prehranjujejo s filtriranjem (npr. mnoge vrste krapov), so prilagojene na določeno količino suspendiranih spojin v svojem naravnem habitatu, zato lahko tudi v RAS prenesejo večjo količino suspendiranih trdnih snovi, kot na primer salmonidi (Avnimelech 2014).

Eden najpomembnejših tehničnih razlogov, zakaj je treba trdne snovi iz vode odstraniti, je morebitna zamašitev biofiltra; Poleg tega se učinkovitost odstranjevanja klic z dezinfekcijo poveča z odstranjevanjem trdnih snovi (prim. poglavje 9). Trdne snovi v vodi so različnih velikosti, postopki za odstranjevanje le-teh pa se večinoma razlikujejo glede na njihovo velikost (slika 8).

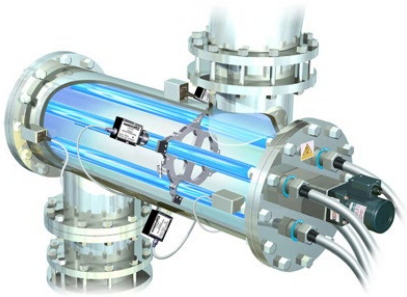
Čiščenje odpadnih voda je pomemben strošek intenzivnega RAS. Ta se običajno zaračuna na $m^3$ odpadne vode na iztoku javne čistilne naprave oz. na njenem vtoku . Da bi zmanjšali količino odpadne vode, je možno obdelati blato, ki nastane pri ločevanju trdnih snovi iz vode. Na ta način lahko celo z enostavnim filtracijskim sistemom dosežemo precejšnje zmanjšanje končne količine odpadne vode.




Slika 8: Postopki odstranjevanja trdnih snovi iz vode in območja velikosti delcev (v µm), kjer so postopki najučinkovitejši (vir: Timmons and Ebeling 2007)

### 2.2.3 Dezinfekcija

Bakterijske in virusne bolezni lahko povzročajo hude težave pri intenzivnem RAS. Vodo najpogostje dezinficiramo z ozonom ali UV-sevanjem. UV-svetloba lahko z določeno intenziteto uniči DNK mikroorganizmov, zlasti patogenih in enoceličnih organizmov. V RAS je UV-svetloba (slika 9) večinoma zajeta v kratkem kosu cevi med mehansko filtracijsko enoto (npr. bobni filter) in biofiltrom. Intenziteta oz. odmerek UV-svetlobe se lahko izrazi v µWs/cm$^2$ (energija na površino). V RAS se odmerek UV, potreben za uničenje (deaktivacijo) okoli 90 % organizmov, giblje med 2000 in 10.000 µWs/cm$^2$. Za odstranjevanje vseh gliv in majhnih zajedavcev je morda treba odmerek povečati do 200.000 µWs/cm$^2$. Za največjo učinkovitost je treba UV-svetlobo namestiti po sistemu mehanske filtracije, da je suspendirane trdne snovi ne ovirajo.



Slika 9: Naprava za UV-sevanje (vir: AKR UV Systems)

Dodajanje ozona ($O_3$) je še ena učinkovita metoda za zmanjšanje patogenov in drugih nezaželenih organizmov v RAS. Ozon je molekula kisika ($O_2$) z dodatnim kisikovim atomom. V stiku z vodo se razcepi na $O_2$ in prosti kisikov radikal O. Ta radikal »napade« in oksidira organske snovi. Posledica tega je razgradnja suspendiranih delcev ali nekaterih snovi (zmanjšanje motnosti vode, tvorba barve s huminskimi kislinami). Radikal O ozonske molekule »napade« tudi biološke celične stene organizmov, prav tako pa ubija bakterije ter plavajoče in nitaste alge. Ozon je zelo reaktiven, zato

lahko v prevelikih količinah škoduje nitrifikacijskim bakterijam v biofiltru ter poškoduje ribje škrge. Odmerek ozona je zato treba stalno spremljati.

Tabela 1: Prednosti in slabosti dezinfekcije z UV, ozonom in vodikovim peroksidom ($H_2O_2$) v RAS

| | **Dezinfekcijsko sredstvo** | | |
|---|---|---|---|
| | **UV** | **Ozon** | **$H_2O_2$** |
| Prednosti | Deluje le lokalno v UV-reaktorju<br>Neškodljiv zdravju rib<br>Enostavno upravljanje<br>Poceni | Zelo učinkovit pri odstranjevanju neželenih organizmov, posebej patogenih<br>Razgradi kompleksne molekule v majhne biorazgradljive spojine<br>Oksidira nitrit do nitrata | Zelo učinkovit pri odstranjevanju neželenih organizmov, posebej patogenih |
| Pomanjkljivosti | Občutljiv na motnost vode, neučinkovit v vodi z veliko obremenitvijo trdnih snovi<br>Žarnice je treba pogosto menjati (vsako leto)<br>Če je obdobje sevanja prekratko (tj. ima sistem previsok pretok), je UV-dezinfekcija neučinkovita | Zapleteno odmerjanje<br>Škodljiv ribam in biofiltru<br>Ozonski sistem lahko izklopi različne ravni nitritov in zmanjša količino nitrifikacijskih bakterij v biofiltru<br>Sorazmerno drag | Omejena uporaba, npr. dezinfekcija praznih rezervoarjev in opreme<br>Preveliki odmerki lahko močno poškodujejo ribe<br>Poškoduje tudi filter |

### 2.2.4 Biofiltracija

Nitrifikacija poteka v biofiltru za oksidacijo zelo strupenega prostega amonijaka v manj strupene nitrite in sčasoma v nestrupene nitrate. Nitrifikacijske bakterije so osrednji del biofiltra. Te bakterije rastejo na površini filtrirnega medija. Medij je mogoče pritrditi (npr. tri stopnenjski filter) ali premikati (npr. filter s premičnim ležiščem). Bakterije za nitriranje so občutljive na spremembe kakovosti vode v sistemu (zlasti na pH in temperaturo), zato se je treba izogibati hitrim spremembam in jih izvajati počasi, saj lahko v nasprotnem primeru velika količina nitrifikacijskih bakterij odmre, kar lahko poveča količine amonijaka in nitritnih konic v sistemu. Ker so nitrifikacijske bakterije aerobne, je treba vsebnost raztopljenega kisika v biofiltru vedno vzdrževati na določeni meji (odvisno tudi od temperature vode). Ponavadi koncentracija kisika ob odtoku biofiltra ne sme biti nižja od 1 mg/L. Več podrobnosti o izbiri prave biofiltracije je v poglavju 12.

### 2.2.5 Razplinjevanje in aeracija

Plin iz tekoče v plinsko fazo preide, kadar ena faza ni nasičena. Topnost plina je odvisna od tlaka, temperature, slanosti in delnega tlaka plina. Prenos poteka preko kontaktnih površin med plinom in

tekočino. **Aeracija** poveča vsebnost kisika v vodi, **razplinjevanje** pa odstranjuje pline, npr. $CO_2$ iz vode.

### Razplinjevanje

Plini, zlasti ogljikov dioksid, ki nastanejo pri dihanju rib in bakterij, se kopičijo v vodi akvaponskega sistema. Če so koncentracije previsoke, imajo lahko škodljive učinke na ribe. Zaradi tega se intenzivnim RAS navadno doda enota za razplinjevanje, tj. izpust plina. To dosežemo s povečanjem površine stika med vodo in zrakom bodisi z zračenjem vodnega stolpca bodisi s pršenjem vode skozi zrak. Različni biofiltri imajo velik razplinjevalni učinek: voda v precejalniku prehaja skozi zrak, medtem ko v filtru s premičnimi enotami zrak prehaja skozi vodo. Zaradi tega je lahko dodatna enota za razplinjevanje odveč.

### Oksigenacija

Vsebnost raztopljenega kisika ($O_2$) je eden najpomembnejših parametrov kakovosti vode v RAS in se ga v izrednih razmerah pogosto najprej omeji (npr. v primeru izpada električne energije, odpoved črpalke itd.). Obstajajo številne tehnike za obogatitev raztopljenega kisika v vodi. Dovod zraka v vodo (prezračevanje) lahko povečamo: (i) s povečanjem območja stika s kisikom/vodo z uporabo vrtinčenja ali majhnih mehurčkov; (ii) s podaljšanjem časa stika med kisikom in vodo z uporabo majhnega premera mehurčkov in/ali počasnega pretoka vode; (iii) z zvišanjem tlaka (ki poveča topnost) – gladina vode, posoda pod tlakom; in (iv) s povečanjem parcialnega tlaka $O_2$ (poveča topnost) – čisti kisik.

### Visoka učinkovitost vnosa kisika v vodo

Pri intenzivnem RAS so postopki oksigenacije odvisne od uporabe čistega kisika in ne od preprostega prezračevanja, ki pri določenih gostotah rib ni uporabno. Kisik nastaja na kraju samem z generatorjem kisika ali pa ga dobavi zunanje podjetje in ga shrani v visokotlačnih rezervoarjih zunaj ribogojnega obrata. Nekatere strategije za povečanje oskrbe s kisikom pri intenzivnem gojenju rib vključujejo:

- povečanje oskrbe z dotočno vodo,
- uporabo dovoda dotočne vode v obliki slapa, da se voda navzame kisika zaradi škropljenja po zraku,
- uporabo zračnih puhal za odzračevanje zračnih mehurčkov na dnu rezervoarja (največja globina je 2 m, sicer pride do prenasičenosti $N_2$),
- uporabo čistega kisika iz tlačnih plinskih cevi (ki se uporabljajo za rezervne sisteme/prevoz samo zaradi visokih stroškov), iz rezervoarjev za tekoči kisik (standard za proizvodnjo RAS > 5 t/leto) ali iz generatorjev kisika (obogatitev iz zunanjega zraka do 98 % čistosti).

### Nizka učinkovitost vnosa kisika v vodo

V ekstenzivnih ribnikih običajno dotok z nizkim dovodom kisika zadošča. To dosežemo z (i) ohranjanjem hladne vode, saj ta raztopi več kisika, in (ii) povečanjem hitrosti vodnega toka. To lahko omogočajo različni načini prezračevanja (podrobneje v poglavju 12).

### 2.2.6 Črpalke in črpalne jame

Črpalka v RAS je kot srce v človeškem telesu. Če ne dela, so posledice lahko usodne, zato se odsvetuje nakup najcenejše črpalke. Za regulacijo pretoka se lahko uporabi črpalke s krmiljenjem hitrosti, z uporabo črpalk s povratnimi ventili pa se zmanjšajo možnosti za okvaro sistema. Priporočljivo je zagotoviti nekaj rezervnih črpalk, da sta vsaj dve črpalki (lahko tudi tri) vezani vzporedno. Pred nakupom črpalke je treba izračunati tlačne izgube v ceveh, npr. s pomočjo spletnega kalkulatorja (http://www.pressure-drop.com/Online-Calculator/).

## 2.3 Upravljanje RAS

### 2.3.1 Gostota ribjega staleža

Gostota ribjega staleža je zelo pomemben dejavnik, o katerem se je treba odločiti vnaprej pri oblikovanju RAS. Določi se lahko na različne načine (tabela 2), pri čemer je treba upoštevati, kdaj in zakaj se uporabljajo različne opredelitve.

Tabela 2: Opredelitve gostote ribjega staleža

| | **Gostota posameznikov** | **Gostota biomase** |
|---|---|---|
| **Gostota na površino** | **(#/$m^2$)**<br>Ne glede na globino rezervoarja<br>Primerno za ribe na dnu | **(kg/$m^2$)**<br>Ne glede na globino rezervoarja<br>Primerno za ribe na dnu<br>Pogosto je višja pri večjih ribah kot pri manjših |
| **Gostota na prostornino** | **(#/$m^3$)**<br>Pogosto je visoka za majhne ribe, čeprav je gostota biomase višja | **(kg/$m^3$)**<br>Primerno za prosto plavajoče vrste |

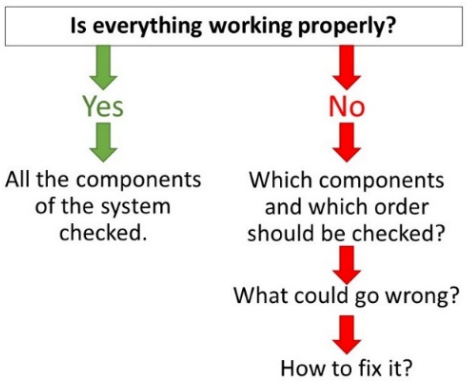
Različne vrste rib imajo različne možne gostote naselitve. Gostota ribjega staleža je glavni dejavnik pri določanju dobrega počutja rib, čeprav vsi biološki vidiki še niso znani. Obstajajo vrste rib, ki imajo različno obnašanje pri različnih gostotah naselitve. Npr. tilapija kaže mirno vedenje v visoki gostoti naselitve in teritorialno vedenje pri nizki gostoti. Ribe je treba gojiti v primerni gostoti naselitve, da si ne bi medsebojno škodovale. Za učinkovito uporabo prostora in preprečevanje kanibalizma bi morale biti v enem bazenu enake velikosti rib. To pomeni, (a) da mora imeti ribogojni obrat več bazenov za namestitev rib različnih velikosti in (b) da mora biti ribji stalež občasno razvrščen glede na velikost in prerazporejen v bazene. Nizka in visoka gostota naselitve v RAS ima več posledic za upravljanje (tabela 3).

Tabela 3: Značilnosti sistemov z nizko in visoko gostoto naselitve

| Dejavniki, ki vplivajo na sisteme z enako letno proizvodnjo | Visoka gostota | Nizka gostota |
|---|---|---|
| Sprememba parametrov vode | Hitra sprememba | Počasna sprememba |
| Odzivni čas (npr. odpoved črpalke) | Krajši, več stresa za ribe | Daljši, delovanje sistema je varnejše |
| Zmogljivost rezervoarjev za ribe za določen obseg proizvodnje | Manj zmogljivosti je potrebne za isti obseg proizvodnje | Potrebne so večje zmogljivosti; to je mogoče delno nadomestiti z globljimi bazeni, ki pa so dražji, za delovanje potrebujejo tudi dražji sistem cevi in črpalk |
| Potrebna hitrost kroženja/premestitve za določen obseg proizvodnje [$m^3$/h] | Enako | Enako; zaradi počasnosti sistema obstajajo položnejši vrhovi = manjši sestavni deli = cenejša strojna oprema za obnavljanje vode |
| Prostornina pretoka glede na prostornino rezervoarja | Velika | Majhna |
| Velikost bazena | Manjši bazeni z veliko gostoto rib povzročajo, odvisno od vrste, več stresa pri ribah | V večjih bazenih imajo zlahka prestrašene ribe daljšo razdaljo pobega |

### 2.3.2 Monitoring

Postopke monitoringa je treba opredeliti v skladu s stopnjami, prikazanimi na sliki 10. RAS so zapleteni in so sestavljeni iz mnogih delov. Operaterji sistema morajo biti zato pozorni na morebitne nepravilnosti delovanja. (tabela 4, glej tudi poglavje 9).




Slika 10: Logični koraki oblikovanja postopkov monitoringa

Glavna prednost sistema upravljanja je zdravje rib in rastlin, zato je treba postopke monitoringa prednostno določiti v skladu s »podpro življenjskim funkcijam« (tabela 5). V tabeli 6 so navedeni pomembne prvine, ki jih je treba spremljati vsak dan.

Tabela 4: Kaj gre lahko narobe?

| Vrsta/sistem | Vzroki |
|---|---|
| Izven operaterjevega nadzora | Poplave, tornadi, orkani, veter, sneg, led, neurja, izpadi električne energije, vandalizem/tatvina |
| Kadrovske napake | Napake operaterja, spregledano vzdrževanje, ki povzroča okvare rezervnih sistemov ali sestavnih delov sistema, alarmi so deaktivirani |
| Raven vode v bazenu | Nenamerno odvit odtočni ventil, izpuščena ali odstranjena cev iz pipe, puščanje v sistemu, pretrgan odtočni vod, preliven rezervoar |
| Pretok vode | Ventil je preveč zaprt ali odprt, odpoved črpalke, izguba sesalne sposobnosti, sesalna površina je blokirana, cev je blokirana, počene povratne cevi, zlomi/popuščanje lepila |
| Kakovost vode | Nizka koncentracija raztopljenega kisika, visoka koncentracija $CO_2$, prenasičena dotočna voda, visoka ali nizka temperatura, visoke koncentracije amonijaka, nitrat ali nitrata, nizka alkalnost |
| Filtri | Cevni sistem/zamašeni filtri, prekomerno znižanje gladine vode |
| Zračni sistem | Pregrevanje motorja zaradi previsokega tlaka, pogonski jermen je odprt ali pokvarjen, difuzorji blokirani ali izključeni, puščanje v napajalnih vodih |

Tabela 5: Prednostna naloga monitoringa in odziva

| | | Parameter | Odzivni čas |
|---|---|---|---|
| **Prednost** | Visoka | • Električna energija<br>• Raven vode<br>• Raztopljeni kisik | Zelo hitro (v minutah)<br>Alarm je potreben |
| | Srednja | • Temperatura<br>• Ogljikov dioksid<br>• pH | Zmeren odzivni čas (v urah) |
| | Nizka | • Oblike dušika (amonijak, nitrit, nitrat)<br>• TSS (skupne suspendirane trdne snovi) | Počasno spreminjajoči se parametri (dnevno ali tedensko spremljanje njihove ravni) |

Tabela 6: Pomembni elementi, ki jih je treba spremljati vsak dan

| | |
|---|---|
| **Električna energija** | Eno- in trifazno napajanje, posamezni sistemi za reševanje (preprečevanje pogina) GFC-iztoki |
| **Raven vode** | Ribji bazen (visoka/nizka), dovodni jaški do črpalk (visoka/nizka), filtri (visoka/nizka) |
| **Zračni sistem** | Zračni tlak kisika (visok/nizek) |
| **Pretok vode** | Črpalke, ribji bazeni, potopljeni filtri, linijski grelci |
| **Temperatura** | Ribji bazeni (visoka/nizka), ogrevalni/hladilni sistemi (visoka/nizka) |
| **Varnost** | Senzorji visoke temperature/dima, protivlomni alarmi |

## Nekaj nasvetov za načrtovanje in varnost sistema

- Pazljivo izberite senzorje, označite vse sestavne dele in predvidite možnost razširitve vseh komponent.
- Ribogojni obrati so vključeni v nacionalni električni zakonik. Morda vas ne bo skrbel, vendar pa bo skrbel vašega zavarovalnega zastopnika.
- Oprema in senzorji naj bodo nameščeni na vidih in lahko dostopnih mestih, da se bo servisiranja in umerjanja lažje lotiti.
- Voda in elektrika sta usodna kombinacija, zato za zaščito sebe in rib uporabite nizke napetosti (5 VDC, 12 VDC ali 24 VDC ali AC).
- Jasno označite, kdaj senzor deluje in kdaj ne, po možnosti z LED na vsaki postaji, ki prikazuje stanje senzorja.

## Nekaj nasvetov za vzdrževanje sistema

- Potrebno je imeti pripravljen priročnik za vzdrževanje, ki ga lahko osebje bere.
- Posodabljajte tedenski/mesečni/letni načrt vzdrževanja in hranite datoteke večjih evidenc servisov in priročnikov za opremo.
- Vodite dnevne/tedenske/mesečne nadzorne sezname instrumentov.
- Izvajajte redne (in nekatere nenapovedane) sistemske preglede, vključno s sprožitvijo vsakega senzorja ter preverjanjem delovanja samodejnih varnostnih kopij in klicne številke telefona.
- Zagotovite usposabljanje osebja za ravnanje z rutinskimi alarmi.
- Zagotovite, da zna osebje opravljati s celotnim operacijskim sistemom, vključno z vodovodnimi, prezračevalnimi in varnostnimi sistemi za varnostno kopiranje.

## Kdaj spremljati kakovost vode?

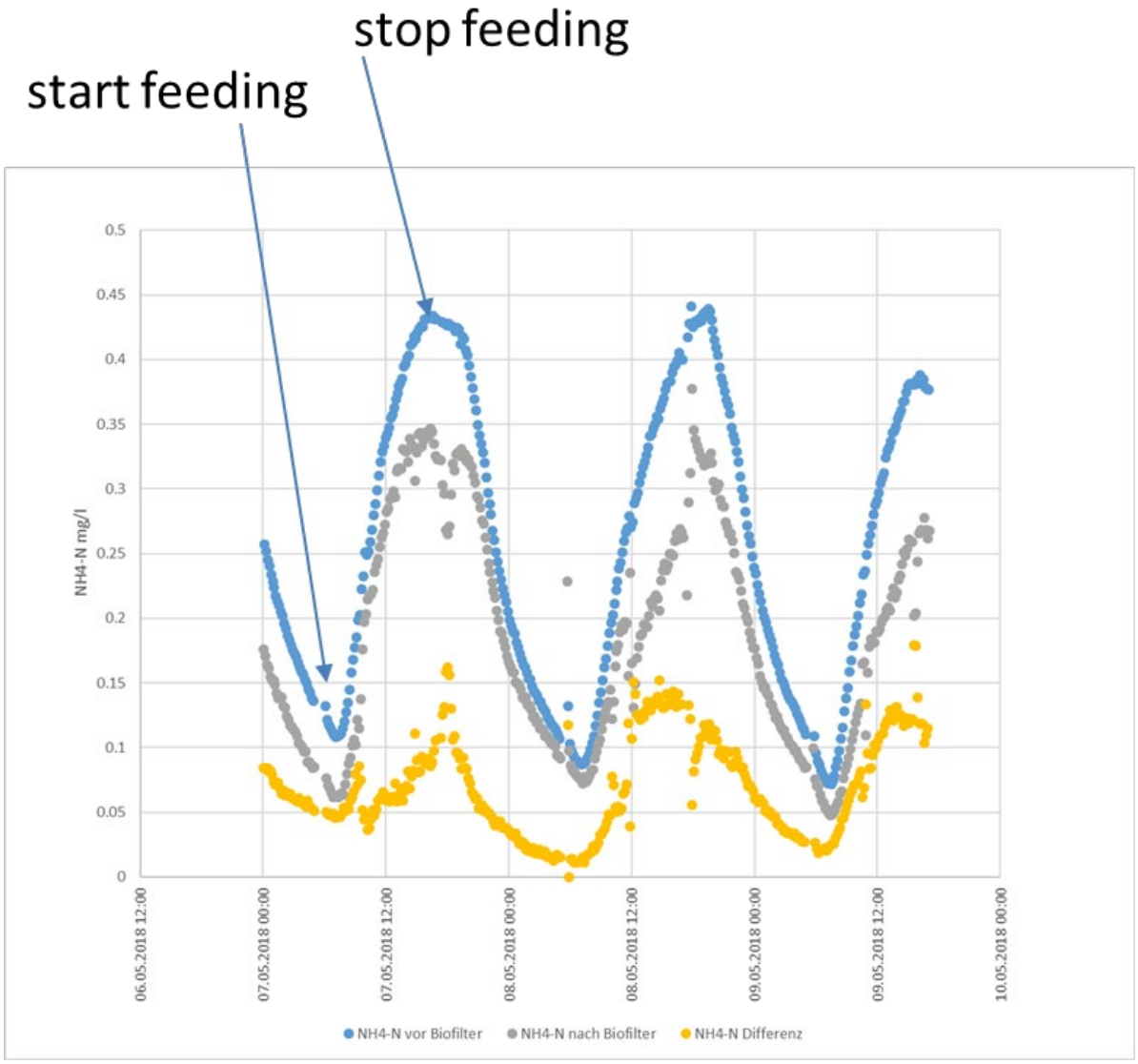
Ribe prebavljajo glede na čas hranjenja, količina blata pa je odvisna od količine zaužite krme. Tako je treba pričakovati najvišjo vsebnost amonijaka po zadnjem hranjenju (zvečer) in najnižjo vrednost pred prvim hranjenjem (zjutraj). Meritve kakovosti vode je treba opraviti na koncu hranjenja, da se ujame konice amonijaka (slika 11).

## Samodejni monitoring in nadzorni sistemi

Samodejni monitoring je vse bolj dostopen. V aplikacijah RAS in/ali akvaponiki je na voljo več sistemov za zajem in nadzor podatkov. Nadzorni sistem vključuje: (i) senzorje za merjenje želenih spremenljivk, (ii) vmesnik za pretvorbo električnih informacij v obliko, ki jo lahko prebere računalnik ali mikroprocesor, (iii) računalnik, (iv) programsko opremo za zagon sistema in (v) zaslon. Da sistem za nadzor deluje pravilno, je pomembno, da se sestavni deli ujemajo.

Ena najpomembnejših funkcij nadzornega sistema je posredovanje opozoril sistemskemu operaterju v primeru okvar in težav. Če se ugotovi, da so kritične spremenljivke zunaj sprejemljivih meja, je treba sprožiti alarme. Pomembno je načrtovati in preizkusiti sistem za spremljanje in alarmiranje, da lažnih opozoril ne pošiljamo prepogosto. Prepogosti lažni alarmi manjšajo verjetnost, da se bodo

operaterji odzvali (Timmons *et al.* 1999). Alarmi morajo biti zgrajeni in morajo obratovati tako, da so ustrezni posamezniki pravočasno opozorjeni na odstopanje. Vizualne in zvočne alarme, ki delavce opozarjajo na težave, je mogoče postaviti na ključna območja v obratu. Zunaj običajnega delovnega časa je treba uporabiti oddaljene alarme (običajno prek SMS-sporočil).



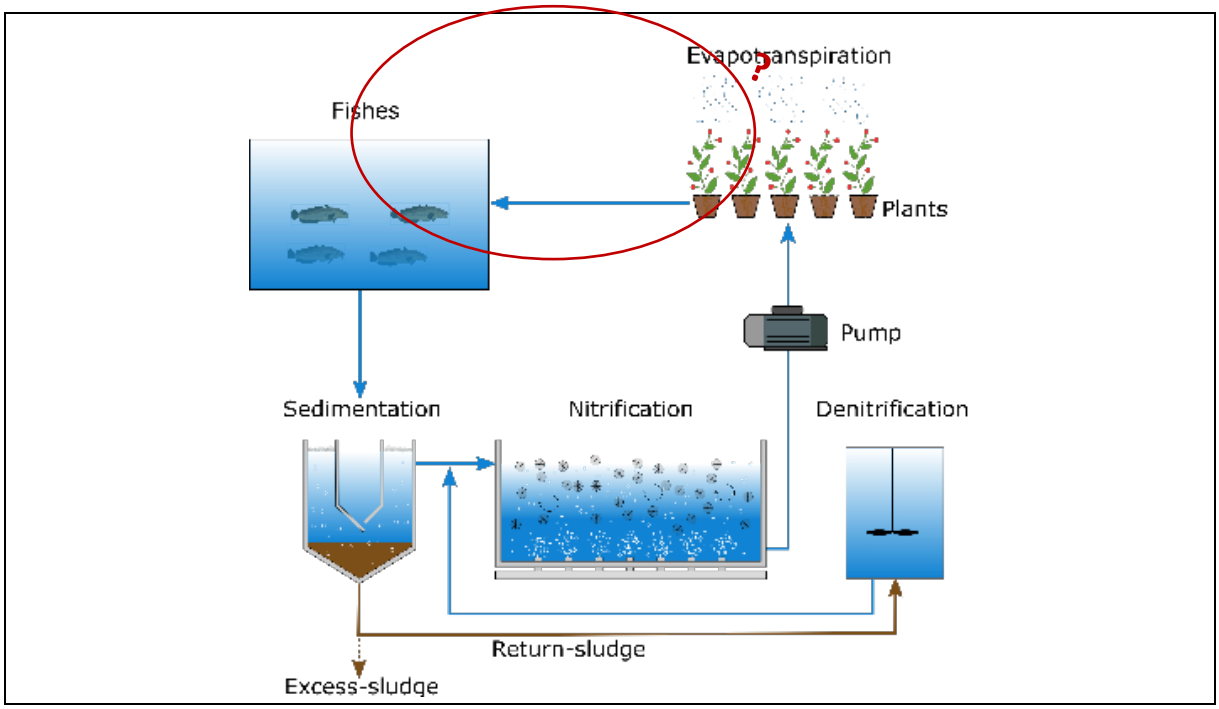

Slika 11: Dnevni potek koncentracij $NH_4$-N v vodi RAS (modra: pred biofiltrom; siva: po biofiltru; rumena: razlika med modro in sivo)

## 2.4 Načrtovanje recirkulacijskega dela ribogojstva za akvaponski sistem

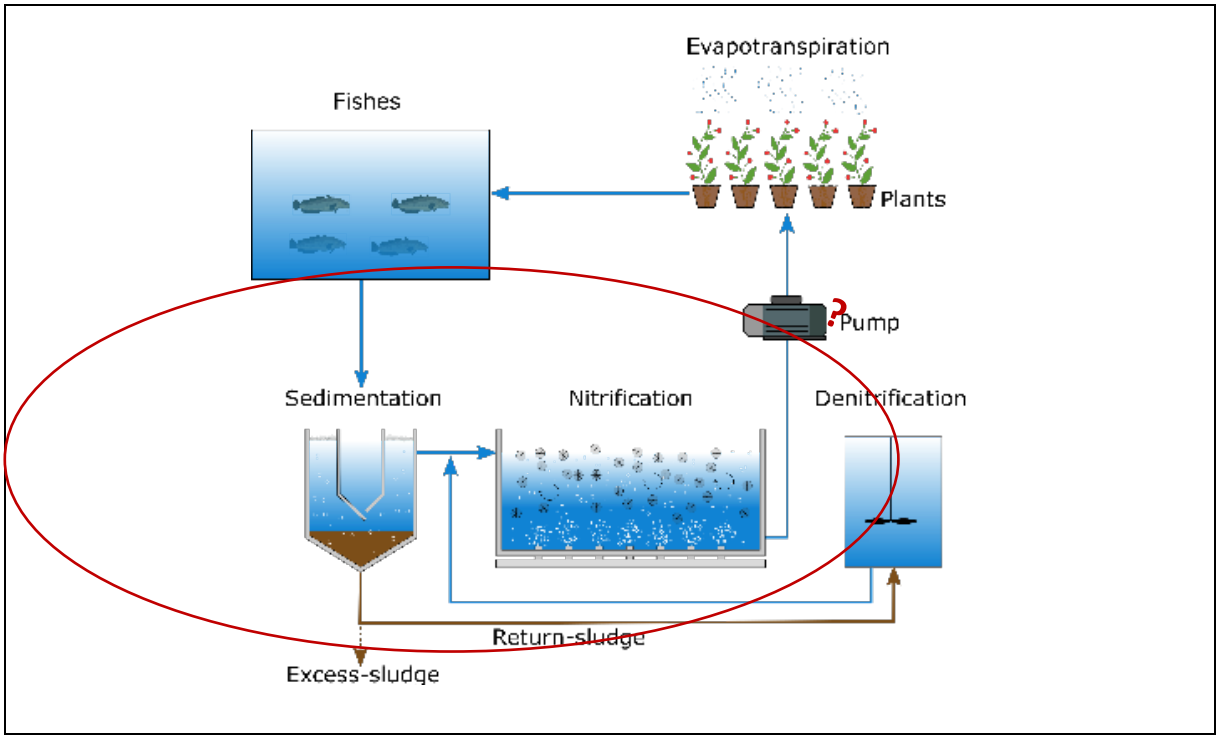
V akvaponiki je zelo pomembno, da sta vnos in proizvodnja hranil v celotni rastni dobi rastlin v ravnovesju. To ravnovesje je mogoče nadzorovati predvsem z dvema različnima pristopoma.

- Pristop 1: za dimenzioniranje ustrezne hidroponske enote z rastlinami se uporablja obstoječi RAS (slika 12); ta pristop je predstavljen v vaji iz modula 5 (ravnovesje hranilne vode).
- Pristop 2: RAS je dimenzioniran glede na želeno proizvodnjo rastlin in rib (Slika 13); glej vajo v modulu 2.

Cilj dimenzioniranja dela RAS v akvaponskem sistemu je prilagoditev različnih stopenj čiščenja vode, da bi dosegli ustrezno kakovost vode za ribe in zadostno oskrbo rastlin s hranilnimi snovmi. Priporočljivo je, da na sistem ne vplivajo sezonski dejavniki (temperatura, raztopljeni kisik, amonijak, nitrit in nitrat). Na splošno velika količina vode in majhen ribji stalež pripomorejo k stabilnejšim sistemom. Pomembno je, da je vse načrtovano za celotno leto in da se upoštevajo razlike v vrstah rib in rastlin, pa tudi stopnje rasti vseh vrst. Kot pomoč pri načrtovanju je priporočljivo uporabiti *Osnove načrtovanja za dimenzioniranje dela recirkulacijskega ribogojstva v modelu akvaponskega sistema* (Tschudi 2018).




Slika 12: Dimenzioniranje vnosa hranil s pomočjo rastlin na podlagi obstoječih dimenzij RAS




Slika 13: Zaželena rastlinska in ribja produkcija in ustrezno dimenzioniranje RAS

## 2.5 Literatura


Avnimelech, Y. 2014. Biofloc Technology – A Practical Guide Book (3rd edition). The World Aquaculture Society, Baton Rouge.

FAO 2018. *The State of World Fisheries and Aquaculture 2018 - Meeting the sustainable development goals*. Rome. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.

Gibbens, S. 2019. Climate change is depleting our essential fisheries. *National Geographic* online. Retrieved 15. February 2019.

Somerville et al. 2014. Introduction to aquaponics. In Somerville, C., Cohen, M., Pantanella, E., Stankus, A. & Lovatelli, A. *Small-scale Aquaponic Food Production: Integrated Fish and Plant Farming*. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper No. 589. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, pp. 1-10.

Timmons, M.B. & Ebeling, J.M. 2007. Recirculating Systems. Northeastern Regional Aquaculture Center, Ithaca, NY.

Timmons, M.B., Riley, J., Brune, D., and Lekang, O.-I. 1999. Facilities Design. In CIGR–The International Commission of Agricultural Engineering (eds.) *CIGR Handbook of Agricultural Engineering Volume II: Animal Production & Aquacultural Engineering*. American Society of Agricultural Engineers, USA. pp 245-280.

Tschudi, F. 2018. *Planning basis for dimensioning the aquaculture part of an aquaponic system.* Wädenswil: Zurich University of Applied Sciences, Research Group Aquaculture Systems, unpublished.

**Morris Villarroel**

# 3. ANATOMIJA, ZDRAVJE IN DOBRO POČUTJE RIB

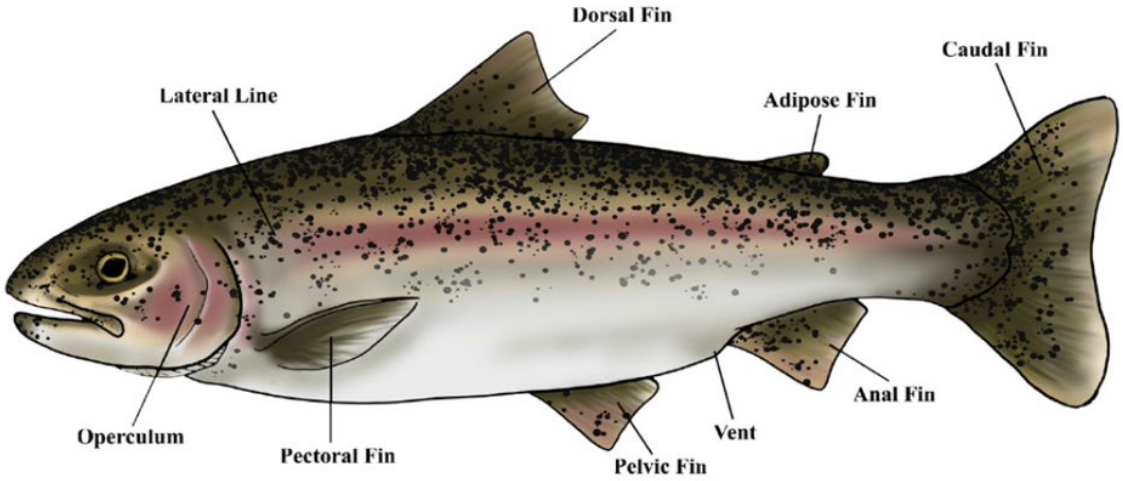
## 3.1 Splošna zunanja anatomija

Glavna ideja poglavja je predstaviti Pomembnejše anatomske značilnostiter jih povezati s funkcijo, ki jo ima posamezen del telesa, in fiziologijo. Poznamo več kot 20.000 vrst sladkovodnih in morskih rib, vsaka od teh pa ima posebne zahteve in ekološke niše, kar je vplivalo na specifične prilagoditve telesa. Številne ribe, zlasti ribe kostnice (Teleostei – prave kostnice), z gibljivo zgornjo čeljustjo imajo tudi skupne značilnosti. Čeprav je število vrst, uporabljenih v ribogojstvu, verjetno preko 200, je število uporabljenih v akvaponiki manjše in večinoma omejeno na sladkovodne ribe (Tabela 1).

Tabela 1: Pregled vrst rib, ki se uporabljajo v akvaponiki, vključno z navedbo rib dveh mednarodnih preglednih študij (Love *et al.* 2014; Villarroel *et al.* 2016)

| **Pogosto ime** | **Vrsta** | **Družina** | **Red** |
|---|---|---|---|
| Tilapija | *Oreochromis niloticus* | Cichlidae | Cichliformes |
| Som | *Pangasius pangasius* | Pangasiidae | Siluriformes |
| Koi | *Cyprinus carpio* | Cyprinidae | Cypriniformes |
| Postrv | *Oncorhynchus mykiss* | Salmonidae | Salmoniformes |
| Brancin | *Morone saxatilis* | Moronidae | Perciformes |
| Rečni ostriž | *Sander lucioperca* | Percidae | Perciformes |
| Modri škrg | *Lepomis macrochirus* | Centrarchidae | Perciformes |

Pri večini rib, ki se uporablja v akvaponiki, lahko sledimo osnovnemu anatomskemu prikazu (slika 1). Pri ribi ločimo tri glavne dele (gledano vzdolžno): glava, predel trupa in rep (Canada Department of Fisheries and Oceans 2004). Veterinarji se glede možnih nepravilnosti ponavadi osredotočajo na težave, povezane z očmi, plavutmi in kožo. Obstajajo pa še drugi deli zunanje anatomije, ki so pomembni z vidika dobrega počutja rib, kakovosti rib in zdravstvenih težav, zato jih je treba najti. Npr., vzorčenje krvi običajno poteka z vbodom igle pod stransko črto v območju repa, da bi našli kavdalno veno. Za označevanje posameznih rib se pasivne integrirane oznake transponderja (oznake PIT) običajno vbrizgajo v mišico pod hrbtno plavut. Nekatere druge plastične barve se lahko injicirajo v usta in oči ali v njihovo bližino, vendar kakršne koli zunanje oznake pogosto povzročajo težave, saj vplivajo na zelo občutljivo kožo in lahko povzročijo okužbe. Osnovno znanje anatomije o določeni specifični vrsti lahko pomaga tudi pri preprečevanju prevar pri komercialnem nakupu rib.




Slika 1: Osnovna zunanja anatomija ribe (vir: http://anatomyhumanbody.us)

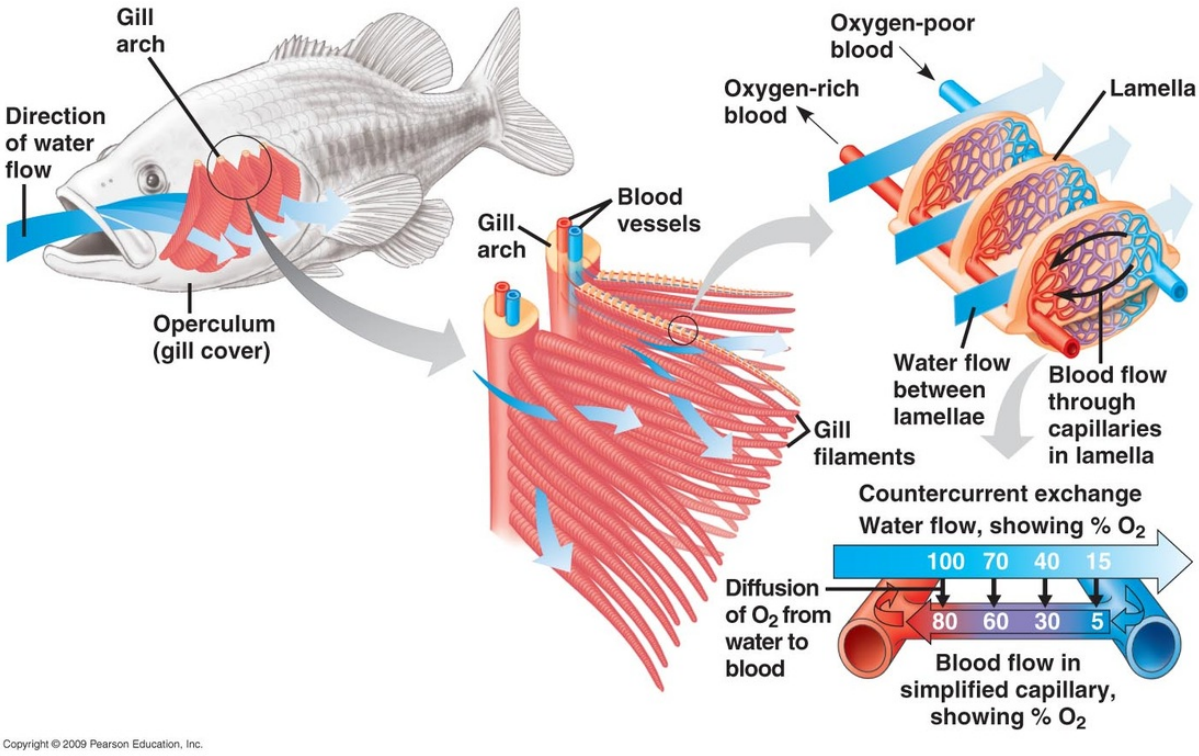
### *Oči in nos*

Ribe nimajo vek. Njihove oči so ves čas v neposrednem stiku z okoliško vodo, kar kaže na pomen kakovosti vode, in tudi dokaj občutljive na svetlobo (ne morejo »zapreti« oči), zato se številne ribe raje izogibajo neposredni sončni svetlobi in se zbirajo na senčnih mestih. Mehiška jamska ribica (*Astyanax mexicanus*) je primer slepe ribe, vendar večina rib, ki se uporablja v akvaponiki, vidi zelo dobro. Dvostranska eksoftalmija (izbuljene oči oz. pretirano izstopajoče zrklo) se pogosto uporablja kot splošni pokazatelj okužbe. Enostranska eksoftalmija je verjetno posledica mehanske poškodbe (npr. zmečkanina). Po ulovu oz. usmrtitvi je belina očesa pokazatelj kakovosti ribe (glej Council Regulation (EC) 2406/96). Npr., visokokakovostne ribe imajo konveksno oko s črno in sijočo zenico, medtem ko je treba ribe z vbočenim očesom, sivo zenico in »mlečno« roženico zavreči. Blizu oči sta dve majhni odprtini (nosnici), ki vodita do vohalnih senzorjev, ki so pri mnogih ribah lahko zelo občutljivi. Npr., salmonidne ribe uporabljajo svoje vonjalne senzorje med selitvijo, da se vrnejo na prvotna drstišča. Da bi ribe lahko kar koli vohale, mora tok okoliške vode med plavanjem rib teči v njihove nosnice in iz njih biti (dotekalka, odtekalka). Nosnice pa ne vodijo v grlo kot pri sesalcih.

### *Škržni poklopec in škrge*

Škržni poklopec je koščen pokrov, ki ščiti škrge (pljuča rib), ki zajamejo precej omejeno količino raztopljenega kisika v vodi. Frekvenca ali hitrost, s katero se škržni poklopec odpira in zapira v določenem časovnem razmiku, lahko pokaže, ali ribe pravilno dihajo in ali so morda pretirano obremenjene. Veterinarji pri anesteziranih ali poginuli ribi pogosto »pregledajo pod pokrov«: dvignejo škržni poklopec in pregledajo škrge, ki morajo biti svetlo rdeče in vlažne, ne smejo pa biti prekrite s sluzjo, biti bele barve ali zaudarjati. Na podlagi zunanjega videza škrg lahko določimo morebitne okužbe z bakterijami ali paraziti. V primerjavi s sesalci so ribja pljuča bolj zunanji kot notranji organ, zato je za zaščito tega občutljivega in pomembnega organa pomembna kakovost vode (npr. ustrezen pH-vode). Pljuča so poleg absorpcije kisika in sproščanja $CO_2$ pomembna za izločanje dušikovih

odpadnih snovi (slika 2). Hoar & Randall (1984) sta izračunala, da se več kot 80 % amonijaka ($NH_3$) izloči preko škrg, medtem ko se z urinom izločijo le količine v sledovih.




Slika 2: Škrge delujejo po načelu nasprotnega pretoka: voda in kri tečeta v nasprotni smeri. Vsebnost $O_2$ v krvi se lahko dvigne na enako koncentracijo kot v okoliški vodi
(vir https://338373gasexchange.weebly.com/fish.html)

*Koža*

Koža je pri ribah eden najpomembnejših organov. Vsebuje tri osnovne komponente: usnjice (notranja plast), povrhnjico (zunanja plast) in luske. Luske so vdelane v usnjico, ki je odgovorna za barvo. Povrhnjica tvori sluz, ki pomaga varovati celice, saj ima protiglivične in antibakterijske lastnosti ter je pomembna pri imunskem delovanju (Wainwright & Lauder 2017). Vsakršna kožna poškodba ali izguba lusk ima lahko za ribe hude posledice, saj lahko celjenje v vodnem okolju traja dolgo, v ranah pa lahko začne zastajati voda. Zamislite si, da poskušate zdraviti ureznino zaradi papirja na prstu tako, da poškodovani del prsta za en teden potopite v kozarec vode. Celoten postopek celjenja bi trajal veliko dlje, izpostavljenost bakterijskim okužbam pa bi bila večja. Zato je pri ravnanju z živimi ribami priporočljivo uporabljati plastične rokavice, da ne poškodujemo njihove kože.

Pobočnica je del kožnega organa in je sestavljena iz perforiranih lusk s cilijami (kratke mikroskopske dlačice), ki se lahko premikajo, ki so povezane z živčnim sistemom in ribi zagotavljajo informacije o gibanju in tlaku vode okoli nje (tvorijo čutilni organ, ki ga sesalci nimajo). Ta ribam z zaznavanjem vibracij okoli njih omogoča, da lahko lovijo ponoči ali da se premikajo v zelo kalni vodi. Pobočnica

ima tudi kulinarični pomen, saj rezanje vzdolž te črte pri kuhani ribi loči mesnati (zgornji) del od spodnjega (visceralnega) dela. Več izsledkov raziskav je pokazalo povezavo med barvo kože na hrbtu ribe (med hrbtno plavutjo in glavo) in značajem ribe. Castanheira *et al.* (2017) pri lososu npr. sklepajo, da so ribe s temnejšo kožo ali temnejšimi lisami bolj napadalne.

### *Plavuti*

Plavuti lahko posredno pokažejo zdravje in dobro počutje rib. Izogniti se želimo cefranju plavuti (ko koža poka med žarki plavuti), eroziji plavuti (belo obarvanje na konicah plavuti), nekrozi (odmrle celice na plavutih) ali razbarvanim madežem, kar lahko kaže na prisotnost zajedavcev.

### *Hrbtna plavut*

Običajno imajo ribe eno hrbtno plavut, lahko tudi dve (ena za drugo, kot pri brancinu). Hrbtna plavut večinoma ohranjanja ribo v pokončnem položaju. Podprta je z žarki, ki so pogosto trdi. Le-ti ribi omogočajo, da plavut »odpre ali zapre«, odvisno od potreb po signalizaciji. Tilapija ima veliko hrbtno plavut s poudarjenimi žarki, ki zlahka poškodujejo roke, ko jo želimo ujeti. Število žarkov na plavuti omogoča tudi prepoznavanje vrste rib. Npr., mavrična postrv ima 10–12 žarkov na hrbtni plavuti, rjava postrv (ki se običajno ne goji v akvaponiki) pa približno 13–14.

### *Tolščenka*

To je precej kratka maščobna plavut, ki je pogosta pri salmonidih, vendar njena funkcija ni znana. Je polna maščobe, verjetno ima tudi senzorične nevrone. Na gojenem lososu jo včasih odstranijo, da se razlikuje od divjega lososa, vendar sta Reimchen & Temple (2004) ugotovila, da imajo ribe brez tolščenke večjo amplitudo udarnega repa, kar kaže na to, da vpliva na naravno plavalno vedenje in da njena odstranitev verjetno negativno vpliva na dobro počutje ribe.

### *Repna plavut*

To je največja in najmočnejša plavut ter je neposredno povezana s hrbtenico. Uporablja se za potiskanje ribe naprej. Tako kot pri prašičjem repu lahko rep grizejo druge ribe ali pa se le-ta zmanjša, če rep drgnejo ob različne površine. Rep je pomemben tudi za merjenje (slika 3). Poleg tehtanja rib ribiči pogosto merijo še standardno dolžino (od ust do začetka repa) in dolžino vilic (od ust do vilic na konici repa).

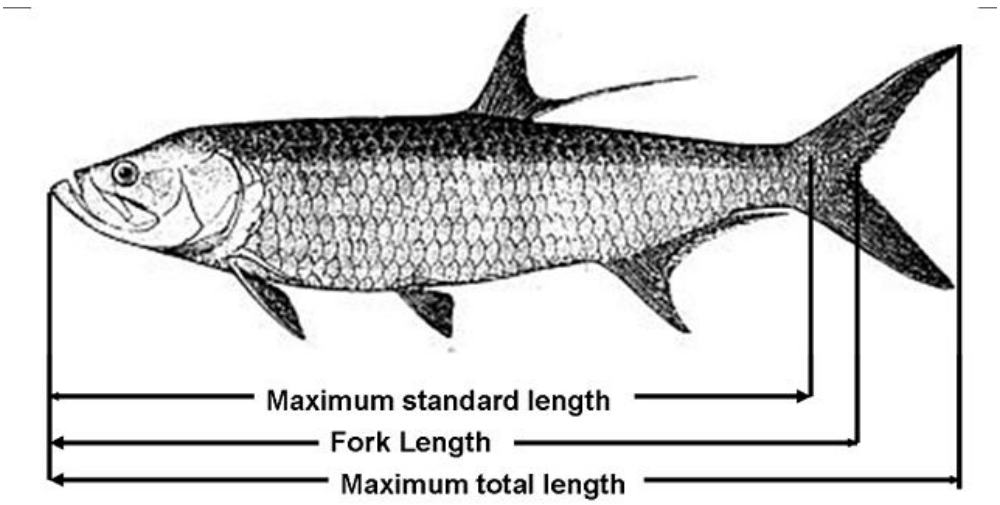
### *Podrepna plavut*

Ta plavut leži posteriorno od anusa in urogenitalnih por. Včasih imenovani je pomembna tudi pri stabilizaciji rib med plavanjem.

### *Prsne in trebušne plavuti*

Blizu škržnega poklopca imajo ribe prsne plavuti, ki imajo podobno vlogo kot roke kopenskih sesalcev, spodaj pa so trebušne ali medenične plavuti, ki naj bi ustrezale »nogam«. Pri nekaterih ribah, na splošno pri tistih, za katere velja, da so »manj razvite« (tj. pri tistih, ki so se sčasoma manj spremenile v primerjavi s predniki), kot so salmonidne ribe, so trebušne plavuti bolj v spodnjem delu trupa, medtem ko so pri bolj razvitih ribah bližje skupaj (na primer pri tilapiji). Prsne plavuti

pomagajo ribam, da se premikajo navzgor in navzdol, medtem ko so trebušne plavuti pomembnejše pri zaustavljanju gibanja.



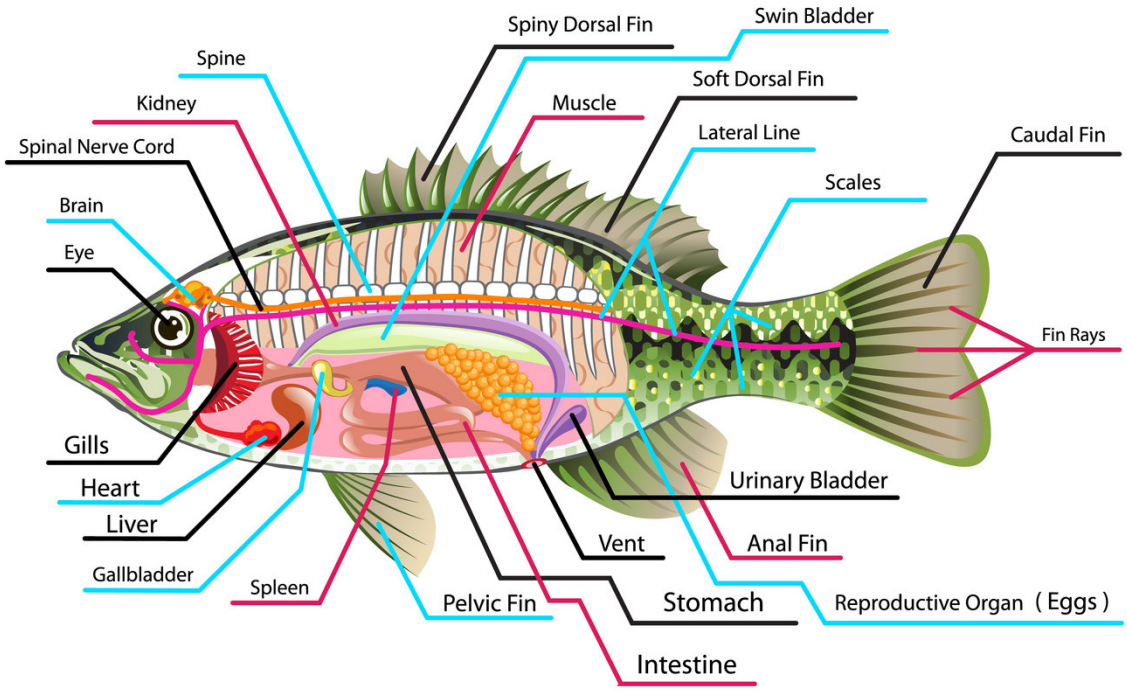

Slika 3: Primer merjenja dolžine ribe za tarpone; za standardno enačbo teže se uporablja skupna dolžina (vir http://www.nefsc.noaa.gov/lineart/tarpon.jpg)

## 3.2 Splošna notranja anatomija

V tem poglavju bomo opisali najpomembnejše notranje organe rib (slika 4) ter poudarili glavne razlike v primerjavi s sesalci in nekaj pomembnih dejstev, ki vplivajo na vzdrževanje rib.

### *Možgani*

Ribe imajo majhne možgane v primerjavi s kopenskimi vretenčarji. Npr., človeški možgani tehtajo približno 1,4 kg in predstavljajo približno 2 % celotne telesne mase, medtem ko ribji možgani predstavljajo le 0,15 % njihove telesne mase. Kljub temu so ribji možgani, za razliko od mnogih vretenčarjev, precej prilagodljivi in ohranjajo sposobnost rasti in sprememb vse življenje (ohranjajo sposobnost proizvodnje novih nevronov; Zupanc 2009). Ribji možgani imajo tri glavne regije: sprednji možgani (z vohalnimi bulbusom in telencefalonom), srednji možgani (optični lobul) in zadnji možgani (mali možgani). Ribe nimajo neokorteksa, za katerega nekateri znanstveniki menijo, da je potreben, da se popolnoma zavedajo bolečine, vendar obstajajo druge pomembne strukture, ki nakazujejo, da lahko čutijo bolečino, kot so amigdala, mali možgani in možganska skorja (zunanja plast telencefalona; podrobneje glej Braithwaite 2010).




Slika 4: Splošna notranja anatomija ribe (vir http://www.animalsworlds.com/internal-anatomy.html)

### *Srce*

Srce je tik pod škrgami ter je v primerjavi s kopenskimi vretenčarji precej majhno in razmeroma preprosto, saj običajno tehta le nekaj gramov. Ima kontraktilno sposobnost zbiranja krvi iz telesa, ki jo pošilja v škrge v sistemu z eno zanko (več v poglavju o dihanju). Gre za preprosto zanko z enim atrijem, enim prekatom in konusom, ki vodi neposredno v škrge. Ni dvojne zanke kot pri sesalcih, kjer se kri iz pljuč vrne v srce in se potem črpa nazaj v telo. Pri ribah škrge »črpajo« kri v telo, ne da bi jo poslale nazaj v srce.

### *Prebavni sistem*

Splošna sestava prebavnega sistema pri ribah je podobna sestavi drugim vretenčarjem, z usti, požiralnikom, želodcem, tankim črevesjem, debelim črevesjem in anusom. Vendar pa so razlike med deli tankega črevesa majhne, prav tako sistem nima ileocekalnega ustja, ki ločuje tanko od debelega črevesa. Mesojede ribe (npr. losos) imajo preprost in kratek želodec, rastlinojede (npr. krap ali špeh) pa morda nimajo želodca in imajo le daljše črevo zaradi slepega črevesa. Slepo črevo je derivat prebavnega trakta, ki pomaga povečati skupno površino za prebavo. V njem se absorbirajo ključna hranil.

### *Trebušna maščoba*

Pomembna razlika med divjimi in gojenimi ribami je količina trebušne maščobe, ki se nabira v slednjih. Npr., gojena orada nabira več visceralne maščobe kot divja, medtem ko imajo ribe, ki se postijo dlje, manj maščobe kot ribe, ki se postijo manj časa (Mozanzadeh *et al.* 2017).

### *Vranica*

Vranica je običajno temno rdeč krožni organ, pritrjen na črevesje. Pomaga čistiti kri, vsebuje bele krvničke in je pomemben del imunskega sistema.

### *Jetra in žolčnik*

Jetra so precej velika in rdečkasta, začetniki pa jih včasih zamenjajo s srcem. Imajo ključno vlogo pri razstrupljanju vseh organskih ali anorganskih onesnaževal, ki jih najdemo v hrani ali vodi, pa tudi pri sintezi beljakovin ter shranjevanju maščob in glikogena. Pod jetri je rumenkasto zelen žolčnik. Večina rib ima namesto razločljive trebušne slinavke kar Brockmannova telesa, zbirko endokrinih celic, ki jo najdemo vzdolž prebavnega trakta in ki lahko proizvaja inzulin.

### *Plavalni mehur*

Ta organ je za ribe edinstven. Lahko se napolni ali izprazni za nadzor plovnosti in tako vpliva na količino energije, ki je potrebna za plavanje. Uporablja se lahko tudi za oddajanje ali sprejemanje zvokov. Ribe so lahko fiziostomi (npr. postrvi), ki lahko napolnijo svoj plavalni mehur prek pnevmatskega kanala, ki je povezan s črevesjem, ali fizioklisti (npr. brancin), brez neposredne povezave med požiralnikom in vstopom v plavalni mehur, zato ga napolnijo s plinsko žlezo. Fiziostomske ribe so bolje pripravljene na nenadne spremembe višine vode, medtem ko so fizioklistne na to manj pripravljene. Za vse ribe je pomembno, da plavalni mehur napolnijo z zrakom v zgodnji fazi razvoja, da se zagotovi pravilna rast in da se s tem preprečijo deformacije hrbtenice (Davidson *et al.* 2011).

### *Ledvica*

Ledvica so parni organ, so precej dolge in ozke, ležijo pa hrbtno od plavalnega mehurja. Imajo pomembno vlogo pri homeostazi v krvi (tj. ohranjanje ustreznih ravni raztopljenih ionov), kar pojasnjuje njihovo velikost. Tako kot pri sesalcih čistijo kri, kar je še posebej pomembno v vodnem mediju, kjer je treba stalno spremljati koncentracijo različnih ionov. Ribe iz celinske in slane vode so razvile nasprotne metode za vzdrževanje ustreznih ravni elektrolitov v krvi. Sladkovodne ribe imajo v krvi večjo koncentracijo ionov v primerjavi s koncentracijo le-teh v okoliški vodi. Zaradi osmoze morajo škrge in ledvice teh rib delovati tako, da ne absorbirajo preveč vode in da ne izgubijo preveč ionov (malo zaužijejo in veliko urinirajo). V slani vodi pa ribe zaužijejo več vode in manj urinirajo, saj je koncentracija ionov v njihovi krvi nižja v primerjavi z okoliško vodo. V akvaponskih enotah je treba paziti, da hranilna raztopina za rastline ne bo negativno vplivala na ribe zaradi neprimerne koncentracije ionov. Na koncu ledvice je mehur za shranjevanje urina, vendar je v primerjavi s sesalci zelo majhen, večinoma zato, ker v primerjavi s sesalci nastaja malo urina (kot že omenjeno, veliko dušikovih odpadnih snovi se izloči preko škrg).

### *Moda in jajčniki*

Večina rib, ki se gojijo v akvaponiki, se uporablja za prehrano, zato spolno ne dozorijo (vzreja rib poteka v ločeni instalaciji). Koristno je vedeti, da so spolni reproduktivni organi pri ribah notranji in se začnejo razvijati globoko v hrbtnem predelu ribe v bližini glave ledvice. Ko ribe dozorijo, se spolne žleze povečajo do urogenitalnih por v bližini anusa. V drsti seme ali jajčeca izločijo za zunanjo oploditev.

## 3.3 Respiratorna fiziologija

Zrak, ki ga dihamo, je večinoma sestavljen iz dušika (78 %) in kisika (21 %). Tudi voda vsebuje kisik, vendar v precej manjši koncentraciji (< 1 %). Poleg tega je voda 840-krat gostejša od zraka in 60-krat bolj viskozna, zato ribe porabijo več napora med dihanjem, da pridobijo kisik, in sicer približno 10 % svoje presnovne energije (kopenske živali porabijo le približno 2 % svoje presnovne energije za črpanje kisika iz zraka). Mavrične postrvi morajo npr. prečrpati približno 600 ml vode skozi škrge na minuto na kilogram teže, medtem ko morajo zemeljski plazilci, kot so želve, zaužiti le 50 ml zraka $min^{-1}$ $kg^{-1}$. Čeprav so ribje škrge precej učinkovite, je pridobivanje zadostne količine kisika iz okolice lahko težko in včasih smrtno nevarno.

Ribe zajemajo kisik s pomočjo škrg, ki so v neposrednem stiku z okoliško vodo, zato so lahek plen parazitov in bakterijskih okužb. Skupna površina škrg je približno 10-krat večja od površine celotnega telesa. Škrge so pomembne tudi pri ionski izmenjavi (ohranjanje kislinsko-baznega ravnovesja) in izločanju odpadnih snovi, kot je amonijak. Tako ribe v bistvu urinirajo skozi škrge in skozi njih dihajo. Kisik pridobivajo tako, da vodo ujamejo v ustno votlino, nato pa usta zaprejo, da izpustijo vodo skozi oba škržna poklopca. To črpalno gibanje ustvarja enosmerni tok vode, za razliko od vdiha in izdiha skozi isto odprtino pri kopenskih sesalcih. Nekatere ribe, npr. morski psi, lahko med plavanjem držijo usta odprta, kar očitno zagotavlja dovolj pretoka vode čez škrge, da lahko normalno dihajo. V nekaterih bazenih lahko posredno merimo srčno frekvenco rib tako, da spremljamo frekvenco oz. čas odpiranja in zapiranja škržnega poklopca v eni minuti. Ta meritev se lahko uporablja kot posredni pokazatelj dobrega počutja rib, saj imajo ribe v stresu visoke frekvence odpiranja in zapiranja škržnega poklopca.

Večina rib ima štiri škržne loke na vsaki strani telesa. Vsak lok je sestavljen iz bele koščene palice, ki poteka od vrha do dna (ventralno-dorzalna), iz katere izvirajo primarne lamele v obliki črke »V« v kavdalni smeri. Primarni lističi ali lamele so rdeče, ker so polne krvi. Vsaka primarna lamela ima sekundarne lamele, ki jo prečkajo pravokotno in prenašajo posamezne krvne celice za lažjo izmenjavo plinov (sprostijo $CO_2$ in zajamejo $O_2$ s pomočjo hemoglobina v rdečih krvničkah). Pretok krvi teče proti toku vode (protitočni sistem), kar poveča njegovo učinkovitost. Poleg tega lahko ribe odprejo ali zaprejo niz primarnih lamel in tako izpostavijo več sekundarnih lamel v vodi, tako da lahko učinkoviteje globlje dihajo. S kisikom napolnjene krvne celice se skozi arterije še naprej premikajo po telesu.

## 3.4 Dobro počutje rib

### 3.4.1 Uvod

Ribogojstvo je ena redkih vrst živinoreje, ki v zadnjih desetletjih nenehno raste, za približno 10 % letno na mednarodni ravni (Moffitt & Cajas-Cano 2014). Ker pa se proizvodnja povečuje in se pojavljajo nove metode, kot je akvaponika, smo bili priča več težavam, povezanim z zdravjem in dobrim počutjem rib. Čeprav se morda zdi presenetljivo, je bilo od leta 1990 objavljenih več kot 1300 znanstvenih člankov o dobrem počutju rib (tabela 2). Vse te študije ne obravnavajo komercialno

pridelanih vrst, vendar je na splošno število vseh rib primerljivo ali večje od nekaterih drugih vrst, kot so ovce, konji ali perutnina.

Tabela 2: Povzetek števila publikacij o dobrem počutju živali za različne vrste domačih živali (na podlagi iskanja v bazi Web of Science med letoma 1990 in 2017)

| Vrsta | Število objav |
|---|---|
| **Ribe** | 1295 |
| **Postrv** | 550 |
| **Ovce** | 1149 |
| **Govedo** | 2417 |
| **Prašiči** | 2638 |
| **Konji** | 926 |
| **Perutnina** | 1078 |

Enega prvih znanstvenih pregledov dobrega počutja rib je objavil Conte (2004) z Univerze v Kaliforniji v Davisu, ki sta mu nekaj let pozneje sledili skupini iz Združenega kraljestva (Huntingford *et al.* 2006 in Ashley 2007). Conte (2004) poudarja, da ribogojci že vedo, da je dobro počutje rib pomembno in da je treba zmanjšati stres, saj imajo ribe posebne zahteve glede ravnanja in okolja, zunaj katerega ne bodo rasle ali preživele. To pomeni, da so ribe v primerjavi s kopenskimi živalmi zahtevnejše glede na rastne razmere in jih je mogoče enostavnejše izpostaviti stresu, zaradi katerega lahko tudi lažje umrejo. Huntingford *et al.* (2006) so povzeli glavne argumente za prepričanje, da ribe lahko čutijo bolečino. Ribe so zapletena bitja, ki razvijajo kompliciranо vedenje, zato avtorji verjamejo, da ribe verjetno lahko trpijo, čeprav sta stopnja in vrsta lahko drugačni kot pri ljudeh. Pri obravnavanju dobrega počutja rib so ugotovili štiri glavna kritična področja: zagotavljanje, da ribe ne ostanejo brez vode ali hrane; zagotavljanje, da proizvajalci poskrbijo za dobro kakovost vode in opremo; neomejenost gibanja in vedenja ter izogibanje duševnemu in telesnemu trpljenju. Ashley (2007) opiše industrijo in kritične točke, ki lahko ogrozijo dobro počutje rib, vključno z gostoto rib v kletkah in težavami z agresijo. Npr., nekatere vrste, kot je tilapija, so bolj agresivne, če se gojijo pri nizki gostoti kot pri višji. Ashley (2007) oblikuje pomembno, sedem strani dolgo tabelo glavnih težav, ki so povezane z dobrim počutjem rib. Skratka, o dobrem počutju rib je veliko znanstvene literature, ugotovljenih je tudi več kritičnih področij. Zelo malo pa je raziskav o dobrem počutju rib, vzrejenih skupaj z rastlinami, na področju akvaponike, vendar se lahko o dobrem počutju rib, ki se gojijo v manjših recirkulacijskih sistemih, poučimo iz drugih raziskav.

### 3.4.2 Zakonodaja v EU

V Evropi mora biti vsaka žival, namenjena vzreji, v skladu z Direktivo 98/58/EC, ki določa več minimalnih pogojev za ustrezno dobro počutje vretenčarjev. Čeprav so ribe tehnično vključene v omenjeno direktivo, so praktično izvzete iz nje zaradi splošnega pomanjkanja znanja o dobrem počutju rib, zato ni posebnih zahtev za minimalne pogoje za ribe v ribogojstvu. Od leta 2006 je v Evropi objavljenih več poročil, npr. Evropski svet Evropske agencije za varnost hrane (EFSA), ki daje znanstvena priporočila za najpogostejše vrste v ribogojstvu. Na splošno vsaj v Evropi velja splošni

dogovor, da ribe doživljajo stres, ko so ravni kisika nizke in ko jih vzamemo iz vode, ter da kronični stres pri ribah ogroža imunski sistem in da so zaradi tega dovzetnejše za bolezni.

### 3.4.3 Posebni ukrepi za oceno dobrega počutja

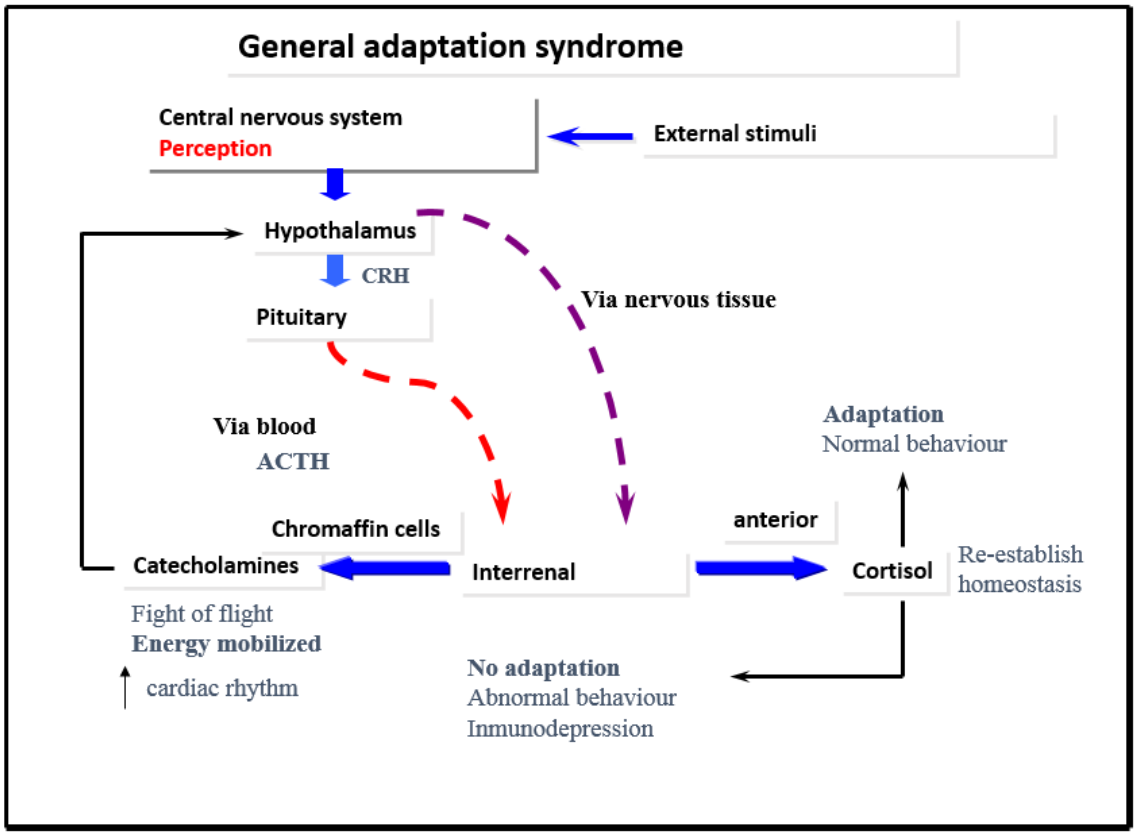
Študije dobrega počutja rib so se začele izvajati pozneje kot pri drugih vrstah domačih živali, deloma tudi zato, ker je ribogojstvo mlajša znanost proizvodnje živali in ker mnogim ni jasno, ali lahko ribe občutijo bolečino. Do nedavnega ribe niso veljale za občutljive živali, vendar se je to stanje spremenilo. Sneddon (2003) je bil eden prvih, ki je dokazal, da imajo postrvi receptorje za bolečino (nociceptorje) na obrazu in čeljusti. Dokazali so, da se ti receptorji odzivajo na dražljaje, ki so potencialno škodljivi, ter pošiljajo živčne signale v hrbtenjačo in možgane. Poleg tega se zdi, da se postrvi zavedajo bolečine, saj spremenijo kompleksno vedenje, kadar so izpostavljene škodljivi snovi, vendar se ob dajanju morfija vedenje povrne v normalno (kar odpravi bolečino). Te ugotovitve so bile potrjene tudi pri drugih vrstah, kot so zlate ribice, pri katerih se anksioznost in strah zmanjšata, ko jih izpostavimo odmerkom morfija (Nordgreen *et al.* 2009). Po drugi strani pa drugi znanstveniki, npr. Rose (2002), trdijo, da ribe ne morejo čutiti bolečine tako kot ljudje, saj nimajo neokorteksa. Tako se svojih bolečin verjetno ne zavedajo enako kot mi, čeprav se na bolečino odzovejo na podoben način. Ne glede na to se obe strani strinjata, da ribe lahko doživijo stres in da so razvile kompleksen fiziološki odziv na stresorje. Dawkins poudarja tudi to, da bi morali vsi skrbeti za dobro počutje živali, ne glede na to, ali se zavedajo ali ne, preprosto zato, ker slabo počutje živali vodi do obolelih in nezdravih rib, kar ima negativne učinke na kmete in potrošnike (Dawkins 2017).

### 3.4.4 Os HPI in odziv na stres

Kaskada nevroendokrinih dejavnosti, ki se sprostijo pri ribah, ko se zavedajo stresorja, je zelo podobna odzivom, ki jih opazimo pri drugih vretenčarjih. Tako kot pri sesalcih se takojšnji nevroendokrini odziv imenuje primarni odziv in je sestavljen iz živčnih signalov, ki sproščajo adrenalin in noradrenalin iz kromafinskih celic (na glavi ledvice), kar pri sesalcih opravlja sredica nadledvične žleze (*medulla*) (slika 5). Po primarnem odzivu pride do počasnejšega sekundarnega odziva, ki traja 2–15 minut, da se aktivira hipotalamo-hipofizo-medrenalna os ali HPI (Sumpter *et al.* 1991), ki se pri sesalcih imenuje stresna os hipotalamus-hipofiza-nadledvična žleza.

Hipotalamus proizvaja kortikotropni sproščajoči hormon (CRH), ki spodbuja proizvodnjo adrenokortikotropni hormon (ACTH) s strani sprednje hipofize. ACTH se sprosti v krvni obtok in simulira proizvodnjo kortizola v medrenalnem tkivu (povezano tudi z ledvicami), kar pri sesalcih opravlja nadledvična skorja (*cotrex*) (Okawara *et al.* 1992). Sekundarni odziv vključuje povečanje srčne frekvence, večji vnos kisika s škrgami in povečanje koncentracije glukoze v plazmi z glukogenolizo (Pickering & Pottinger 1995). Tako primarni kot sekundarni odzivni sistem pomagata vzdrževati homeostazo po stresu, tako da možganom zagotavljata energijo in povečano raven kisika s čimer se telo lahko prilagodi in vrne v normalno ali bazalno presnovno delovanje.

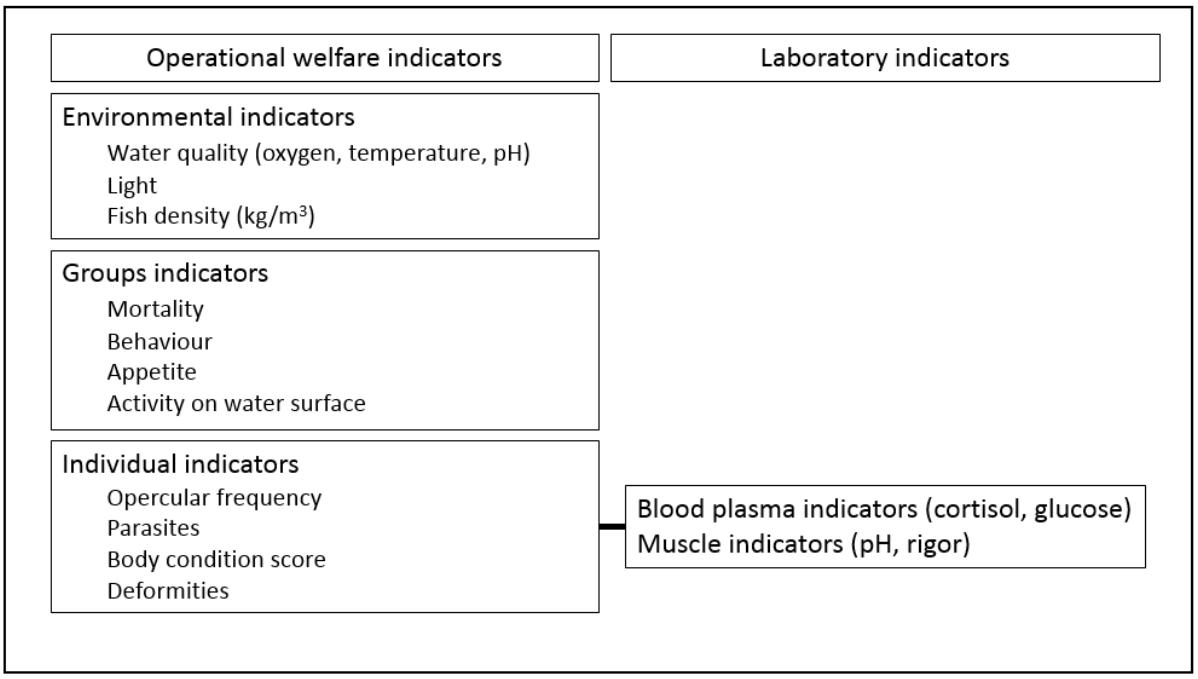
Čeprav med stresom in dobrim počutjem ni enostavnega razmerja, vemo, da sta povezana in da lahko odgovor na stres povzroči dodatno stopnjo izziva. Glede na to je dobro upoštevati več kazalnikov hkrati: indeks rasti, odziv imunskega sistema in druge fiziološke pokazatelje.




Slika 5: Os HPI v ribah in kaskada odzivov na stresor (vir M. Villarroel)

### 3.4.5 Gojitveni kazalniki dobrega počutja

Na industrijski ravni se oblikuje nov pristop za analizo rib, ki vključuje interakcije med znanstveniki, ki preučujejo dobro počutje živali, in podjetji, ki si prizadevajo za večjo učinkovitost dobrega počutja rib. Skupaj razvijajo gojitvene kazalnike dobrega počutja (angl. *Operational Welfare Indicators* – OWI). Dober primer za gojenje lososa je priročnik, ki so ga predstavili Noble *et al.* (2018) in ki kmetom pove, kako na komercialni ravni oceniti neposredno okolje, različne skupine rib in posamezne ribe. Objavljenih je bilo veliko znanstvenih člankov o dobrem počutju rib, večina pa jih temelji na opažanjih v laboratoriju. OWI so praktični kazalniki, ki se uporabljajo na kmetiji in ki jih je mogoče enostavno razložiti in ponoviti. Kazalnike OWI lahko ločimo na dve veliki skupini: tiste, ki so bolj povezani z okoljem, in tiste, ki so povezani z ribami. Slednje je mogoče uporabiti za skupine rib ali za posamezno vrsto. Končno lahko posamezni kazalniki vključujejo laboratorijske analize, ki so same po sebi manj uporabne, vendar lahko kratkoročno zagotovijo koristne informacije (slika 6). Kazalniki OWI lahko predstavljajo trenutni status proizvodnje glede na potrebe rib in njihovo dobro počutje. Kazalniki na živalih lahko temeljijo na skupinah rib ali na posameznikih, posamezni kazalniki pa lahko vključujejo laboratorijske analize. Vzporedno jih lahko uporabimo za pomoč pri razvoju dobre prakse in prepoznavanju kritičnih točk, ki lahko negativno vplivajo na počutje rib.




Slika 6: Povzetek gojitvenih kazalnikov, ki se uporabljajo v ribogojnicah, vključno s kazalniki, ki se razlikujejo glede na okolje in žival

Krmljenje rib je lahko posreden pokazatelj njihovega dobrega počutja. Ko ribogojec začne krmiti ribe, je dober znak, če ribe ob tem pridejo na površje in pojedo hrano, v nasprotnem primeru so lahko izgubile tek, zato so potrebne dodatne informacije. Čeprav je na voljo veliko opreme, s katero lahko ribe samodejno nahranimo, je priporočljivo, da ribe hranimo vsaj enkrat na dan, da lahko ocenimo, kako se vedejo. Če ribe ne jedo, to vpliva na njihovo povečanje teže, kar je tudi razmeroma enostavno izmeriti. Drugi gojitveni kazalnik, ki je pogost v ribogojnicah, je koeficient stanja žive teže (živa teža, deljena s kubikom dolžine). Označuje prehransko stanje (Bavčević *et al.* 2010) in daje vpogled v količino intraperitonealne maščobe. Hepato-somatski indeks (HSI) je razmerje med težo jeter in živo težo. V obdobju posta se potrebe po energiji večinoma zadovoljijo z mobilizacijo zalog glikogena iz jeter, medtem ko maščobne rezerve v prvih dneh ostanejo bolj ali manj nedotaknjene (Peres *et al.* 2014). Tako lahko HSI uporabimo za označevanje energetskih rezerv, saj so jetra pomemben regulator porabe hranil v ribah (Christiansen & Klungsøyr 1987).

## 3.5 Literatura

Ashley, P.J. 2007. Fish welfare: current issues in aquaculture. *Applied Animal Behaviour Science* 104 (3-4), 199-235.

Bavčević, L., Klanjšček, T., Karamarko, V., Aničić, I. & Legović, T. 2010. Compensatory growth in gilthead sea bream (*Sparus aurata*) compensates weight, but not length. *Aquaculture* 301 (1-4), 57-63.

Braithwaite, V. 2010. *Do Fish Feel Pain?* Oxford University Press, Oxford.

Canada Department of Fisheries and Oceans 2004. *Animal User Training Template. 1.0. Anatomy and Physiology of Salmonids.*

Castanheira, M.F., Conceicão, L.E., Millot, S., Rey, S., Bégout, M.L., Damsgård, B., Kristiansen, T., Höglund, E., Øverli, Ø. & Martins, C.I.M. 2017. Coping styles in farmed fish: consequences for aquaculture. *Reviews in Aquaculture* 9, 23-41.

Christiansen, D.C. & Klungsøyr, L. 1987. Metabolic utilization of nutrients and the effects of insulin in fish. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Comparative Biochemistry* 88 (3), 701-711.

Conte, F.S. 2004. Stress and the welfare of cultured fish. *Applied Animal Behaviour Science* 86 (3-4), 205-23.

Council Regulation (EC) No 2406/96 of 26 November 1996 laying down common marketing standards for certain fishery products.

Davidson, J., Good, C., Welsh, C. & Summerfelt, S.T. 2011. Abnormal swimming behavior and increased deformities in rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* cultured in low exchange water recirculating aquaculture systems. *Aquacultural Engineering* 45 (3), 109-117.

Dawkins, M.S. 2017. Animal welfare with and without consciousness. *Journal of Zoology*, 301 (1), 1-10.

Hoar, W.S. & Randall, D.J. 1984. *Fish Physiology: Gills: Part B – Ion and Water Transfer*. Academic Press, Cambridge MA.

Huntingford, F.A., Adams, C., Braithwaite, V.A., Kadri, S., Pottinger, T.G., Sandøe, P. & Turnbull, J.F. 2006. Current issues in fish welfare. *Journal of Fish Biology* 68 (2), 332-72.

Love, D.C., Fry, J.P., Genello, L., Hill, E.S., Frederick, J.A., Li, X. & Semmens K. 2014. An international survey of aquaponics practitioners. *PloS One* 9, e102662.

Moffitt, C.M. & Cajas-Cano, L. 2014. Blue Growth: the 2014 FAO state of world fisheries and aquaculture. *Fisheries* 39 (11), 552-553.

Mozanzadeh, M., Marammazi, J.G., Yaghoubi, M., Yavari, V., Agh, N. & Gisbert, E. 2017. Somatic and physiological responses to cyclic fasting and re-feeding periods in sobaity sea bream (*Sparidentex hasta*, Valenciennes 1830). *Aquaculture Nutrition* 23, 181-191.

Noble, C., Gismervik, K., Iversen, M.H., Kolarevic, J., Nilsson, J., Stien, L.H. & Turnbull, J.F. (eds.) 2018. *Welfare indicators for farmed Atlantic salmon: tools for assessing fish welfare*.

Nordgreen, J., Garner, J.P., Janczak, A.M., Ranheim, B., Muir, W.M. & Horsberg, T.E. 2009. Thermonociception in fish: effects of two different doses of morphine on thermal threshold and post-test behaviour in goldfish (*Carassius auratus*). *Applied Animal Behaviour Science* 119 (1-2), 101-107.

Okawara, Y., Ko, D., Morley, S.D., Richter, D. & Lederis, K.P. 1992. In situ hybridization of corticotropin-releasing factor-encoding messenger RNA in the hypothalamus of the white sucker, *Catostomus commersoni*. *Cell and Tissue Research* 267 (3), 545-549.

Peres, H., Santos, S. & Oliva-Teles, A. 2014. Blood chemistry profile as indicator of nutritional status in European seabass (*Dicentrarchus labrax*). *Fish Physiology and Biochemistry* 40 (5), 1339-1347.

Pickering, A. & Pottinger, T. 1995. Biochemical effects of stress. *Biochemistry and Molecular Biology of Fishes* 5, 349-379.

Reimchen, T.E. & Temple, N.F. 2004. Hydrodynamic and phylogenetic aspects of the adipose fin in fishes. *Canadian Journal of Zoology* 82, 910-916.

Rose, J.D. 2002. The neurobehavioral nature of fishes and the question of awareness and pain. *Reviews in Fisheries Science* 10 (1), 1-38.

Sneddon, L.U. 2003. The evidence for pain in fish: the use of morphine as an analgesic. *Applied Animal Behaviour Science* 83 (2), 153-162.

Sumpter, J., Le Bail, P., Pickering, A., Pottinger, T. & Carragher, J. 1991. The effect of starvation on growth and plasma growth hormone concentrations of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *General and Comparative Endocrinology* 83 (1), 94-102.

Villarroel, M., Junge, R., Komives, T., König, B., Plaza, I., Bittsánszky, A., & Joly, A. 2016. Survey of aquaponics in Europe. *Water* 8 (10), 468.

Wainwright, D.K. & Lauder, G.V. 2017. Mucus matters: The slippery and complex surfaces of fish. In Gorb, S.N. & Gorb, E.V. (eds.) *Functional Surfaces in Biology III: Diversity of the Physical Phenomena*, pp. 223-246. Springer, New York.

Zupanc, G.K. 2009. Towards brain repair: insights from teleost fish. *Seminars in Cell and Developmental Biology* 20 (6), 683-690.

**Morris Villarroel, Fernando Torrent**

# 4. KRMLJENJE IN RAST RIB

## 4.1 Uvod v krmljenje rib

Krmljenje in prehrana rib sta temelja v ribogojstvu tako z vidika rasti rib kot tudi z gospodarskega vidika. Pravilno krmljenje je odvisno od razvoja kakovostne krme in izbire ustreznih metod za razdeljevanje ribje krme v bazenih. Poleg vpliva na rast lahko krmljenje vpliva tudi na zdravje in dobro počutje rib, kar je odvisno od poznavanja zahtev posamezne vrste. Vsaka vrsta ima svoje zakonitosti in dobro opredeljene stopnje rasti, ki jih je treba razumeti, da zagotovimo optimalno oskrbo posamezne vrste.

Kandidatne vrste rib za akvaponiko (glej poglavje 3, tabela 1) zasedajo dobro opredeljene ekološke niše v svojem naravnem habitatu. Za ustrezen razvoj moramo zato zagotoviti ustrezne pogoje, vključno z bivalnimi razmerami, tj. ustrezna temperatura, slanost, kakovost vode in hitrost vodnega toka. Najzahtevnejše faze so običajno vzdrževanje zaroda in oploditev/inkubacija jajčnih celic ali jajčec, vendar se akvaponska proizvodnja navadno ukvarja s poznejšimi fazami, običajno imenovanimi »v porastu«. Ko se obseg ribogojstva in ribogojnic povečuje, je vzdrževanje večjega števila proizvodnih faz v isti napravi zapletenejše, zato se podjetja specializirajo za eno ali dve fazi, npr. vzrejo ali gojenje.
V akvaponiki kjer se ribe vzdržujejo v recirkulacijskih ribogojnih sistemih (RAS), zato mladice običajno gojimo do faze odraslih osebkov, da bi le z eno ali dvema fazama poenostavili del ribogojnega sistema.

Na splošno se krmljenje v ribogojstvu razlikuje v nekaterih temeljnih vidikih v primerjavi s krmljenjem kopenskih sesalcev. Živino na kopnem običajno krmimo samo z uporabo t. i. krmilnikov *ad libitum* (vsaka žival lahko sama izbere, kdaj bo prišla do krmilnika in koliko bo pojedla v določenem času dneva). V tem primeru je kmetu razmeroma enostavno spremljati obroke, ki jih je žival zaužila. V primeru ribogojstva in akvaponike lahko tudi ribe uporabljajo avtomatske krmilnike, vendar je veliko težje presoditi, koliko krme so ribe dejansko pojedle. Nevarnost je, da vsaka dodatna krma, ki pade v vodo in je riba ne zaužije, postane odpadek, ki »onesnaži« sistem. Zato si je treba prizadevati za ustrezno oceno potrebne krme oz. za natančno količino obroka, ki ga ribe potrebujejo.

Eden od načinov krmljenja je ročno krmljenje z roba bazenov: krmo razporedimo po celotni površini vode in opazujemo obnašanje rib, krmimo pa jih toliko časa, dokler se ne zdijo site, potem krmljenje prekinemo. Ker se ribe hranijo pod vodo, ni tako enostavno vedeti, kdaj se nehajo hraniti ali koliko so pojedle, pa tudi, ali so katere izmed ribe pojedle več kot druge. Več ko vemo o vrsti, bolj poznamo njihove prehranjevalne navade. Npr., nilska tilapija je v divjini kot mladica vsejeda (hrani se z zooplanktonom in fitoplanktonom), s staranjem (dolžina > 6 cm) pa postane bolj rastlinojeda (FAO 2018). Po drugi strani so postrvi večinoma mesojede vse življenje, njihova prehrana skoraj izključno temelji na žuželkah in manjših ribah, ki jim jih uspe ujeti. Vsekakor je zaznavanje in znanje ljudi, ki skrbijo za krmljenje, zelo pomembno, še posebej v primeru, če je krmljenje ročno. Več informacij o prehranjevalnih navadah različnih vrst je navedenih v informacijskem sistemu za ribogojstvo in vire gnojil (angl. *Aquaculture Feed and Fertilizer Resources Information System*), ki ga vodi Organizacija združenih narodov za prehrano in kmetijstvo (FAO 2018).

Drug način krmljenja je uporaba avtomatskih krmilnikov, pri katerem smo lahko odvisni od tehnološkega razvoja, kot so podvodne kamere, s katerimi zaznavamo, kdaj ribe ne jedo več. Vsa krma, ki gre v bazen, postane del sistema ne glede na to, ali jo ribe pojedo ali ne. Dejansko je ribja krma glavni zunanji element vsakega akvaponskega sistema in jo je v smislu kakovosti treba skrbno nadzorovati. Krma, ki je ribe ne zaužijejo, ostane v bazenu in povzroča dve težavi: prva je povezana s stroški, druga z odstranitvijo krme iz sistema. Da bi se temu izognili, moramo ustrezno zasnovati akvaponski sistem.

Hidravlika sistema naj bi olajšala odstranjevanje nezaužite krme. To običajno vključuje konično obliko bazenov (njihov spodnji del je ožji od vrha) in spodbujanje vrtinčenja ali toka (delci se tako usedejo na dnu in jih je mogoče učinkovito odstraniti). Če je zasnova pomanjkljiva, je čiščenje zapletenejše, pogostost vzdrževalnih del pa ribe lahko moti. Vsako zmanjšanje higienskih pogojev v bazenu ima lahko takojšnje posledice na dobro počutje rib in na donosnost ribogojnice. Tudi če poznamo prehranske potrebe vrste, slabo zasnovan sistem oteži zagotavljanje ustreznih zahtev za dobro počutje rib, krma pa ostane neizkoriščena.

## 4.2 Energijske potrebe

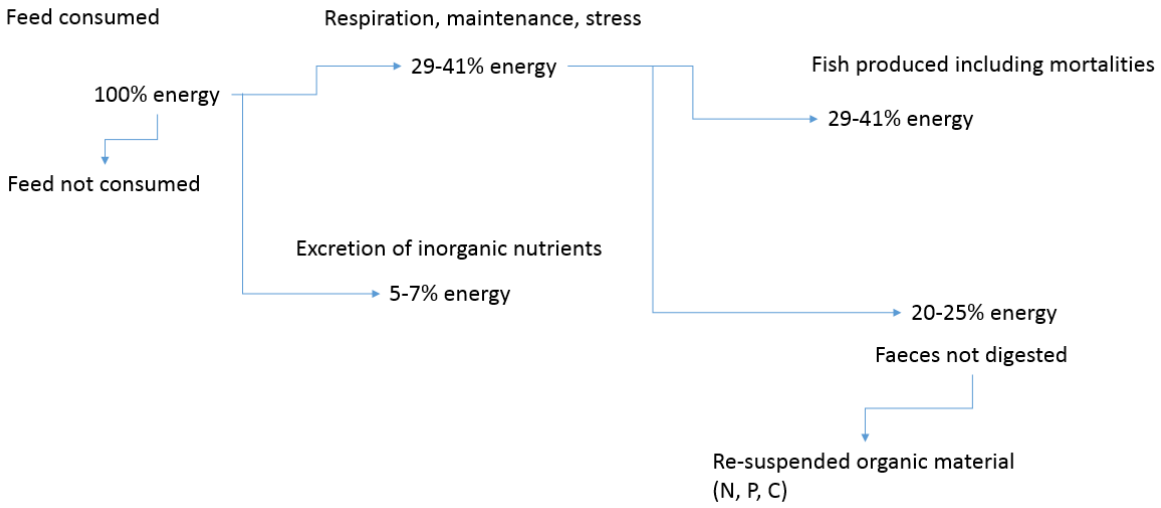
Tako kot vse živeče živali tudi ribe potrebujejo energijo, ki si jo zagotavljajo z oksidacijo organskih sestavin v krmi. Ribe potrebujejo energijo za svoje vsakodnevne aktivnosti, npr. dihanje in plavanje, ter za preoblikovanje, obnovo in rast telesnih tkiv. Energijske potrebe rib so odvisne od njihovega fiziološkega stanja in okoljskih razmer. Na splošno ribe učinkoviteje izkoriščajo zaužito energijo v primerjavi s kopenskimi sesalci zaradi naslednjih razlogov.

1. Vodne vrste so hladnokrvne, kar pomeni, da je njihova telesna temperatura enaka okoliški vodi, zato jim v primerjavi s kopenskimi živalmi ni treba porabljati energije za ogrevanje telesa ali ohranjanje stalne temperature.

2. Ribe zaradi vodnega okolja za razliko od kopenskih živali ne potrebujejo močnega telesnega okostja, ki bi podpiralo njihovo težo pod polnim gravitacijskim pritiskom, prav tako pa njihovi presnovni procesi, potrebni za vzdrževanje okostja, ne porabijo veliko energije.

3. Dušikove odpadne snovi se iz rib izločajo neposredno preko škrg kot amonijak, za kar v primerjavi s sesalci in pticami porabijo manj energije, kot bi je porabili za proizvajanje sečnine ali sečne kisline, ki bi jo nato morali izločiti.

Na sliki 1 je pregled ravnovesja hranil in energije v ribah. Če predpostavimo, da so ribe zaužile vso ponujeno krmo, se odstotki energije v določenih razmerjih porazdelijo med različnimi fiziološkimi procesi. Če so ribe v stresnih razmerah (slaba osvetlitev, nizka kakovost vode, neustrezna gostota naselitve) in se zato ne počutijo dobro, bodo približno 40 % energije, pridobljene iz krme, porabile za obvladovanje stresa, pri čemer bo za rast ostalo le 30 % te energije. Po drugi strani bodo ribe v optimalnih pogojih za rast porabile do 40 % energije. Očitno bo ekonomska upravičenost akvaponskega sistema odvisna od optimalne porabe razpoložljive energije, zato moramo zagotoviti, da ribe zaužijejo vso krmo in da imajo optimalne bivalne pogoje, da preprečimo stres.




Slika 1: Ravnovesje hranil in energije za ribe v recirkulacijskih sistemih

## 4.3 Glavni medsebojni vplivi krmljenja in okoljskih dejavnikov

Kot je bilo že omenjeno, bi morali imeti zmožnost gojiti vsako vrsto v skladu z njenimi zahtevami, zato najprej potrebujemo poglobljeno znanje o vrstah, s katerimi bomo delali, preden začnemo gojiti ribe ali nameščati sistem. Ko imamo te podatke, bi morali imeti možnost vzdrževanja ustreznih bivalnih razmer v našem sistemu, kar je v tem primeru povezano z akvaponskimi sistemi.

### 4.3.1 Abiotski dejavniki

Poznamo več glavnih okoljskih vidikov, ki jih je treba upoštevati in ki imajo neposreden vpliv na proizvodnjo.

1. Fizikalno-kemični parametri izvirne vode, ki niso odvisni od dejavnosti ribogojstva:
    a. temperatura vode, ki uravnava vse presnovne procese,
    b. slanost vode ali prevodnost,
    c. motnost in skupne suspendirane snovi,
    d. morebitne strupene spojine v izvirni vodi,

Začetna kakovost vode je eden temeljnih dejavnikov uspešnega delovanja sistema.

2. Fizikalno-kemičniparametri vode v bazenu:
    a. raztopljeni plini: kisik je treba stalno spremljati in ga ribe potrebujejo za normalno delovanje. Kot posledica dihana rib nastaja ogljikov dioksid, v tokokrogu pa so prisotni tudi drugi plini, npr. dušik (ki se lahko pojavi med prenasičenostjo načrpane vode), vodikov sulfid ali metan iz anaerobne razgradnje usedlin.
    b. Raztopljena mikro- ali makrohranila, ki so povezana s krmo, vključno s številnimi elementi, ki so najpomembnejši za razvoj rib, npr. fosfor, železo in zlasti dušične snovi, ki jih ribe izločajo.

### 4.3.2 Biotski dejavniki

Različne vrste rib so izredno raznolike glede na svoje družbene potrebe, kot je gostota naselitve. Z zgodovinskega vidika so ribe, izbrane za ribogojstvo, odporne na različne pogoje, kar olajšuje ustrezno vodenje sistema. To vključuje izvajanje vsakodnevnih opravil v ribogojnici brez povzročanja mnogih higienskih zapletov pri ribah. To velja tudi za akvaponiko, kjer je najbolj priljubljena riba tilapija, dobro znana po svoji trdoživosti.

Sprva je bilo treba udomačiti divje vrste, s katerimi je bilo težko ravnati, jih razmnoževati in gojiti, čeprav so imele veliko ekonomsko vrednost. Visoka vrednost je pokrila stroške pridelave občutljivih vrst. Dober primer je mavrična postrv, ki je bila na začetku zelo zapletena vrsta, težko jo je bilo gojiti, čeprav se zdaj zdi razmeroma preprosta vrsta. Vsako slabo upravljanje sistema in nezadostno gibanje rib je povzročilo stres in celo izgubo lusk, kar je omogočilo okužbe in razvoj bolezni ter druge pogoste težave rib zaradi stresa. Primeri vrst, ki jih trenutno udomačujejo, a v ribogojstvu še niso razvile svojega polnega potenciala, sta menek (*Lota lota*) in lipan (*Thymallus thymallus*). Tehnološki razvoj in zgoščeno znanje sta izboljšala tehnike, ki se uporabljajo pri rednem obratovanju ribogojnic, kot so vzorčenje rib, štetje rib, gibanje rib itd. Poznamo več vidikov, ki vplivajo na dobro počutje rib v bazenih.

1. Družbena struktura: ta je odvisna od vrste, saj so nekatere ribe precej teritorialne, in te lastnosti moramo nadzorovati v bazenih. Npr., za postrvi vemo, da so precej teritorialne in da jih je treba v začetnih fazah rasti pogosto razvrščati po velikosti, da se izognemo pojavu prevladujočih, dominantnih rib, ki poškodujejo manjše ribe. V tem primeru je za povečanje proizvodnje bolje ločit ribe v ločene rezervoarje glede na velikost. Vemo tudi, da vrste tilapije in soma kažejo dva načina vedenja: teritorialno, če je gostota nizka, in druženje v jati ob veliki gostoti. Nizke gostote zato niso primerne za vse vrste rib.

2. Gostota rib: vsaka vrsta ima najmanjšo in največjo gostoto naselitve pod ali nad katero se lahko pojavijo težave in slabo počutje rib. Gostota se običajno meri v $kg/m^3$ in se razlikuje glede na sistem. V nekaterih industrijskih sistemih RAS z visoko proizvodno močjo gojijo tilapijo nad 60 $kg/m^3$, navadno pa akvaponski sistemi uporabljajo manjše gostote, približno 20 $kg/m^3$ (npr. Aquaponic Gardening Rules of Thumb), čeprav so vrednosti lahko odvisne od velikosti rib in sistema RAS.

3. Motenje ljudi: to na ribe vpliva glede na posamezno vrsto. Linj (*Tinca tinca*) je npr. precej plašen. Če ga zmotimo (že celo ob zaznavanju človeške sence), se lahko poškoduje, ker se zaleti v stene bazena. Ena od rešitev je postavitev zaves okoli bazenov, da ribe ne opazijo človeka, ali pa postavitev bazena na gumijaste nosilce, s čimer zmanjšamo vibracije, ki jih povzroča človeška hoja ali delovanje strojev.

4. Plen ali krma: velikost krme mora biti primerna velikosti rib in razporejena po celotnem bazneu, da ne bi spodbujali dominantnosti posameznih rib, saj v nasprotnem primeru manj

aktivne ribe ne pridobivajo teže, zato je treba ribe pogosteje razvrščati v bazene po velikosti, kar jim povzroča še dodaten stres.

5. Plenilci: prisotnost plenilcev, npr. mačk, psov ali ptic v bližini bazenov, lahko ribam povzroča močan stres; stiku z njimi se lahko izognemo s postavitvijo umetnih mej, kot so ograje.

6. Glasni zvoki, kot je glasba (zlasti močan basovski zvok), ribam prav tako lahko povzročajo stres.

## 4.4 Predvidena sestava ribje krme in osnovne hranilne snovi

Ko so znanstveniki pred več kot 50 leti začeli raziskovati krme, so najprej analizirali naravno prehrano izbrane vrste. Postrv, kot primer mesojede ribe, je imela naravno prehrano, ki je bila sestavljena iz 50 % beljakovin, 15 % maščob, 8 % vlaknin in 10 % pepela. Ta prehrana je bila v primerjavi s hrano kopenskih sesalcev bogata z beljakovinami. Od takrat raziskovalci poskušajo najti pravo ravnovesje beljakovin, ogljikovih hidratov, maščob, vlaknin, vitaminov in mineralov za ribe v ribogojstvu (Bhilave *et al.* 2014).

Ena najpomembnejših sestavin katere koli ribje krme so proteini. Vsi proteini so sestavljeni iz aminokislin v različnih razmerjih. Sodobni nutricionisti tako na potrebe po beljakovinah gledajo v smislu potreb po aminokislinah in si prizadevajo določiti idealne ravni najpomembnejših aminokislin. Zaradi tega je celoten sistem učinkovitejši, saj ribe ne zaužijejo dodatnih aminokislin (ki ostanejo neizkoriščene) in imajo dovolj esencialnih aminokislin, da lahko zdravo rastejo. Običajno je raven proteinov prvo in najpomembnejše vprašanje pri načrtovanju hranjenja rib. To je tudi glavno vprašanje v akvaponiki, saj so proteini v krmi vir vseh odpadnih dušikovih snovi, ki jih pozneje asimilirajo rastline (glej poglavje 5).

Ogljikovi hidrati so sestavljeni iz glukoze, glavnega energenta za živali. V krmi je najpogostejša oblika ogljikovega hidrata škrob, ki omogoča, da se hranilni peleti držijo skupaj, in zagotavlja poceni vir energije. Čeprav v krmi običajno najdemo majhne količine škroba, je nedavni razvoj povečal njegovo uporabo. Nutricionisti si prizadevajo prihraniti proteine (zmanjšati količino aminokislin, ki se razgradijo, da bi pridobili energijo), zato dobavljajo več ogljikovih hidratov, ki so cenejši od beljakovin (npr. Lazzarotto *et al.* 2018). Edina pomanjkljivost je, da ta učinkoviti pristop naredi številne mesojede ribe bolj rastlinojede ali vegetarijanske, saj so dodatni ogljikovi hidrati večinoma rastlinskega izvora. Izsledki številnih študij v zadnjih petih letih kažejo, kako lahko to vpliva na rast in dobro počutje rib, rezultati pa so obetavni.

Maščobe so sestavljene iz trigliceridov ali maščobnih kislin, ki podobno kot ogljikovi hidrati ribam zagotavljajo energijo in se lahko, za razliko od ogljikovih hidratov, kopičijo v različnih organih. Mnoge ribe, zlasti tiste iz hladnejših voda, se v svoji prehrani zanašajo na veliko vsebnost maščob (manj kot 15 %), vključno z omega-3- in omega-6-maščobnimi kislinami. Maščobne kisline so potrebne tudi za transport vitaminov, topnih v maščobi. Relativno visoke vsebnosti maščob v večini ribjih krm

pomenijo, da so za ohranitev njihove stabilnosti potrebni antioksidanti, s čimer se izognemo razkroju med predelavo in skladiščenjem krme (Harper & Wolf 2009).

Surova vlaknina je neprebavljiv ali težko prebavljiv del krme, ki pomaga spodbujati gibljivost črevesja (peristaltiko). Pepel predstavlja minerale v krmi, kot so kalij, fosfor, baker in cink. Preseganje mineralov, ki jih ribe lahko asimilirajo, pomeni, da se dodatni minerali raztopijo v vodi. To je pomembno tudi pri akvaponiki, saj lahko načrtujemo takšno krmljenje, ki zagotavlja presežke mineralov, ki se bodo na koncu izločili in bodo zato na voljo rastlinam, vendar je priporočljivo, da najprej optimiziramo krmljenje rib.

Pomemben koncept v prehrani rib je razmerje med prebavljivimi proteini in prebavljivo energijo z okrajšavo DP/DE. Če je prehrana rib zdrava in uravnotežena, bodo prenehale jesti, ko bodo »čutile«, da je njihova energijska raven dosežena. Energija lahko izvira iz maščob, ogljikovih hidratov ali proteinov. Kot že navedeno, so najdostopnejši vir energije ogljikovi hidrati, sledijo maščobe in nazadnje beljakovine. Če je v prehrani veliko beljakovin v primerjavi z lahko dostopno energijo (visok DP/DE), morajo ribe zaužiti več beljakovin, kot jih potrebujejo za rast. Dodatni proteini se ne vgradijo v mišično maso, ampak se razgradijo in uporabijo v druge presnovne namene oz. se preprosto izgubijo. Če je DP/DE nizek, se ribe prenehajo prehranjevati, še preden imajo dovolj hrane za ustrezno rast, zato so posledično tudi izčrpane (Oliva-Teles 2012).

V tabeli 2 je splošna sestava prehrane odraslih postrvi (mesojede) in odrasle tilapije (rastlinojede), pri čemer je le-ta najpogosteje uporabljena riba v akvaponiki. Količina vitaminov in mineralov je v primerjavi z drugimi glavnimi sestavinami majhna in je odvisna od vitaminsko-mineralne mešanice, ki jo uporablja proizvajalec krme. Npr., akvaponski sistem na Arizonski državni univerzi, ki se uporablja za gojenje tilapije, uporablja krmo s 5 mg/kg folne kisline in 66 mg/kg vitamina E ter 7 mg/kg fosforja in 0,5 mg/kg magnezija (glej Fitzimmons 2018).

Tabela 2: Sestava krme (odstotek suhe teže) za mesojede (postrv) in rastlinojede ribe (tilapija) (preostalih 10 % vključuje pepel z vitamini in minerali)

| | Postrv[1] | Tilapija[2] |
|---|---|---|
| Beljakovine | 50 | 30 |
| Ogljikovi hidrati | 17 | 46 |
| Maščobe | 15 | 9 |
| Vlaknine | 8 | 5 |

Vir: [1]FAO 2018; [2]Tran-Ngoc *et al.* 2016

## 4.5 Vrsta krme

V Evropi se je intenzivno ribogojstvo začelo konec 19. stoletja, ko so se vlade odločile, da bodo gojile ribe za vzrejo mladic za obnovo zaroda v jezerih in rekah (Polanco & Bjorndal 2018). Te ribe so bile pomemben vir beljakovin za rečne združbe in so pomagale odpravljati lakoto. Prizadevali so si za promocijo najbolj cenjenih vrst, npr. mesojedih salmonidov. Ko se je proizvodnja povečevala in so ribe dalj časa gojili pod intenzivnimi pogoji, so ribogojci začeli sestavljati krmo. Na začetku so zajeli makroinvertebrate (vodni nevretenčarji v velikosti > 1 mm) v bližnjih vodnih telesih, vendar je bilo to le sezonsko, oskrba pa omejena. Kasneje so ribe hranili s klavniškimi odpadki, ki so jih sesekljali na koščke in jih vrgli v vodo. Ta vrsta hranjenja rib je vplivala na postavitev številnih ribogojnic lososa v bližine klavnic.

V ribogojnicah v bližini pristanišč so za krmo uporabili zavržene ribe iz ulova, vendar pa ta vir ni bil stalen in ga je bilo težje organizirati, ko se je proizvodnja povečala. Tako so kmetje začeli izdelovati pasto iz zavrženih rib, nastal je ribji obrok, h kateremu so včasih dodali rastlinske beljakovine. Pasto je bilo mogoče oblikovati tudi v pelete, kar je olajšalo raztros preko številnih bazenov. Ker pa je bila pasta precej vlažna, je ni bilo mogoče dolgo hraniti, saj je bila hitro pokvarljiva. Nutricionisti so sredi 20. stoletja začeli razvijati granulirano krmo, ki je bila bolj suha in jo je bilo lažje oblikovati glede na prehranske potrebe vsake vrste. Bila je tudi veliko lažja in cenejša za shranjevanje.

Prve granulirane ali sestavljene suhe krme so omogočile porast števila ribogojnic. Od takrat poteka intenzivno raziskovanje najprimernejših in dobičkonosnih surovin, ki se jih uporablja v krmnih formulah. Celoten postopek so izboljšali z uvedbo tehnike ekstrudiranja, ki z visokim pritiskom na krmno pasto v kratkih intervalih poviša temperaturo, zrna pa postanejo lažja (omogoča daljše plavanje v vodi). Postopek omogoča tudi vgradnjo večje količine ribjega olja. Izboljšali so tudi kompaktnost zrnc, da se ob stiku z vodo takoj ne raztopijo.

V zadnjem času si prizadevajo izdelati bolj trajnostne in ekološke krme. To za mesojede ribe pomeni zmanjšanje količine ribje moke v krmi (in nadomestitev z rastlinskimi beljakovinami, kot je sojina moka) in ribjega olja. Za tilapijo to pomeni zmanjšanje ali ukinjanje vsakega dodatka ribje moke ali ribjega olja ob sočasnem ohranjanju kakovosti mesa. Nedavne raziskave se osredotočajo na alternativne vire beljakovin za številne vrste rib, vključno z uporabo alg ali moke iz žuželk.

## 4.6 Strategije krmljenja

Poleg uporabe ustrezne krme moramo zagotoviti, da so peleti prave velikosti glede na velikost ribjih ust. Za majhne ribe je običajno primeren droben prah, za večje ribe pa okrogli peleti z večmilimetrskim premerom. Npr., Aquaponics USA predlaga uporabo praška za tilapijo od vališča do 3 tednov starosti, nato drobir za mladice (0,9 mm), dokler ne zrastejo do približno 2 cm v dolžino, ter pelete za mladice (1,6 mm), dokler ne zrastejo do približno 4 cm po dolžini, in pelete za odrasle osebke ( 4,8 mm) od približno 6 cm dolžine.

Krmo je treba tudi ustrezno razporediti. Običajno se krma vrže na gladino vode v bazenu, pri tem pa osebje zazna odziv rib: ali se premaknejo na površino in začnejo jesti (na splošno je to dober znak) ali

pa ostanejo na dnu bazena (običajno je to slab znak). V nobenem primeru pa ni očitno, ali se prehranjujejo pravilno, koliko krme zaužijejo in koliko se je izgubi, zato obstaja nevarnost, da ribe čezmerno hranimo.

Na splošno se ribe krmi v skladu s tabelami za krmljenje, ki jih pripravi proizvajalec krme glede na temperaturo vode in stopnjo rasti. Toda dojemanje osebja, ki krmi ribe, je zelo pomembno, saj lahko pove, kako lačne so ribe, kar je povezano z zdravjem in dobrim počutjem rib. Vedno več je prizadevanja za avtomatizacijo postopka, zato se sistemi izboljšujejo, vendar ne moremo podcenjevati pomena opazovanja rib, kar je verjetno najboljši in neposreden način razumevanja njihovega stanja. Medtem ko je bilo opravljenih veliko raziskav za optimizacijo krmljenja za čim hitrejšo rast rib, je očitno, da če zagotovimo manj krme, kot je ribe potrebujejo, bo rast počasnejša, proizvajalec pa bo ob denar.

Da bi razumeli postopek krmljenja, moramo na podlagi Slike 2, ki jo je razvil Skretting (pomembno podjetje za krmo), določiti nekaj konceptov. Določiti moramo koncept največjega obroka, ki je teoretično idealen obrok za ribe, vendar pa je za vsako ribogojnico to specifično, saj je obrok odvisen od zunanjih pogojev, kot sta kakovost vode in temperatura, ter od oblike bazenov. Poznamo več pojmov in indeksov, ki se uporabljajo komercialno.

1. Stopnja pretvorbe krme (angl. *Feed Conversion Rate* – FCR): to je razmerje med količino zaužite krme (v kilogramih ali gramih) in povečanjem žive teže. Na komercialni ravni včasih uporabljamo t. i. industrijski FCR; to je približna številka, ki temelji na celotni dobavi krme v določenem obdobju, deljeno s tonami rib, pridelanih v istem obdobju. Če je v tem primeru prišlo do pogina, ne odštejemo krme, ki jo zaužijejo ribe pred poginom. Ta industrijski FCR omogoča predstavo o dejanskih proizvodnih stroških. Podoben indeks je biološki pretvorbeni faktor (angl. *Biological Conversion Factor* – BCF), ki je kg krme, ki jo ribe dejansko zaužijejo, deljen s pridobljenimi kilogrami teže. Težje je izračunati BCF na industrijski ravni, saj je treba z ribami ravnati tako, da krmo zaužijejo. Kljub temu pa je koristno, v kolikor želimo vedeti učinkovitost novo razvite krme. FCR opisuje količino krme, ki jo ribe potrebujejo za en kilogram teže:

$$FCR = \frac{Količina\ zaužite\ krme\ [kg]}{Povečanje\ žive\ teže\ [kg]}$$

   To razmerje odraža prehransko in ekonomsko vrednost krme. FCR 1 pomeni 1 kg žive teže, če ribe nahranimo z 1 kg krme. Višji ko je FCR, višji so stroški krme. Mladice imajo nižji FCR (0,4–0,8), odrasli osebki pa 0,9–2. FCR je odvisen od vrste rib in proizvajalca krme. Včasih je večja ekonomsko vrednost povezana s kakovostno krmo in s tem povezano hitrejšo rastjo rib v primerjavi s cenejšo krmo z nižjim FCR.

2. Specifična stopnja rasti (angl. *Specific Growth Rate* – SGR): to je odstotek dnevne rasti rib. Stopnja rasti je specifična za vsako vrsto ter povezana z velikostjo rib in temperaturo vode. Tako kot FCR je brez brez enot in je koristen podatek za primerjavo podatkov med ribogojnicami ali vrstami rib. SGR prikazuje dnevno povprečno rast ribe v odstotkih njene telesne teže:

$$SGR\left[\frac{\%}{d}\right] = \left(\frac{lnW_2 - lnW_1}{T_2 - T_1}\right) * 100$$

$W_1$ in $W_2$ pomenita težo rib na začetku oz. na koncu rastne dobe, $T_2 - T_1$ pa označuje trajanje rasti v dneh.

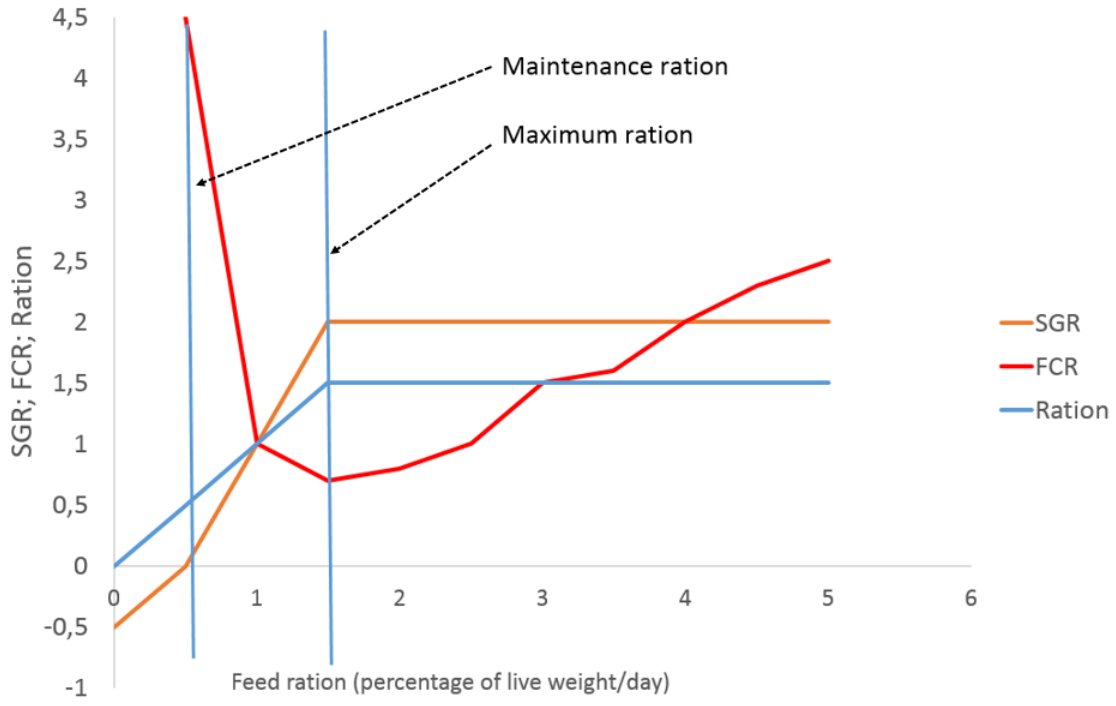
3. Dnevna količina krme (angl. *Daily Feed Rate* – DFR): odstotek zagotovljene krme, izražen kot odstotek teže ribe (% mase ribe na dan). Običajno je ta odstotek višji za mlajše ribe (približno 10 %) in nižji za starejše ribe (približno 1–2 %).

4. Zaužiti obrok: obrok krme, ki ga ribe zaužijejo.

5. Vzdrževalni obrok: natančen obrok, potreben za ohranjanje stalne teže rib brez rasti.

6. Maksimalni obrok: obrok, potreben za doseganje optimalne rasti.

Na sliki 2 je koncept največjega obroka, ki zagotavlja najhitrejšo rast vrst v ribogojstvu. Ta obrok je specifičen za vsako ribogojnico in je odvisen od lokalnih razmer. Ko se približamo največjemu obroku, se rast pospeši, če pa presežemo mejo, krmo pričnemo izgubljati. Na splošno velja, da je treba mladice krmiti več, kot je izračunan največji obrok, saj bodo odpadki zaradi majhne obstoječe biomase mladic majhni, rast pa bo hitrejša. V primeru končne rasti smo ponavadi bolj previdni, saj je v vodi velika biomasa, vsaka dodatna krma, ki se izgubi, pa je draga in poveča negativni vpliv na okolje, zato jo je treba odstraniti.




Slika 2: Razvoj specifične stopnje rasti (SGR), stopnje pretvorbe krme (FCR) in obrok krme, ki se daje ribam, v odstotkih krme na živo težo rib / dan

Če upoštevamo podatke s slike 2, bodo ribe z majhnim obrokom porabile vso energijo za svoje vsakodnevne dejavnosti in lahko celo shujšale (kjer bo FCR neskončen). Če povečamo obroke, bodo ribe pospešile svojo rast in FCR. V času najhitrejše rasti bo vsakršna krma, zagotovljena v presežku, gospodarski in okoljski problem ter brez koristi za proizvodnjo, zato moramo prilagoditi količino krme rasti rib do točke, ki je blizu največjega obroka, vendar moramo paziti, da meje ne presežemo.

Nadzor bioloških procesov v ribogojstvu zahteva stalno spremljanje s čimer se prepreči morebitne težave. Pomembno je, da lahko težave odpravimo čim prej in vnaprej, kar pomeni odkrivanje zelo blagih simptomov že na začetku njihovega pojava. Vse to pomaga zmanjšati proizvodne stroške in izboljša učinkovitost prirasta, zato ribogojni sektor nenehno usposablja osebje, zlasti tisto, ki je odgovorno za krmljenje.

Tudi v posodobljenih sistemih ribogojstva (npr. RAS), ki so vse bolj računalniško vodeni in avtomatizirani, se mora osebje zavedati občutljivih bioloških procesov, ki se dogajajo v enoti. Tehnološki razvoj je vse hitrejši, vendar ga mora spremljati ustrezna uporaba razpoložljivih tehnik za izboljšanje proizvodnje na vseh ravneh. Ti koncepti so temelj za uspeh. Dejansko je stalno usposabljanje osebja, ki je vključeno v krmljenje, zelo pomembno orodje pri delovanju ribogojnice. Nadzornik krmljenja v veliki meri določa dobičkonosnost ribogojnice, saj zagotavlja energijo za rast rib. Kakršne koli spremembe krmljenja, četudi majhne, so lahko znak težav v sistemu, ki lahko, če jih ne odpravimo, prerastejo v hujše higienske težave.

## 4.7 Samodejni krmilniki

Samodejno krmljenje zahteva znanje o prehranjevalnih navadah vrst. Poznati moramo tudi tehnične podrobnosti, npr. število rib v vsakem bazenu in njihove velikosti. Ročno krmljenje ima prednosti, ki smo jih že omenili, in se še vedno uporablja za »ohranjanje stika« z ribami. Kljub temu lahko tehnološki razvoj olajša to delo. Dandanes obstaja veliko vrst samodejnih krmilnikov, zlasti za velike sisteme z veliko biomase. Pri teh se osredotočamo na različne vrste samodejnih krmilnikov, ki se uporabljajo v sistemih RAS.

Običajno je krma za krmljenje suha in v obliki peletov ter nameščena neposredno v bazen, kjer lahko nekaj časa plava, sčasoma pa potoni na dno. Večina rib poje krmo na površini ali med premikanjem navzdol po vodnem stolpcu, še preden potone na dno bazena. Mnoge vrste, ki se uporabljajo v akvaponiki, so plenilci v naravnem habitatu in med jedjo agresivni, kar lahko povzroča težave. Večina sodobnih avtomatskih krmilnikov upošteva to dejstvo, saj lahko slabo hranjenje z neustreznimi krmilniki privede do populacije s dominantnimi posamezniki, ki se prekomerno hranijo, medtem ko drugi ostanejo brez krme. Takojšna posledica je večja razlika v velikosti rib v bazenu (večja razlika žive teže), zaradi česar je treba ribe pogosteje razvrščati, da se prekine socialna hierarhija in poveča učinkovitost krmljenja. Samodejne krmilnike lahko razdelimo v dve veliki skupini, ki se nanašajo na biomaso rib in količino krme, ki jo je treba razdeliti.

1. Krmilniki za mladice: krmilniki delijo majhne obroke z veliko pogostostjo (od 5- do 10-krat na dan). Peleti so zelo majhni, krmo pa imamo lahko shranjeno neposredno v krmilniku, ki ga lahko ročno napolnimo.

2. Krmilniki za gojenje: krmilniki delijo velike količine krme z razmeroma nizko pogostostjo (od 1- do 3-krat na dan). Peleti so veliki, krmilniki pa se polnijo ročno ali avtomatsko.

Stroški ročnega krmljenja rib so precej visoki, tako glede na tono potrebne krme kot tudi na čas, potreben za krmljenje. Različna podjetja ponujajo podrobnosti o modelih krmilnikov, ki so na voljo za različne vrste in ribogojnice (www.acuitec.es; www.akvagroup.com; www.aquacultur.de). Poznamo več osnovnih delov krmilnikov za gojenje rib.

1. Skladišče ali shramba različnih vrst peletov, ki jih dobavijo v vrečah ali kot razsuti tovor iz silosov.

2. Dostava krme iz shrambe na tisto stran bazena, na kateri se krma deli. Cevi potekajo od mesta za shranjevanje do samodejnega krmilnika, ki ima le majhno možnost shrambe krme. Na tej stopnji se peleti premikajo z mehanskimi sistemi ali kompresorji in vbrizgavanjem zraka. Ta oprema je specializirana za zagotovitev pravilne oskrbe in ustrezne higiene. Primere različno dovršeno oblikovanih krmilnikov, ki se uporabljajo v intenzivnem ribogojstvu, najdemo na strani podjetja AKVA group. Nekatera podjetja za krmljenje mladic v sistemih RAS uporabljajo robote, ki omogočajo avtomatizirano polnjenje krmilnika iz shrambe ob ribjem bazenu. Roboti se premikajo po zgradbi s pomočjo s stropa visečih vodnikov ali tirnic (glej npr. Crystalvision).

3. Mesto delitve krme je zadnji del sistema za samodejno krmljenje. Na tem mestu se krma naenkrat razprši po gladini bazena, s čimer vsem ribam omogočimo sočasno hranjene, kar je boljše od postavitve peletov na eno majhno mesto. Mesto delitve krme je zato pomembno za ohranjanje bolj ali manj homogene populacije rib v bazenih.

4. Monitoring dejansko zaužite krme: nedavni tehnološki razvoj omogoča zaznavanje, kdaj ribe prenehajo jesti. Ta signal potuje do samodejnega krmilnika, ki zato ustavi razdeljevanje krme. Ti sistemi delujejo s podvodnimi kamerami ali zvočnimi in laserskimi detektorji, ki krmilniku sporočijo, kdaj se tek rib zmanjšuje.

## 4.8 Načrt proizvodnje in spremljanje razvoja ribogojnice

Vse ribogojnice potrebujejo natančno opredeljene cilje pridelave in načrt za dosego teh ciljev. Koristno je vnaprej določiti več vidikov:

1. gojitvene vrste rib,
2. velikost mladic na začetku in ciljna velikost odraslih rib, namenjena prodaji; to pripomore k opredelitvi proizvodnih ciklov v ribogojnici (vrste bazenov itd.),

3. optimalne gostote in bivalni pogoji za vsako stopnjo rasti; to pripomore k določitvi največje obremenitve žive biomase v obratu in letno proizvodnjo,
4. zdravstveno upravljanje, ki se uporablja za vzdrževanje optimalnih pogojev za ribe,
5. stopnja usposobljenosti vključenega osebja.

Dobro počutje rib in ekonomska upravičenost obrata sta odvisni od skladnosti s cilji, ki so predvideni v projektu. Vedeti moramo, ali ribe dosegajo svojo pričakovano rast in ustrezno asimilirajo krmo ter ali je smrtnost višja od pričakovane. Poznati moramo tudi krivuljo pričakovane rasti glede na temperaturo vode. To skupaj s trajanjem proizvodnega sistema pripomore k oblikovanju proizvodnega načrta, ki je osnova za obratovalne stroške. Ko se proizvodnja začne, jo je treba ustrezno spremljati.

Obstajati mora jasna sledljivost porekla rib, poznati moramo število rib in njihovo velikost na prvi dan, ko smo jih vložili v bazen. Dnevno beležimo vsako opravljeno proizvodno dejavnost, npr. dnevni vir krme, način čiščenja ter meritve fizikalnih in kemijskih parametrov. Na sliki 3 je primer evidenčnega lista. Podatki se zbirajo vsak dan za vsak bazen in jih je treba shraniti v mesečno poročilo in obdelati, da bi lahko določili razvoj ribogojske proizvodnje. Občasno moramo stehtati vzorec rib, da ocenimo rast v vsakem bazenu. Zajeti moramo dovolj rib, da zagotovimo reprezentativnost bazena, običajno vsaj 10–15 posameznikov na 100 rib. Krmljenje nato občasno prilagodimo povprečni masi rib.

**Daily Control Sheet per Tank**

| | | | |
|---|---|---|---|
| Tank number: | | Treatment: | |
| Number of fish: | | Average weight: | Density: |
| Source tank: | | Destination tank: | |

| Day | Temperature (ºC) | Oxygen (mg/l) | Flow inlet (l/s) | Cleaning (partial/complete) | Mortality (number dead) | Feed (g) | Treatments (medical) | Marks | Observations (treatments, movements, incidents) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | | | |
| . | | | | | | | | | |
| . | | | | | | | | | |
| 28 | | | | | | | | | |
| 29 | | | | | | | | | |
| 30 | | | | | | | | | |
| 31 | | | | | | | | | |

Slika 3: Evidenčni list za vsakodnevno beleženje podrobnosti o bazenih in ribah

Na trgu je veliko programske opreme, npr. programi norveškega podjetja AKVA GROUP, ki se uporabljajo za upravljanje krme. Podjetje zagotavlja dva programa. Program *Fishtalk* zagotavlja večino vidikov nadzor in načrtavanja v ribogojnici ter obravnavo stroškov. Izdelana poročila in analiza razvoja proizvodnje so osnova za odločitve, ki jih kratkoročno in dolgoročno sprejemajo upravniki. Program *AKVAconnect* pa se nanaša na programsko opremo, ki jo ponuja podjetje AKVA GROUP; nadzoruje avtomatizacijo in optimalno prilagajanje procesov in dejavnosti v ribogojnici. Ponuja nadzor s stalno pozornostjo na interakcijo med stroji, senzorji in drugimi procesi.

Drugi primer je avtomatski program STEINSVIK za proizvodnjo lososa. Na sliki 4 je kontrolni zaslon za proizvodno enoto, s fizikalnimi razmerami in rastjo, tekom in zalogo rib, dnevnim ritmom krmljenja itd. Več o drugih primerih glej www.aqua-manager.com.

Kot del proizvodnega načrta je pomemben tudi ustrezen način shranjevanja krme. Krma je običajno v obliki suhih pelet, pridobljenih z ekstrudiranega proizvoda, zato jih je mogoče shranjevati razmeroma enostavno. Kakovost peletov je visoka, precej so kompaktni, izgube vode pa so nizke, saj se ne razgradijo zlahka. Za vzdrževanje kakovosti suhe krme je pomembno, da jo shranjujemo v silosih ali v suhih skladiščih, ki so izolirani pred presežno toploto. Če krma postane vlažna se lahko okuži z glivami, ki proizvajajo mikotoksine, ki ribam škodujejo.

Slika 4: Nadzorni zaslon avtomatskega programa Steinsvik za ribogojnice

## 4.9 Oblikovanje krme za akvaponiko

Krmo za akvaponiko lahko pridelamo doma ali jo kupimo pri specializiranih podjetjih za krmo, ki oblikujejo posebno sestavo, odvisno od vrste in starosti rib. Običajno komercialni proizvajalci uporabljajo specializirano krmo, s katero zadovoljijo vse prehranske potrebe rib, in je v primerjavi s pripravo in oblikovanjem lastne krme cenejša. Pripravljena krma ni vedno popolna in ima lahko različne učinke na kakovost vode, v kateri živijo ribe in v katero le-te izločajo. Nedavno so znanstveniki in inženirji začeli v recirkulacijskih sistemih in v akvaponskih enotah raziskovati posebno prehrano rib. Teoretično se zdi, da bi ribe lahko preskrbeli s peleti, ki pripomorejo k hitri rasti, hkrati pa zagotavljajo dovolj hranil za rastline, ki pozneje vpijajo to vodo. V praksi so stvari zapletenejše in odvisne od številnih kompleksnih parametrov, kot so temperatura in pH reciklirane vode, pa tudi mikrobiote v ribjem črevesju in biofiltrih. Delavci v akvaponiki bi morali poznati osnovno sestavo krme, da bi lahko presodili, s katero krmo bi bilo najbolje začeti hraniti ribe ob naselitvi. Čeprav

morda ni treba začeti načrtovati krmo iz nič, bi morali biti zmožni po branju naslednjih poglavij izbrati najboljšo krmo za akvponski sistem.

## Rast rib in zadrževanje dušika

Dušik, ki ga ribe sčasoma izločijo kot amonijak, prihaja iz beljakovin v krmi. Čeprav je v drugih sestavinah krme nekaj dušika, skoraj ves dušik, ki ga ribe absorbirajo in izločijo kot odpadno snov, izvira iz aminokislin, saj vsebujejo dušik v kemični sestavi.

Če poznamo odstotek dušika v krmi, lahko izračunamo približno količino dušika, ki se kot amonijak izloči v vodo s postopkom, podobnim uriniranju. Ta amonijak se kasneje spremeni v nitrat, ki je na voljo rastlinam. Treba pa je opozoriti, da ribe v resnici ne urinirajo, vendar v nasprotju z večino sesalcev izločajo dušikove odpadne snovi skozi škrge (brachia – podobno našim pljučem). V naslednjih odstavkih sledimo izvoru in usodi dušika v akvaponskem sistemu, ki temelji na raziskavah Seawright *et al.* (1998), ki so ena prvih skupin, ki je pred nekaj desetletji objavila študije o kroženju hranil v akvaponskih sistemih. V članku podajajo enačbo za izračun dušikove bilance v sistemu, ki jo bomo uporabili kot vodilno. Po izračunu dušika, ki je prisoten v krmi, lahko izračunamo, koliko se ga zadrži v ribah, koliko se ga izgubi z nezaužito krmo in koliko se ga izgubi z izločki rib, da dobimo koncentracijo amonijaka v okoliški vodi.

## Vir dušika

Krma je glavni vir dušika v našem akvaponskem sistemu. Da bi izračunali skupno količino dušika, ki smo ga v bazen vnesli preko krme, moramo poznati točno količino uporabljene krme v gramih ali kilogramih in odstotek beljakovin v krmi. To je običajno prikazano na embalaži krme ali pa so podatki na voljo pri proizvajalcu krme. Omenili smo že, da ima krma visoke deleže beljakovin, običajno od 25 % do 50 %. Ko poznamo odstotek beljakovin, lahko izračunamo odstotek dušika tako, da ga delimo s 6,25. To število uporabljamo, ker nutricionisti predvidevajo, da dušik predstavlja 1/6,25 ali približno 16 % vseh beljakovin. Tako vemo, da ima krma za tilapijo 35 % beljakovin in 35 % * 16 % = 5,6 % dušika. Če smo v bazen v enem dnevu dodali 120 gramov krme, smo s tem dodali 120 * 5,6 % = 6,72 gramov dušika.

## Absorpcija dušika z ribami

Ribe bodo absorbirale dušik v svoja beljakovinska nahajališča, ki so večinoma njihove mišice. Večino telesne teže ribe predstavlja voda, zato je treba njeno težo zmanjšati, saj je dušik prisoten le v delu, ki ga lahko imenujemo »suha teža mišice«. Na podlagi rezultatov našega laboratorija in ugotovitev iz literature (npr. Seawright et al. 1998) je suha teža tilapije približno 27 % njene telesne teže, ali povedano drugače, 73 % mišice v tilapiji predstavlja voda.

Nato moramo poznati stopnjo pretvorbe krme (FCR). FCR je razmerje med razdeljeno krmo in pridobljeno maso rib. Nasprotje vrednosti FCR imenujemo izkoristek krme ali povečanje mase rib, deljeno s porabljeno krmo. FCR je pri ribah običajno približno med 1 in 2. Po drugi strani lahko učinkovitost krme dobimo kot FCR, ki ga delimo z 1. To pomeni, da je za indeks pretvorbe 1,5 učinek krme 1/1,5 = 66,73 %. Povedano drugače, približno dve tretjini krme, ki jo pojedo ribe, absorbirajo mišice v ribah kar predstavlja rast.

Bolje bi bilo imeti visoko učinkovitost krme (blizu 100 %); višja ko je učinkovitost, ekonomsko ugodnejša je krma. Vendar imajo ribe maksimalno mejo, koliko mišične mase lahko razvijejo. Z

rastjo mišic raste količina beljakovin (kot tudi količina skupnega dušika v mišici), vendar pa je delež beljakovin v mišici kolikor toliko stabilen. Skupni odstotek dušika glede na telesno težo je približno 8,8 % za tilapijo. Odstotek se lahko razlikuje med vrstami, vendar je ta vrednost dobra približna vrednost.

Tako lahko glede na preskrbljeno krmo ocenimo, koliko dušika se zadrži v ribah. Če zagotovimo 120 g krme z uporabo omenjenih vrednosti, potem dušik, zadržan v ribah, izračunamo tako, da krmo pomnožimo s suho maso, izkoristkom krme in odstotkom dušika v ribjih mišicah. To je 120 g * 27 % * 66,73 % * 8,8 % = 1,90 grama dušika iz krme ostane v ribah.

### Dušik, izgubljen s trdnimi snovmi

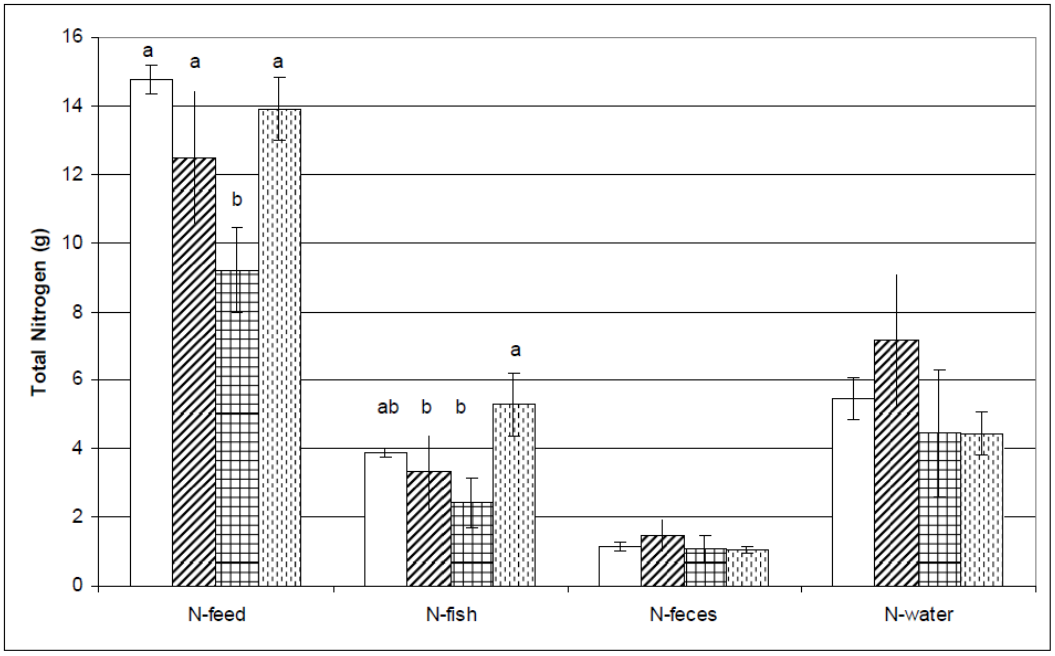
Medtem ko se dušikove snovi izločijo v obliki urina, se lahko dušikove snovi izločijo tudi z ribjimi izločki. Vsebnost beljakovin ali dušika v izločkih lahko izmerimo, saj se le-ta nabira v filtru trdnih snovi našega sistema, ali pa ga lahko vsak dan zajamemo in shranimo. Trdni odpadki lahko vsebujejo tudi nezaužito krmo, a je težko natančno izmeriti, koliko krme ribe niso zaužile, zato nam trdni odpadki skupaj predstavljajo ribje izločke in nezaužito krmo. Pred analizo se trdni odpadki posušijo, da se izračuna suha teža, nato pa se izmeri vsebnost dušika. V sistemu RAS je skupna količina trdnih snovi približno 10 %. To pomeni, da 10 % krme, ki se razdeli ribam, konča kot trden odpadek (vključno z ribjimi izločki in nezaužitimi peleti). Pri analizi smo ugotovili, da je bila vsebnost dušika v izločkih 4,8 %.

Kot smo pojasnili in kot to ocenjujejo tudi nutricionisti, beljakovine predstavljajo 16 % dušika. Če imamo podano samo količino dušika in moramo izračunati prvotno količino beljakovin, to storimo tako, da količino dušika delimo s 16 %, kar je enako, če ga pomnožimo s 6,25 % (1/16 = 0,0625 ali 6,25 %). Če je bila vsebnost dušika v blatu 4,8 %, bi bila količina beljakovin 4,8 % * 6,25 % = 30 %.

Na koncu moramo za izračun skupnega dušika, izgubljenega v trdnih snoveh na količino krme, ki jo razdelimo v bazen, količino krme (120 g) pomnožiti z odstotkom krme, ki jo izgubimo v trdnih snoveh (izločki in nezaužita krma), ter z odstotkom dušika v trdnih snoveh (4,8 %). Recimo, da je izgubljene krme v trdnih snoveh 10 %, težo dušika, izgubljenega v trdnih snoveh, pa izračunamo tako: 120 g * 10 % * 4,8 % = 0,576 g. To je le primer, zato se ta odstotek lahko razlikuje glede na sistem in druge pogoje.

### Dušik, raztopljen v vodi kot amonijak

S prikazanimi izračuni lahko količinsko določimo vrednost dušika, raztopljenega v vodi, ki se izgubi kot amonijak. Najprej dodamo dušik, ki ga ribe absorbirajo in izgubijo pri izločanju, dobljeno vrednost pa odštejemo od dušika, ki smo ga dodali prek krme. Preostali dušik je količina, izgubljena ali raztopljena v vodi. V zgornjem primeru je 6,72 – (1,90 + 0,576) = 4,24 g $NH_3$. To pomeni, da se 63,1 % (4,24/6,72) dušika iz krme pretvori v $NH_3$. Ribe dušik izločijo kot $NH_3$, vendar pa se, odvisno od pH vode, pretvori v $NH_4$. Izraz TAN označuje skupni amonijski dušik ali kombinacijo $NH_3$ + $NH_4$. Na Sliki 6 je primer rezultatov našega laboratorija: skupni dušik je bil izračunan v krmi in nato izmerjen v ribah, izločkih in vodi.




Slika 5: Primer analize cikla dušika v tilapiji z uporabo štirih različnih krm, ki temelji na različnih virih beljakovin (ribja moka, soja, koruzni gluten in koncentrat graha)

## 4.10 Literatura


Bhilave, M.P., Nadaf, S.B. & Deshpande, Y.V. 2014. Proximate analysis of formulated feed. Originally published in 2010 in *All About Feed* 1(9).

FAO 2018. Aquaculture Feed and Fertilizer Resources Information System. Rainbow trout. Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Fitzimmons, K. 2018. Introduction to tilapia nutrition. University of Arizona.

Harper, C. & Wolf, J.C. 2009. Morphologic effects of the stress response in fish. *ILAR* 50 (4), 387-396.

Lazzarotto, V., Médale, F., Larroquet, L., & Corraze, G. 2018. Long-term dietary replacement of fishmeal and fish oil in diets for rainbow trout (Oncorhynchus mykiss): Effects on growth, whole body fatty acids and intestinal and hepatic gene expression. *PloS One*, 13(1), e0190730.

Oliva-Teles, A. 2012. Nutrition and health of aquaculture fish. *Journal of Fish Diseases* 35 (2), 83-108.

Polanco, J. F. & Bjorndal, T. 2018. Paper 2 Aquaculture diversification in Europe: the kingdom of Spain and the kingdom of Norway. In *Planning for aquaculture diversification: the importance of climate change and other drivers: FAO Technical Workshop 23–25 June 2016, Rome Italy* (p. 37). Food & Agriculture Org.

Seawright, D.E., Stickney, R.R. & Walker, R.B. 1998. Nutrient dynamics in integrated aquaculture-hydroponics systems. *Aquaculture* 160, 215-237.

Tran-Ngoc, K. T., Dinh, N. T., Nguyen, T. H., Roem, A. J., Schrama, J. W., & Verreth, J. A. 2016. Interaction between dissolved oxygen concentration and diet composition on growth, digestibility and intestinal health of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture* 462, 101-108.

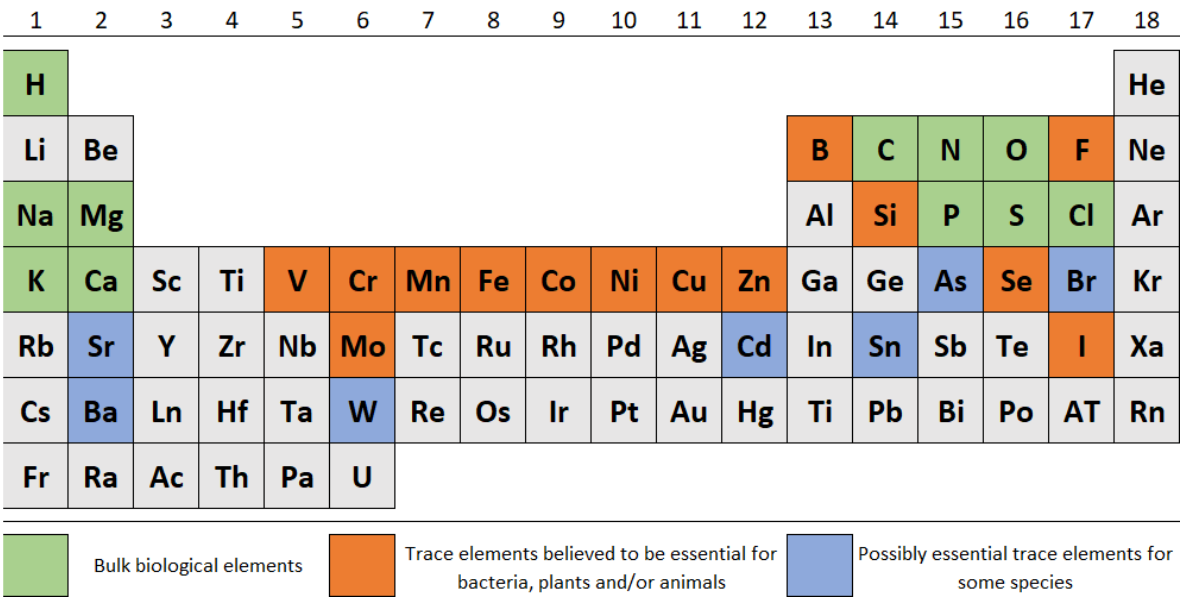
**Ranka Junge**

# 5. RAVNOVESJE VODOTOPNIH HRANIL

## 5.1 Makro- in mikrohranila

### 5.1.1 Kemijski elementi

Na planetu zemlja je bilo do zdaj odkritih 92 naravno prisotnih elementov. Nekateri od njih so zelo dobro raziskani, drugi (npr. astat) manj (Bryson 2003), saj so nekateri elementi zelo redki: na celotnem planetu zemlja je npr. manj kot 20 atomov francija. Le približno 30 naravno prisotnih elementov je enakomerno razširjenih po planetu, a le nekateri med njimi so pomembni za življenje (slika 1). V sončnem sistemu, zvezdah in vesolju nasploh so najbolj razširjeni lažji elementi: več kot 75 % je vodika (H), 25 % helija (He) in približno 1 % vseh drugih elementov. Med temi so elementi s sodimi in lihimi atomskimi števili, več pa je tistih s sodimi kakor z lihimi. Višje ko je atomsko število, manj je v naravi prisotnega elementa, vendar pa je razširjenost ogljika (C), kisika (O), magnezija (Mg), silicija (Si) in železa (Fe) v primerjavi s tem pravilom sorazmerno visoka, medtem ko je razširjenost litija (Li), berilija (Be) in bora (B) sorazmerno nizka. V zemeljski skorji si elementi glede na razširjenost sledijo v zaporedju: O (< 50 %), Si (> 20 %), Al, Fe, Mg, Ca, Na in K. Ti elementi so tudi najpogostejši gradniki kamnin. V notranjosti planeta zemlja je zaradi jedra in plašča Fe, Ni in Mg vse več, medtem ko O, Si in Al ostajajo glavne sestavine (tabela 1). Elementi imajo različne funkcije (tabela 2). Navadili smo se na uporabo oz. postali tolerantni zanje, vendar v ozkem območju sprejemanja. Praviloma je naša toleranca za posamezne elemente sorazmerna z njihovo razširjenostjo v zemeljski skorji (Bryson 2003).




Slika 1: Porazdelitev naravno prisotnih elementov v periodnem sistemu, za katere je znano, da so bistvenega pomena za življenje (prirejeno po Da Silva & Williams 2001)

Tabela 1: Pojav elementov v % suhe mase zemeljske skorje, zelenih alg in živali v primerjavi s solato, pridelano v hidroponskem sistemu, in krmo rib (Schmautz, neobjavljeni podatki)

| Element | Symbol | Earth crust (%) | Diatoms (green algae) | Animals | Lettuce | Fish feed |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Oxygen | O | 47.4 | 44.4 | 18.6 | 59.9 | 69.2 |
| Carbon | C | 0.048 | 22.5 | 48.4 | 33.1 | 46 |
| Hydrogen | H | 0.15 | 4.6 | 8.7 | 4.9 | 6.8 |
| Nitrogen | N | 0.0025 | 3.8 | 8.7 | 4.7 | 7.6 |
| Calcium | Ca | 4.1 | 0.8 | 8.5 | 2.8 | 2.3 |
| Phosphorus | P | 0.1 | 0.425 | 4.3 | 1.2 | 1.3 |
| Sulphur | S | 0.026 | 0.6 | 0.54 | 0.6 | 0.8 |
| Potassium | K | 2.1 | ? | 0.75 | 9.1 | 1.3 |
| Sodium | Na | 2.3 | 0.6 | 0.73 | 0.9 | 1.4 |
| Magnesium | Mg | 2.3 | 0.32 | 0.1 | 1.0 | 0.27 |
| Silicon | Si | 27.7 | 20 | 0.012 | 0.43 | 0.1 |
| Aluminium | Al | 8.2 | 0.1 | 0.0003 | 0.16 | 0.02 |
| Iron | Fe | 4.1 | 0.35 | 0.016 | 0.13 | 0.03 |

**Opomba:** podatki so zbrani iz različnih virov

### 5.1.2 Makro- in mikrohranila ter njihova vloga v živih organizmih

Kemijski elementi v živih organizmih opravljajo različne naloge (tabela 2). Živi organizmi za življenje ne potrebujejo vseh elementov v enakih količinah. Nekateri elementi so potrebni v večjih količinah, drugi v manjših. To prikazuje nazorna stehiometrična formula človeka (Sterner & Elser 2002):

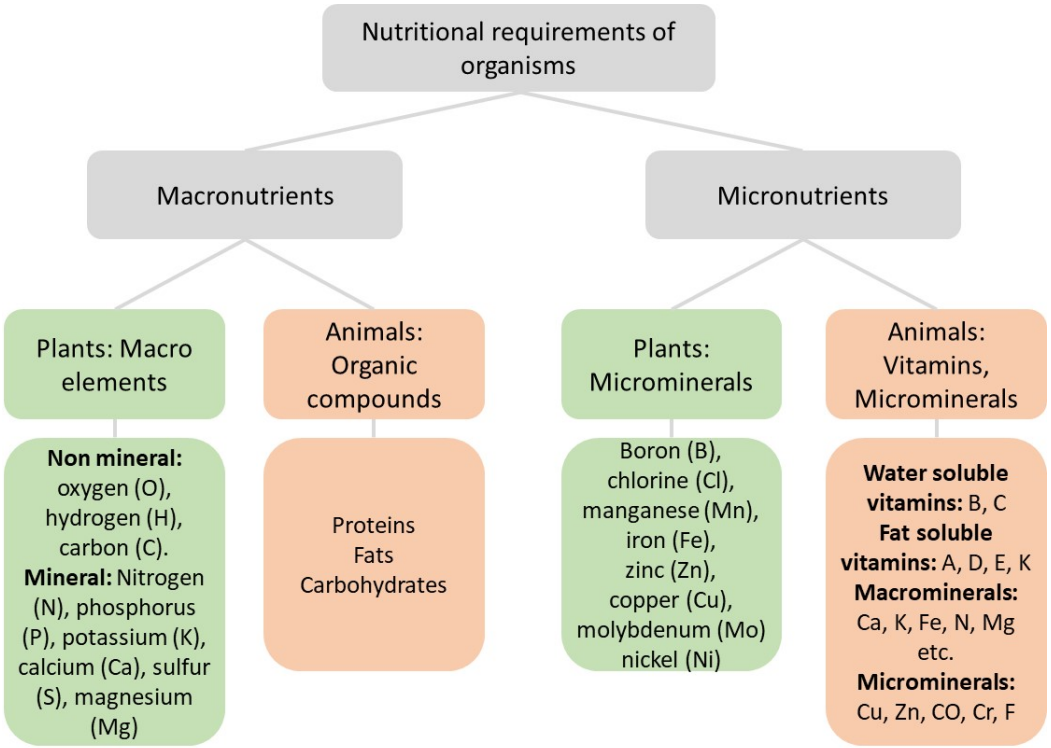
$$H_{375,000,000}O_{132,000,000}C_{85,700,000}N_{6,430,000}Ca_{1,500,000}P_{1,020,000}S_{206,000}Na_{183,000}K_{177,000}$$
$$Cl_{127,000}Mg_{40,000}Si_{38,600}Fe_{2,680}Zn_{2,110}Cu_{76}I_{14}Mn_{13}\ F_{13}Cr_{7}Se_{4}Mo_{3}Co_{1}$$

To pomeni, da ima človeško telo na vsak atom kobalta (Co) 132 milijonov atomov kisika (O). Glavne prehranske potrebe rastlin in živali, brez katerih ne morejo dokončati življenjskega kroga, so opisane na sliki 2. Makrohranila so potrebna v večjih, mikrohranila v manjših količinah.

Tabela 2: Primarne funkcije in kemijski elementi ali pridruženi ioni (prirejeno po Sterner & Elser 2002)

| Funkcija | Element | Kemijska oblika | Primeri |
|---|---|---|---|
| Strukturna (biološki polimeri in podporni materiali) | H, O, C, N, P, S, Si, B, F, Ca, (Mg), (Zn) | Vključeni v kemijske spojine ali težko topne anorganske spojine | • biološke molekule (beljakovine, DNK, maščobe, ogljikovi hidrati)<br>• tkiva (mišice, pljuča, listi …)<br>• okostja, školjke, zobje<br>• rastlinska podporna tkiva (lignin, celuloza) |
| Elektrokemijska | H, Na, K, Cl, $HPO_4^{2-}$, (Mg), (Ca) | Prosti ioni | • prenos sporočil po živcih<br>• celična signalizacija<br>• presnova energije |
| Mehanska | Ca, $HPO_4^{2-}$, (Mg) | Prosti ioni, ki se izmenjujejo z vezanimi ioni | • krčenje mišic |
| Katalitična (kislinsko-bazična) | Zn, (Ni), (Fe), (Mn) | Kompleksi z encimi | • prebava (Zn); cink oksidira alkohol<br>• hidroliza sečnine (Ni)<br>• odstranjevanje $PO_4$ v kislih medijih (Fe, Mn) |
| Katalitična (redoks) | Fe, Cu, Mn, Mo, Se, (Co), (Ni), (V) | | • reakcije z $O_2$ (Fe, Cu)<br>• fiksacija dušika (Mo)<br>• redukcija nukleotidov (Co)<br>• Co je nujen za ustvarjanje vitamina $B_{12}$ |

**Opomba:** Manj pomembni elementi so navedeni v oklepajih



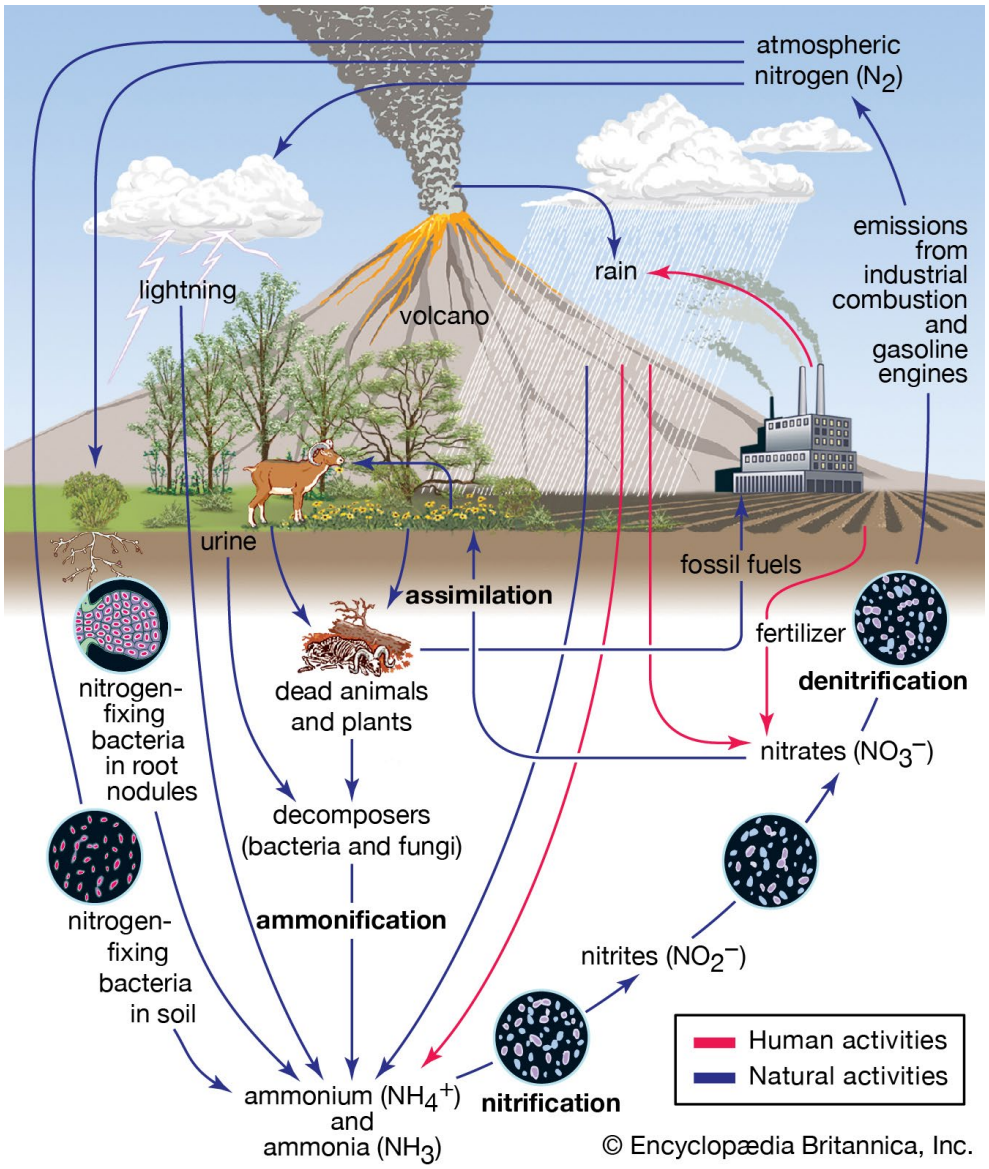

Slika 2: Prehranske potrebe rastlin in živali.

Voda (ki jo potrebujejo vsa živa bitja) na sliki 2 ni vključena. Živali dobivajo hranila iz hrane in vode. Rastline, razen parazitskih in mesojedih, absorbirajo elemente iz okolja.

## 5.2 Biogeokemijsko kroženje glavnih hranil v akvaponiki

### 5.2.1 Kroženje dušika

Dušik je za vse žive organizme zelo pomemben element, v akvaponiki pa je glavno hranilo. Pojavlja se v aminokislinah (deli proteinov), nukleinskih kislinah (DNK in RNK) in v molekuli za prenos energije (adenozin trifosfat) (Pratt & Cornely 2014). Ker se dušik pojavlja v različnih kemičnih oblikah, je njegovo kroženje zelo zapleteno (slika 3).

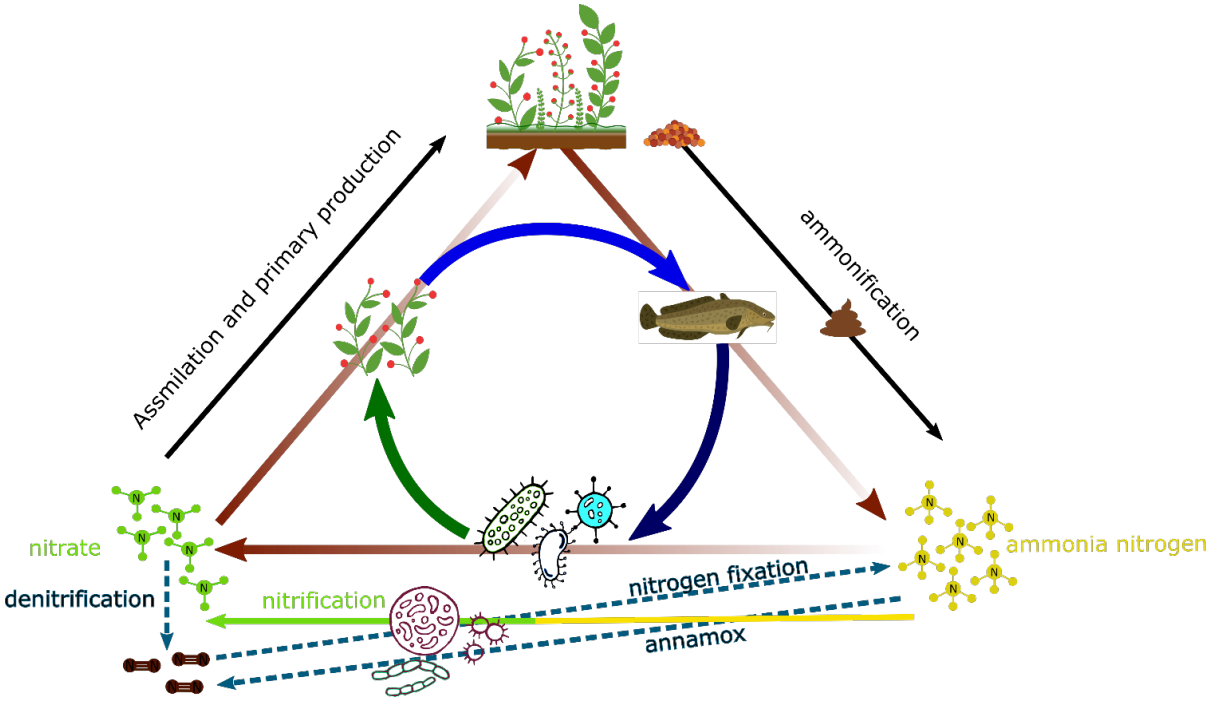



Slika 3: Splošno kroženje dušika (Encyclopedia Britannica)

Večino zemljine atmosfere (78 %) sestavlja atmosferski dušik oz. didušik ($N_2$). Dušik je zelo nereaktiven plin in za večino organizmov nekoristen. Fiksacija dušika vključuje procese, ki atmosferski dušik pretvorijo v spojine; te lahko imenujemo reaktivni dušik ($N_r$). Ta vključuje vse biološko aktivne, fotokemijsko reaktivne in sevalno aktivne dušikove spojine v atmosferi in biosferi. Vključuje anorganske reducirane oblike N (npr. $NH_3$ in $NH_4^+$), anorganske oksidirane oblike (npr. $NO_x$, $HNO_3$, $N_2O$ in $NO_3^-$) in organske spojine (npr. sečnina, amini in beljakovine) (Galloway *et al.* 2008).

Fiksacijo dušika lahko v naravi povzroči strela, saj zelo vroč zrak pretrga vezi $N_2$, kar omogoči nastanek dušikove kisline. Kemijsko to lahko izvedemo s t. i. Haber-Boschevim postopkom. Biološka fiksacija dušika se zgodi, ko $N_2$ pretvorimo v amonijak z encimom, imenovanim nitrogenaza. Mikroorganizmi, ki fiksirajo $N_2$, so večinoma anaerobni. Večina stročnic (fižol, grah itd.) ima v koreninskih sistemih simbiotske bakterije, imenovane Rizobij, ki rastlini omogočajo, da raste in z drugimi rastlinami tekmuje za vir dušika. Ko rastlina odmre, se fiksni dušik sprosti in je na voljo drugim rastlinam.

Slika 4 prikazuje kroženje dušika v akvaponiki. Dva dela prehranjevalne verige (primarni proizvajalci in potrošniki), ki se običajno pojavljata skupaj, sta prostorsko razdeljena na ribogojski del in hidroponski del. Sinergistični učinek, ki omogoča učinkovito izrabo hranil, spodbujajo oz. uravnavajo mikroorganizmi.

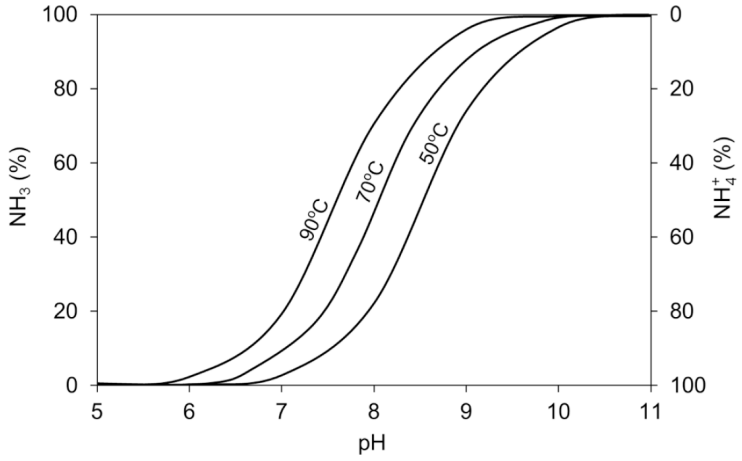



Slika 4: Kroženje dušika v akvaponiki

Dušik vstopi v akvaponski sistem prek krme za ribe, ki jo ribe zaužijejo in kasneje izločijo kot celotni amonijev dušik (TAN, amonijak – $NH_3$ in amonij – $NH_4^+$) (Wongkiew *et al.* 2017). Dušik se pretvori v amonij ($NH_4^+$) v kislem ali nevtralnimi pH-okolju oz. v amonijak ($NH_3$) pri višjih pH-vrednostih. Koncentracija amonijaka je odvisna tudi od vsebnosti amonijaka, pH in temperature (Slika 5, Tabela

3). Ker je $NH_3$ slabše topen v vodi kot $NH_4^+$, se $NH_3$ hitro pretvori v plinasto obliko in izhlapi (Gay & Knowlton 2009).

Amonij ($NH_4^+$) ni strupen, medtem ko amonijak ($NH_3$) je, zato bi bilo treba celotni amonijev dušik iz vode odstraniti in ga pretvoriti v nitrate iz dveh razlogov: (i) amonijak in nitrit, ki sta sekundarna produkta nitrifikacije, sta škodljiva za ribe, medtem ko ribe nitrate prenašajo v koncentraciji od 150 do 300 mg/L (Graber & Junge 2009); (ii) celotni amonijev dušik ni optimalen za rastline, ki za rast potrebujejo pretežno nitrate ali mešanico amonijaka in nitrata (Hu *et al.* 2015). Ta proces biološke oksidacije amonijaka ali amonija do nitrita, ki mu sledi oksidacija nitrita v nitrat, se imenuje **nitrifikacija** in večinoma poteka v biofiltru akvaponskih sistemov (Tabela 4). Nitrifikacija je aerobni postopek, ki ga izvajajo majhne skupine avtotrofnih bakterij in arhej, odkril pa jih je ruski mikrobiolog Sergei Winogradsky (1892).




Slika 5: Ravnovesje med amonijakom in amonijem kot funkcija različnih temperatur in pH (iz Jalamudin *et al.* 2018)

Tabela 3: Odstotek (%) neioniziranega amonijaka v vodni raztopini pri različnih vrednostih pH in temperaturah (prilagojeno po Francis-Floyd *et al.* 2009)

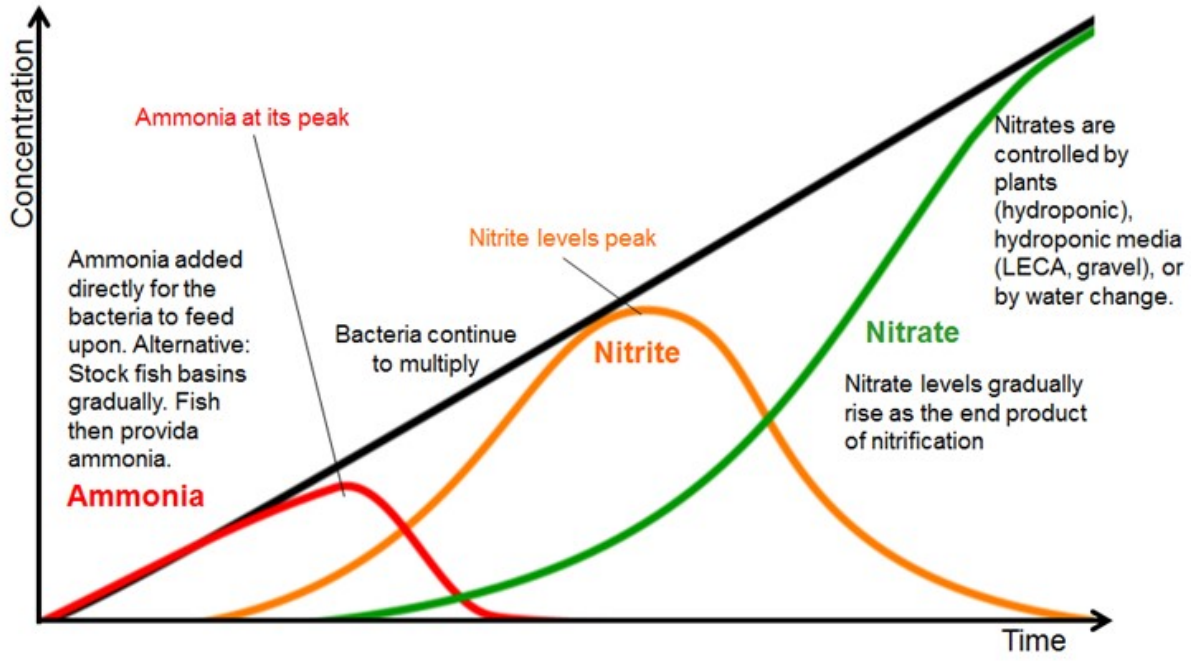
| | pH | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **T (°C)** | **7.0** | **7.2** | **7.4** | **7.6** | **7.8** | **8.0** | **8.2** | **8.4** | **8.6** | **8.8** | **9.0** | **9.2** | **9.4** | **9.6** | **9.8** | **10.0** | **10.2** |
| **6** | 0.13 | 0.21 | 0.34 | 0.53 | 0.84 | 1.33 | 2.10 | 3.28 | 5.10 | 7.85 | 11.90 | 17.63 | 25.33 | 34.96 | 46.00 | 57.45 | 68.15 |
| **8** | 0.16 | 0.25 | 0.40 | 0.63 | 0.99 | 1.56 | 2.45 | 3.83 | 5.93 | 9.09 | 13.68 | 20.08 | 28.47 | 38.68 | 50.00 | 61.31 | 71.52 |
| **10** | 0.18 | 0.29 | 0.46 | 0.73 | 1.16 | 1.82 | 2.86 | 4.45 | 6.88 | 10.48 | 15.65 | 22.73 | 31.80 | 42.49 | 53.94 | 64.98 | 74.63 |
| **12** | 0.22 | 0.34 | 0.54 | 0.86 | 1.35 | 2.12 | 3.32 | 5.17 | 7.95 | 12.04 | 17.82 | 25.58 | 35.26 | 46.33 | 57.78 | 68.44 | 77.46 |
| **14** | 0.25 | 0.40 | 0.63 | 1.00 | 1.57 | 2.47 | 3.85 | 5.97 | 9.14 | 13.76 | 20.18 | 28.61 | 38.84 | 50.16 | 61.47 | 71.66 | 80.03 |
| **16** | 0.29 | 0.46 | 0.73 | 1.16 | 1.82 | 2.86 | 4.45 | 6.88 | 10.48 | 15.66 | 22.73 | 31.80 | 42.49 | 53.94 | 64.99 | 74.63 | 82.34 |
| **18** | 0.34 | 0.54 | 0.85 | 1.34 | 2.11 | 3.30 | 5.14 | 7.90 | 11.97 | 17.73 | 25.46 | 35.12 | 46.18 | 57.62 | 68.31 | 77.35 | 84.41 |
| **20** | 0.39 | 0.62 | 0.98 | 1.55 | 2.44 | 3.81 | 5.90 | 9.04 | 13.61 | 19.98 | 28.39 | 38.55 | 49.85 | 61.17 | 71.40 | 79.83 | 86.25 |
| **22** | 0.46 | 0.72 | 1.14 | 1.79 | 2.81 | 4.38 | 6.76 | 10.31 | 15.41 | 22.41 | 31.40 | 42.04 | 53.48 | 64.56 | 74.28 | 82.07 | 87.88 |
| **24** | 0.52 | 0.83 | 1.31 | 2.06 | 3.22 | 5.02 | 7.72 | 11.71 | 17.37 | 25.00 | 34.56 | 45.57 | 57.02 | 67.77 | 76.92 | 84.08 | 89.33 |
| **26** | 0.60 | 0.96 | 1.50 | 2.36 | 3.70 | 5.74 | 8.80 | 13.26 | 19.50 | 27.74 | 37.83 | 49.09 | 60.45 | 70.78 | 79.33 | 85.88 | 90.60 |
| **28** | 0.69 | 1.10 | 1.73 | 2.71 | 4.23 | 6.54 | 9.98 | 14.95 | 21.78 | 30.68 | 41.16 | 52.58 | 63.73 | 73.58 | 81.53 | 87.49 | 91.73 |
| **30** | 0.80 | 1.26 | 1.98 | 3.10 | 4.82 | 7.43 | 11.29 | 16.78 | 24.22 | 33.62 | 44.53 | 55.99 | 66.85 | 76.17 | 83.51 | 88.92 | 92.71 |
| **32** | 0.93 | 1.50 | 2.36 | 3.69 | 5.72 | 8.77 | 13.22 | 19.48 | 27.68 | 37.76 | 49.02 | 60.38 | 70.72 | 79.29 | 85.85 | 90.58 | 93.89 |

**Opomba:** Za izračun količine prisotnega neioniziranega amonijaka je treba koncentracijo skupnega amonijevega dušika (TAN) pomnožiti z ustreznim faktorjem iz te tabele, upoštevajoč pH in temperaturo iz vzorca vode, deljeno s 100. Če je dobljena koncentracija večja kot 0,05 mg/L amonijak škoduje ribam.

Tabela 4: Kemijska enačba nitrifikacije. Nitrifikacija je običajno dvostopenjski postopek, ki ga izvaja skupina bakterij, imenovana nitrifikatorji

| **Enačba** | **Vključene bakterije** |
|---|---|
| $NH_4^+ + 1.5\ O_2 \rightarrow NO_2^- + 2\ H^+ + H_2O + energija$ | Amonijak oksidirajoče bakterije (AOB) |
| $NO_2^- + 0.5\ O_2 \rightarrow NO_3^- + energija$ | Nitrit oksidirajoče bakterije (NOB) |
| $NH_4^+ + 2.0\ O_2 \rightarrow NO_3^- + 2\ H^+ + H_2O + energija$ | Nitrifikatorji |

Preoblikovanje amonijaka v nitrit običajno zavira nitrifikacijo. To je zato, ker imajo AOB (bakterije iz rodu *Nitrosomonas*, *Nitrosospira*, *Nitrosovibrio sp*. itd.) in NOB (bakterije iz rodu *Nitrobacter*, *Nitrospira*, *Nitrococcus* itd.) različno rast, kar povzroča delno nitrifikacijo, zlasti med začetkom oz. obdobjem, ki vodi do kopičenja $NO_2^-$, in do popolne vzpostavitve nitrifikatorjev, kar lahko traja do štiri tedne (slika 6).




Slika 6: Vzpostavitev biofiltra (amonijak, nitrit in nitrat skozi čas)

**Denitrifikacija** (tabela 5) je pretvorba nitrata ($NO_3^-$) v nitrit ($NO_2^-$), dušikov oksid (NO), didušikov oksid ($N_2O$) in nazadnje v dušikov plin ($N_2$) v anoksičnih in anaerobnih pogojih (zelo nizka ali ničelna raven raztopljenega kisika). Denitrifikacijo omogočajo denitrifikatorji, ki spadajo v taksonomsko različne skupine arhej in fakultativnih heterotrofnih bakterij. Ker je $N_2O$ močnejši toplogredni plin kot $CO_2$, je treba njegovo proizvodnjo čim bolj zmanjšati (Zou *et al.* 2016) in hkrati povečati stopnjo vključitve N v rastlinsko biomaso.

Tabela 5: Kemijske enačbe reakcij denitrifikacije. Denitrifikacija na splošno poteka s kombinacijo polovičnih reakcij, pri čemer encim katalizira posamezno reakcijo.

| **Enačba** | **Encim, ki katalizira reakcijo** |
|---|---|
| $NO_3^- + 2\,H^+ + 2\,e^- \rightarrow NO_2^- + H_2O$ | Nitrat reduktaza |
| $NO_2^- + 2\,H^+ + \ e^- \rightarrow \ NO + \ H_2O$ | Nitrit reduktaza |
| $2\,NO + 2\,H^+ + \ 2\,e^- \rightarrow \ N_2O + \ H_2O$ | Dušikov oksid reduktaza |
| $N_2O + 2\,H^+ + \ 2\,e^- \rightarrow \ N_2 + \ H_2O$ | Didušikov oksid reduktaza |
| $2\,NO_3^- + 12\,H^+ + 10\,e^- \rightarrow N_2 + 6\,H_2O$ | Celoten postopek lahko izrazimo kot neto uravnoteženo redoks reakcijo |

**Anaerobna oksidacija amonija (angl. *anammox*)**. Bakterije, aktivne v tem procesu, so odkrili leta 1999 (Strous *et al.* 1999). Anaerobna oksidacija amonija bi lahko potekla tudi v akvaponskih sistemih, ker so lastnosti vode podobne tistim v sistemih ribogojstva, kjer ta proces poteka (Wongkiew *et al.* 2017). Vendar je hitrost 10-krat počasnejša kot pri nitrifikaciji. Nekateri pa poročajo, da anaerobna oksidacija amonija zmanjšuje dušik v različnih ekosistemih (Burgin & Hamilton 2007, Hu *et al.* 2010). Ker sta v akvaponskih sistemih amonijak in nitrit na voljo, lahko zaradi anaerobne oksidacije amonija v anoksičnih pogojih v biofiltru nastaja dušikov plin (Tabela 6).

Tabela 6: Kemijska enačba anaerobne oksidacije amonijaka

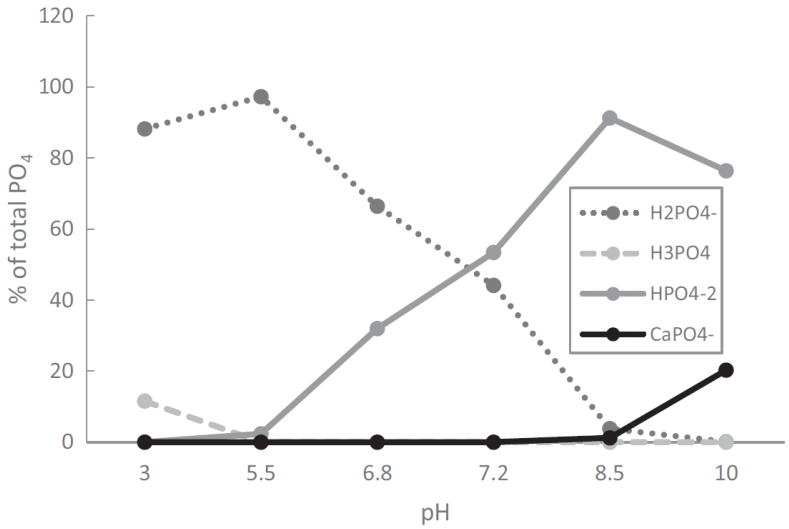
| **Enačba** | **Vključene bakterije** |
|---|---|
| $NH_4^+ + NO_2^- \rightarrow N_2 + 2\,H_2O + energija$ | Bakterije anaerobne oksidacije amonija |

### 5.2.2 Kroženje fosforja

Fosfor (P) je drugi najpomembnejši makroelement za rast rastlin. Potreben je v razmeroma velikih količinah pri celičnem dihanju in celični delitvi ter pri sintezi energijskih spojin. P vstopi v akvaponski sistem preko krme za ribe, vode iz pipe in dodatka gnojil (kadar je dodatek potreben). Kemijska oblika, v kateri se P nahaja v raztopini, je odvisna od pH. $pK_a$ (disociacijska konstanta kisline) za $H_3PO_4$ v $H_2PO_4^-$ in nato v $HPO_4^{2-}$ je 2,1 oz. 7,2 (Schachtman *et al.* 1998, citirano v da Silva Cerozi & Fitzsimmons 2016). Zato je v območju pH, ki ga vzdržujemo v akvaponskih sistemih, P večinoma prisoten kot $H_2PO_4^-$ in manj kot $H_3PO_4$ ali $HPO_4^{2-}$. Rastline lahko absorbirajo P le v obliki prostih ortofosfatnih ionov $H_2PO_4^-$ in $HPO_4^{2-}$. Eksperimentalne in simulacijske študije so pokazale, da se razpoložljivost P zmanjšuje s povečanjem vrednosti pH vode (slika 7).

Če se pH vode v akvaponskem sistemu zviša, se P veže na več kationov, zato je v raztopini manj prostih fosfatnih ionov ($PO_4$), je pa prisotnih več netopnih vrst kalcijevega fosfata, ki se oborijo iz raztopine. Ti netopni kompleksi se lahko kopičijo v ribjem blatu (Schneider *et al.* 2005), v usedlinah, perifitonu na stenah in v cevovodih akvaponskega sistema. Yogev *et al.* (2016) ocenjujejo, da lahko ta izguba znaša tudi do 85 %. Ena od možnosti za preprečitev izgube P z blatom je uvedba vmesne stopnje za razgradnjo blata. Med aerobno ali anaerobno razgradnjo se P sprosti in se ga lahko ponovno uvede v vodo, ki kroži v sistemu (Goddek *et al.* 2016, da Silva Cerozi & Fitzsimmons (2016).

To kaže tudi na pomen organskih snovi za ohranjanje prostih fosfatnih ionov v raztopini. Priporočljivo je, da se pH v akvaponskih sistemih vzdržuje v območju 5,5–7,2 za optimalno razpoložljivost in privzem rastlin.




Slika 7: Glavne oblike fosforja v raztopini akvaponskega sistema kot funkcija pH, simulirana v Visual MINTEQ. Vse vrste $PO_4$ niso prikazane v grafikonu (da Silva Cerozi & Fitzsimmons 2016)

Natančna dinamika fosforja v akvaponiki še vedno ni pojasnjena. Glavni vir vnosa fosforja v sistem je krma za ribe, vendar je v sistemih brez dodajanja fosforja omejena (Graber & Junge 2009; Seawright *et al.* 1998). To je tudi razlog, da je mogoče do 100 % fosforja, ki je prisoten v vodi, ponovno uporabiti v rastlinski biomasi, kar pa je odvisno od zasnove sistema (Graber & Junge 2009).

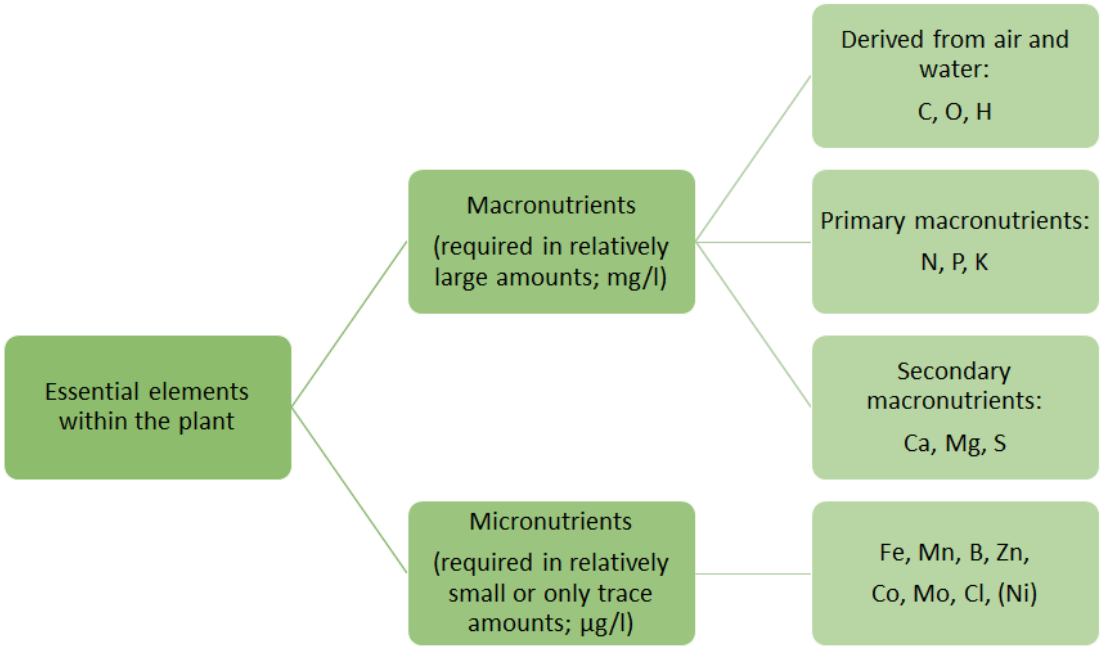
## 5.3 Prehrana rastlin

### 5.3.1 Nujno potrebni elementi

Rastline za dokončanje običajnega življenjskega kroga potrebujejo potrebujejo 16 (Resh 2013) oz. 17 (Bittszansky *et al.* 2016) hranilnih elementov. Število potrebnih hranil za posamezno rastlino je odvisno od količine hranil, potrebnih za zadovoljitev potreb rastline in od posamezne vrste rastlin ter vrste hranila. Ravni hranljivih snovi izven optimalnega območja povzročajo manjšo rast in slabše zdravje rastline, bodisi zaradi pomanjkanja, bodisi zaradi strupenosti.

Rastline običajno dobivajo vodo in minerale iz zemlje, v hidroponiki pa jih treba z vodo in minerali oskrbovati. V akvaponiki pa je treba upoštevati dejstvo, da voda v sistemu vsebuje zelo kompleksno mešanico organskih in anorganskih spojin, ki izvirajo iz ribjih iztrebkov in ribje krme.

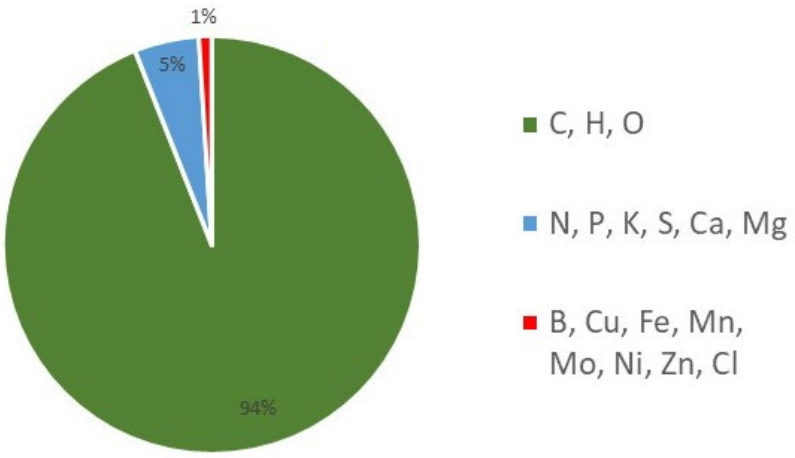
Obstajata dve glavni kategoriji elementov: makrohranila in mikrohranila (slika 8). Obe kategoriji sta pomembni, vendar sta v različnih količinah. Za šest makrohranil so potrebne večje količine v primerjavi z mikrohranili, ki so potrebni le v sledovih (Jones & Olson-Rutz 2016).




Slika 8: Razvrstitev hranil, ki so potrebni za rast rastlin

Makrohranila delimo v tri skupine. Izraza »primarni« in »sekundarni« (slika 8) se nanašata na količino in ne na funkcijo hranila. Pomanjkanje sekundarnih hranil je prav tako škodljivo za rast rastlin kot pomanjkanje katerega koli od treh primarnih hranil ali pomanjkanje mikrohranil.

Osnovno razumevanje delovanja vsakega hranila je pomembno, da se lahko oceni vpliv na rast rastlin (tabela 6). Podatek o potrebni količini določenega hranila omogoča vpogled v elementarno sestavo rastlinskega materiala (slika 9). V primeru pomanjkanja hranil je pomembno ugotoviti, katerega elementa v sistemu primanjkuje, da ga lahko ustrezno dodamo z gnojilom ali s povečanjem mineralizacije (glej tudi četrto in peto poglavje).




Slika 9: Delež hranil v posušenem rastlinskem materialu

Tabela 6: Esencialni elementi in njihova vloga v rastlinah (prilagojeno po Resh 2013)

| Element | Vloga |
|---|---|
| Ogljik (C) | Je glavni gradnik večine biomolekul, vključno z beljakovinami, škrobom in celulozo. Fotosinteza pretvori $CO_2$ iz zraka ali vode v ogljikove hidrate, ki se uporabljajo za shranjevanje in pretok energije v rastlini. |
| Vodik (H) | je sestavina vseh organskih spojin, ki so tudi sestavine ogljika. Skoraj v celoti se pridobi iz vode. Pri kationski izmenjavi je pomemben v odnosih med rastlino in zemljo. Ioni $H^+$ so potrebni za prenos elektronov pri fotosintezi in celičnem dihanju. |
| Kisik (O) | je sestavina mnogih organskih in anorganskih spojin v rastlinah. Le nekaj organskih spojin, kot je karoten, ne vsebuje O. Rastline ga lahko dobijo v več oblikah: $O_2$ in $CO_2$, $H_2O$, $NO_3^-$, $H_2PO_4^-$ in $SO_4^{2-}$. Prav tako sodeluje pri izmenjavi anionov med koreninami in zunanjim medijem. Rastline proizvajajo $O_2$ med fotosintezo, vendar nato zahtevajo, da se $O_2$ z aerobnim dihanjem razgradi v glukozo, pri čemer nastane ATP. |
| Dušik (N) | je del velikega števila organskih spojin, vključno z aminokislinami, proteini, koencimi, nukleinskimi kislinami in klorofilom. Velik pomen ima za fotosintezo, rast celic in presnovne procese. Običajno je raztopljeni N v obliki nitrata, vendar rastline lahko uporabijo tudi zmerne količine amonijaka in celo proste aminokisline. |
| Fosfor (P) | je del fosfolipidne hrbtenice nukleinskih kislin (npr. DNK) in adenozin trifosfata (ATP – molekula, ki shranjuje energijo v celicah) ter določenih koencimov. Velik pomen ima za fotosintezo ter tvorbo olj in sladkorjev. Spodbuja kalitev in razvoj korenin v sadikah. Ker mlada tkiva potrebujejo več energije, je ta proces še posebej pomemben za mladike. |
| Kalij (K) | deluje kot koencim ali aktivator za številne encime. Za sintezo beljakovin so potrebne visoke ravni kalija. Uporablja se za celično signalizacijo prek nadzorovanega pretoka ionov skozi membrane. Nadzoruje tudi odpiranje listnih rež ter sodeluje pri razvoju cvetov in plodov, pri proizvodnji in prenosu sladkorjev, vnosu vode, odpornosti na bolezni in zorenju plodov. Ne tvori stabilnega strukturnega dela nobenih molekul v rastlinskih celicah. |
| Kalcij (Ca) | najdemo v celičnih stenah kot kalcijev pektat, ki utrjuje primarne stene sosednjih celic. Sodeluje pri krepitvi stebel in prispeva k razvoju korenin. Potreben je za vzdrževanje celovitosti membrane in je del encima α-amilaza. Useda se v kristalih kalcijevega oksalata v vakuolah. Včasih preprečuje magneziju aktivirati encime. |
| Magnezij (Mg) | je bistveni del molekule klorofila. Brez Mg klorofil ne more zajeti sončne energije, potrebne za fotosintezo. Potreben je tudi za aktiviranje številnih encimov, pomembnih za rast. Velik pomen ima za ohranjanje strukture ribosoma in tako prispeva k sintezi beljakovin. |
| Žveplo (S) | je vključeno v več organskih spojin, vključno z aminokislinami (metionin in cistein) in beljakovinami (npr. fotosintezni encimi). Koencim A ter vitamina tiamin in biotin vsebujeta tudi žveplo. |
| Bor (B) | je eno izmed manj raziskanih hranil. Skupaj s Ca je soudeležen pri sintezi celične stene in ima velik pomen za delitev celic. Poveča hitrost prenosa sladkorjev iz zrelih rastlinskih listov do rastočih regij (rastišče, korenine, koreninski vozliči v stročnicah) in do razvijajočih se plodov. Potrebe po boru se v fazi reproduktivne rasti povečajo, saj bor pomaga pri opraševanju ter razvoju plodov in semen. Druge funkcije vključujejo metabolizem N, tvorbo nekaterih beljakovin, uravnavanje ravni hormonov in prenos K do listnih rež (kar pomaga uravnavati notranje vodno ravnovesje). |

Nadaljevanje Tabele 6

| Element | Vloga |
|---|---|
| Klor (Cl) | je mikrohranilo; lahko pa rastline absorbirajo toliko Cl kot sekundarnih elementov, npr. S. Cl je pomemben pri odpiranju in zapiranju listnih rež. Potreben je za fotosintezo, kjer deluje kot encimski aktivator med proizvodnjo kisika iz vode. Deluje v kationski uravnoteženosti in pri prenosu znotraj rastline ter sodeluje pri odpornosti. Cl tekmuje z vnosom nitratov, kar omogoča absorpcijo amonijevega dušika. Zmanjšanje vnosa nitratov vpliva na vlogo Cl pri preprečevanju razvoja bolezni, saj so visoke vrednosti rastlinskih nitratov povezane z resnostjo bolezni. |
| Baker (Cu) | aktivira nekatere encime, ki sodelujejo v sintezi lignina, in ima velik pomen v več encimskih sistemih. Potreben je tudi pri fotosintezi, dihanju rastlin in pomaga pri rastlinski presnovi ogljikovih hidratov in beljakovin. Cu služi tudi za intenzivnejši okus ter barvo zelenjave in rož. |
| Železo (Fe) | je potrebno za sintezo klorofila in nekaterih drugih pigmentov ter je nujen del feredoksinov. Feredoksini so majhni proteini, ki vsebujejo atome Fe in S, ki delujejo kot prenašalci elektronov pri fotosintezi in dihanju. Fe je tudi del nitratne reduktaze in aktivira nekatere druge encime. |
| Mangan (Mn) | aktivira enega ali več encimov pri sintezi maščobnih kislin, encimov, odgovornih za tvorbo DNK in RNK, ter encimov, ki sodelujejo pri dihanju. Neposredno sodeluje pri fotosintezni proizvodnji $O_2$ iz $H_2O$ in sodeluje pri tvorbi kloroplasta, asimilaciji dušika in sintezi nekaterih encimov. Vpliva na kalitev cvetnega prahu, rast cvetnega prahu, raztezek koreninskih celic in odpornost proti koreninskim patogenom. |
| Molibden (Mo) | deluje kot nosilec elektronov pri pretvorbi nitrata v amonij, preden je uporabljen za sintezo aminokislin v rastlini. Velik pomen ima za fiksacijo dušika. Znotraj rastline se Mo uporablja za pretvorbo anorganskega fosforja v njegove organske oblike. |
| Nikelj (Ni) | je kovinski kofaktor ureaznih encimov, saj so brez njega neaktivni (Polacco *et al.,* 2013). Ureaze so prisotne v bakterijah, glivah, algah in rastlinah. Ne najdemo jih pri ribah in drugih živalih. Encimi ureaze so odgovorni za katabolično razstrupljanje sečnine, ki jo lahko izločajo ribe in deluje fitotoksično. |
| Cink (Zn) | aktivira vrsto encimov, ki so odgovorni za sintezo nekaterih beljakovin, vključno z nekaterimi pomembnimi encimi, kot so alkohol dehidrogenaza, mlečna kislina dehidrogenaza itd. Pomemben je pri tvorbi klorofila in nekaterih ogljikovih hidratov ter pri pretvorbi škroba v sladkorje. Njegova prisotnost v rastlinskem tkivu pomaga rastlini, da prenese hladne temperature. Zn je potreben za tvorbo avksinov; to so hormoni za uravnavanje rasti in raztezanje stebel. |

### 5.3.2 Razpoložljivost hranil in pH

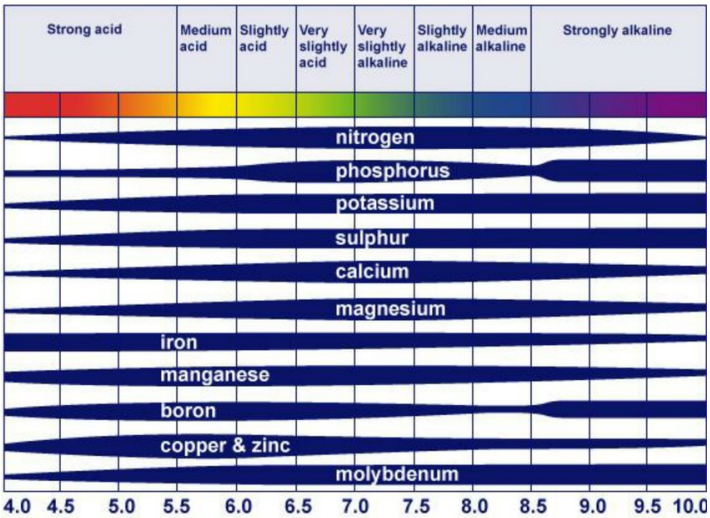
Hranila so v obliki kompleksov (netopnih spojin) in v preprostih oblikah, ki so običajno topne v vodi in rastlinam zlahka dostopne. Netopne spojine je treba razgraditi do razpoložljivih oblik, da so lahko za rastlino koristne. Razpoložljive oblike so povzete v tabeli 7.

Tabela 7: Absorbirana hranila in približne koncentracije v suhem rastlinskem tkivu

(prilagojeno po Jones & Olson-Rutz 2016)

| Element | Absorbirana oblika | Koncentracije v suhem rastlinskem tkivu (%) |
|---|---|---|
| Dušik (N) | $NO_3^-$ (nitrat)/$NH_4^+$ (amonij) | 1–5 |
| Fosfor (P) | $H_2PO_4^-$, $HPO_4^{2-}$ (fosfat) | 0,1–0,5 |
| Kalij (K) | $K^+$ | 0,5–0,8 |
| Kalcij (Ca) | $Ca^{2+}$ | 0,2–1,0 |
| Magnezij (Mg) | $Mg^{2+}$ | 0,1–0,4 |
| Žveplo (S) | $SO_4^{2-}$ (sulfat) | 0,1–0,4 |
| Bor (B) | $H_3BO_3$ (borova kislina)/$H_2BO_3^-$ (borat) | 0,0006–0,006 |
| Klor (Cl) | $Cl^-$ (klorid) | 0,1–1,0 |
| Baker (Cu) | $Cu^{2+}$ | 0,0005–0,002 |
| Železo (Fe) | $Fe^{2+}$, $Fe^{3+}$ | 0,005–0,025 |
| Mangan (Mn) | $Mn^{2+}$ | 0,002–0,02 |
| Molibden (Mo) | $MoO_4^{2-}$ (molibdat) | 0,000005–0,00002 |
| Nikelj (Ni) | $Ni^{2+}$ | 0,00001–0,0001 |
| Cink (Zn) | $Zn^{2+}$ | 0,0025–0,015 |

pH raztopine določa razpoložljivost različnih elementov v rastlini (slika 10). Vrednost pH je merilo kislosti ali alkalnosti. Raztopina je kisla, če je pH nižji od 7, nevtralna, če je pH enak 7, in alkalna, če je pH nad 7. Ker je pH logaritmična funkcija, sprememba pH na enoto pomeni 10-kratno spremembo koncentracije $H^+$. Vsaka majhna sprememba pH lahko zato močno vpliva na razpoložljivost ionov, ki jih rastline absorbirajo. Večina rastlin za optimalen vnos hranil potrebuje pH med 6 in 7.




Slika 10: Vpliv pH na razpoložljivost hranil v rastlini (Roques *et al.* 2013)

### 5.3.3 Motnje v presnovi hranil v rastlinah

Motnje povzroči bodisi presežek bodisi primanjkljaj določenega hranila (Resh 2013). Pomembno je, da motnjo čim prej odkrijemo in tako preprečimo nadaljnje širjenje posledic in morebitno smrt rastline. Vendar natančno določanje motenj prevzema ali presnove hranilnih snovi ni enostavna, saj imajo številne motnje prekrivajoče se znake, obenem pa nekatere bolezni rastlin lahko povzročijo podobne znake. Edini način ugotavljanja znakov, je pridobivanje znanja s prakso: opazovanje rastlin, upoštevanje različnih znakov in njihovo povezovanje z rezultati analize vode. Začetnik naj se vedno posvetuje s strokovnjakom.

En vidik diagnoze je razlikovanje med **mobilnimi (Mg, P, K, Zn, N)** in **nemobilnimi elementi (Ca, Fe, S, B, Cu, Mn)**. Vsa hranila se dokaj enostavno premikajo od korenine do rastočega dela rastline skozi ksilem. Vendar pa se mobilni elementi ob njihovem pomanjkanju od starejših listov preusmerijo v aktivno rastoče območje rastline (mlajši listi), zato se znaki pomanjkanja elementov najprej pojavijo na starejših listih. Nasprotno pa nemobilnih elementov, ko so enkrat vgrajeni v različne strukture, ni mogoče sprostiti iz teh struktur in jih ponovno prenašati po rastlini. Znaki pomanjkanja elementov se najprej pojavijo na zgornjih mladih listih rastline. Drugi vidiki določanja in njihova terminologija so povzeti v tabeli 8, opisi znakov pomanjkanja in presežka bistvenih elementov pa so v tabeli 9.

Tabela 8: Terminološki opisi motenj (prilagojeno po Resh 2013)

| Izraz / termin | Opis |
|---|---|
| Splošno, vsepovsod prisotno | Simptomi se širijo po celotni rastlini ali listu. |
| Lokalizirano | Znaki so omejeni na eno območje rastline ali lista. |
| Posušeno | Nekroza – ožgan, suh, papirnat videz. |
| Obrobno | Kloroza ali nekroza – na robovih listov; običajno se širi navznoter, ko znak napreduje. |
| Medžilna kloroza | Kloroza (porumenelost) med žilami listov. |
| Lisasto | Nepravilno pikčasti vzorci nejasne svetlobe (kloroza) in temnih področij; pogosto povezana z virusnimi boleznimi. |
| Pikasto | Obarvano območje z izrazitimi mejami, ki mejijo na normalno tkivo. |
| Obarvanost listov na spodnji strani | Pogosto se na spodnji površini listov pojavi določena obarvanost, npr. pomanjkanje fosforja – vijolično obarvanje spodnjih listov. |
| Upognjenost | Robovi ali konci listov se lahko skodrajo ali upognejo navzgor ali navzdol. |
| Karirasti (mrežasti) | Del majhnih žil v listih ostane zelenih, medtem ko medžilno tkivo porumeni – pomanjkanje mangana. |
| Krhkost tkiva | Listi, peclji in stebla lahko nimajo prožnosti in se ob dotiku zlahka odcepijo – pomanjkanje kalcija ali bora. |
| Mehko tkivo | Listi so zelo mehki, zlahka poškodovani – presežek dušika. |
| Propad | Listi ali rastne točke hitro odmrejo in se izsušijo – pomanjkanje bora ali kalcija. |
| Zaostajanje v rasti | Rastlina je nižja od običajne. |
| Stanjšano | Rast zelo tankih stebelnih in listnih pecljev. |

Tabela 9: Znaki pomanjkanja in strupenosti bistvenih elementov (prilagojeno po Resh 2013)

| Element | Znaki pomanjkanja | Strupenost |
|---|---|---|
| Dušik (N) | Zmanjšanje beljakovin vpliva na zastoj v rasti in mirovanje stranske brsti. Stebla, peclji in spodnje listne površine koruze in paradižnika se lahko obarvajo vijolično. Vsebnost klorofila v listih se zmanjša, Zato zlasti starejši listi postanejo bledorumeni. Vsebnost cvetenja, sadja, beljakovin in škroba se zmanjša. | Rastline so ponavadi temnozelene barve z bujnim listjem, običajno pa z omejenim koreninskim sistemom.<br>Lahko povzroči težave pri razvoju cvetov in plodov. |
| Fosfor (P) | Slab razvoj korenin, zastoj rasti. Pordelost listov.<br>Temnozeleni listi (lahko jih zamenjamo s prekomerno oskrbo z N, ker vodi tudi do temnejših zelenih listov).<br>Kasnejša zrelost. Tudi konice rastlinskih listov se lahko zdijo požgane. Znaki pomanjkanja se pojavijo najprej pri zrelih listih. | Primarnih znakov še ni opaziti. Ob presežku P lahko včasih primanjkuje Cu in Zn. |
| Kalij (K) | Pomanjkanje bo povzročilo manjši vnos vode in poslabšalo odpornost proti boleznim. Znaki so najprej vidni na starejših listih. Robovi listov se ukrivijo navznoter. V dvokaličnicah so ti listi sprva klorotični, kmalu pa se razvijejo razpršena zgorela mesta (mrtva območja). Pri enokaličnicah najprej uvenijo konice in robovi listov. | Običajno jih rastline ne absorbirajo pretirano.<br>Zaradi presežka K lahko primanjkuje Mg in tudi Mn, Zn ali Fe. |
| Kalcij (Ca) | Znaki so izgorevanje konic na listnatih rastlinah in koreninah, gniloba na sadnih rastlinah in nepravilna rast paradižnika. Pred starimi listi so prizadeti mladi listi. | Brez vidnih znakov. |
| Magnezij (Mg) | Brez zadostnih količin Mg rastline začnejo razgrajati klorofil v starih listih. To povzroča medžilno klorozo, glavni znak pomanjkanja Mg. Kasneje se lahko v klorotičnem tkivu pojavijo nekrotične lise. Rast je upočasnjena. | Ni informacij |
| Žveplo (S) | Ni pogosto. Pomanjkanje S lahko zlahka zamenjamo s pomanjkanjem N. Znaki, kot sta zapoznela in zaostala rast, so podobni. Splošna kloroza pa se najprej pojavi na mlajših listih, medtem ko so znaki pomanjkanja N najprej vidni na starejših listih. | Upočasnitev rasti in velikosti listov. Včasih je medžilno porumenelo ali listje zažgano. |
| Bor (B) | Znaki se razlikujejo glede na vrsto rastline; najprej se pojavijo na novih listih in rastiščih (ki pogosto odmrejo). Veje in korenine so pogosto kratke in otekle. Listi kažejo pikčasto klorozo, zgostitev, krhkost, zvijanje, venenje. Notranja tkiva se včasih razgradijo ali razbarvajo. Ker B pomaga pri prenosu sladkorja, njegovo pomanjkanje zmanjša izcedka in sladkorja iz rastlinskih korenin, kar lahko zmanjša dostop in kolonizacijo mikoriznih gliv. | Rumenenju listnih konic sledi progresivna nekroza, ki se začne na robu lista in napreduje proti sredini. Za razliko od večine oblik pomanjkanja hranil, ki ponavadi kažejo znake enakomerno na celotnem posevku, se lahko znaki B pojavljajo naključno (Mattson & Krug 2015). |

Nadaljevanje Tabele 9

| Element | Pomanjkanje | Strupenost |
|---|---|---|
| Klor (Cl) | Venenje listov. Listne pege in listne bilke, konica lista vene s klorozo in nekrozo. Rast korenin se upočasni in konci korenin postanejo odebeljeni. Pomanjkanje Cl v zelju je znak odsotnosti značilnega vonja po zelju. | Prekomerni Cl je lahko glavni sestavni del slanega stresa in je strupen za rastline (Chen et al. 2019). Znaki so ožgani robovi listov, broniranje, porumenelost, prekomerna abscizijo, manjši listi, nižja rast. Kopičenje Cl je večje v starejših tkivih. |
| Baker (Cu) | Naravno pomanjkanje je redko. Značilno je, da se znaki začnejo v mladih listih z majhnimi nekrotičnimi lisami ob robu. Ko znaki napredujejo, so najnovejši listi manjši, brez sijaja in se lahko izsušijo. Točke rasti (apikalni meristemi) lahko postanejo nekrotične in rastline odmrejo. Rastline imajo navadno kompakten videz, saj se dolžina stebla med listi skrajša. Presežek K, P ali drugih mikrohranil lahko posredno povzroči pomanjkanje Cu. | Upočasnjeni rasti sledijo znaki železove kloroze, kaskade, zmanjšano razvejanje, zgostitev in nenormalna potemnitev korenin. |
| Železo (Fe) | Izrazita medžilna kloroza. Podobno kot pri pomanjkanju Mg. Tudi tu se kloroza začne na konicah mlajših listov in se nadaljuje do starejših listov. Drugi znaki, ki so vedno povezani s klorozo listov, so slabša rast in odpadanje listov. | V naravnih razmerah po navadi ni razvidna. Opažena je bila po nanašanju razpršil, kjer so zaznali lise, ki so podobne nekrotičnim. |
| Mangan (Mn) | Listi porumenijo in pojavi se medžilna kloroza, najprej na mladih listih. Kasneje se lahko razvijejo nekrotične lezije in listi odpadejo. Deorganizacija kloroplasta. Mn ni na voljo rastlinam, kjer je pH visok, zato se pogosto pojavlja skupaj s pomanjkanjem Fe in ima tudi podobne znake. Znaki pomanjkanja Mn so podobni tudi pomanjkanju Mg, ker Mn sodeluje tudi pri fotosintezi. | Včasih pride do kloroze in neenakomerne porazdelitve klorofila. Rast je upočasnjena. |
| Molibden (Mo) | Ker je Mo tesno povezan z N, lahko njegovo pomanjkanje zlahka spominja na pomanjkanje N.<br>Znaki pomanjkanja se začnejo na starejših ali srednjih listih: medžilna kloroza, pri nekaterih posevkih ves list porjavi; mejna nekroza listov ali uvlek.<br>Listi se lahko zlomijo. Rastline, ki so najobčutljivejše za pomanjkanje Mo, so križniki (brokoli, cvetača, zelje), stročnice (fižol, grah, detelje), božična zvezda in primula. | Redko opažena. Listi paradižnika postanejo zlatorumeni. |

Nadaljevanje Tabele 9

| Element | Pomanjkanje | Strupenost |
|---|---|---|
| Nikelj (Ni) | Ni je del encimov, ki razstrupljajo sečnino. Čeprav je sečnina odličen vir N za rastline (Yang *et al.* 2015), je v višjih koncentracijah močno strupena za rastlinska tkiva. Tipična znaka sečnine in tudi pomanjkanje Ni sta opeklina listov in kloroza (Khemira *et al.* 2000). | Ni je v večji koncentraciji fitotoksičen. Izzove spremembo aktivnosti antioksidativnih encimov ter negativno vpliva na fotosintezo in dihanje.<br>Presežek Ni povzroča klorozo, nekrozo in venenje. Delitev celic in rast rastlin sta upočasnjena.<br>Visok vnos Ni zmanjša vsebnost vode, kar je lahko pokazatelj strupenosti Ni v rastlinah (Bhalerao *et al.* 2015). |
| Cink (Zn) | Prekomerna rast s skrajšanimi stebli in manjšimi listi.<br>Robovi listov so pogosto izkrivljeni ali okorni. Včasih se pojavi medžilna kloroza. | Prekomerni Zn v rastlinah običajno povzroči klorozo železa. |

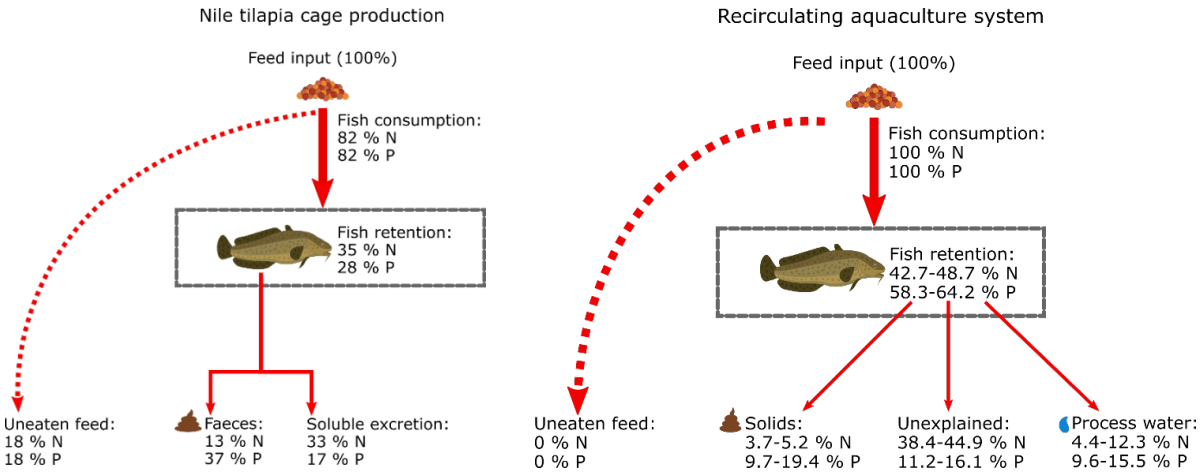
## 5.4 Oskrba s hranili v akvaponiki

Kemična sestava vode v akvaponskem sistemu je zelo zapletena. Poleg velikega števila raztopljenih ionov vsebuje organske snovi, ki nastanejo pri sproščanju produktov, ki so rezultat presnavljanja rib ter snovi, ki jih izločajo rastline. Te snovi so večinoma neznane, njihovo medsebojno delovanje pa lahko dodatno vpliva na kemično sestavo in pH vode. Vse to ima lahko številne, vendar večinoma še neznane učinke na absorpcijo hranil pri rastlinah, na zdravje rib in delovanje mikrobov.

Hranila vstopijo v akvaponski sistem z dodano vodo in krm za ribe (Schmautz *et al.* 2016). Krma za ribe glede na njeno sestavo vsebuje približno 7,5 % dušika, 1,3 % fosforja in 46 % ogljika (Schmautz, neobjavljeni podatki). Kar zadeva organske spojine, krma za ribe vsebuje beljakovine (ribja moka ali rastlinska krma), maščobe (ribje olje, rastlinska olja) in ogljikove hidrate (Boyd 2015). Rastlinojede ribe (kot je tilapija) v svoji krmi potrebujejo le okoli 25 % beljakovin v primerjavi z mesojedimi ribami, ki potrebujejo približno 55 % beljakovin (Boyd 2015). Tako ribja moka kot soja sta netrajnostni (iz različnih razlogov), zato proizvajalci pospešeno raziskujejo primerne nadomestke za ribjo moko in rastlinsko krmo (Boyd 2015; Davidson *et al.* 2013; Tacon & Metian 2008).

Če je razmerje krmljenja pravilno izračunano, ribe pojedo vso krmo, ki je bila dodana v sistem, in po presnovi izločijo se le tisti del, kar se ne porabi za rast in presnovo (slika 11). Delež izločenih hranil je odvisen tudi od kakovosti in prebavljivosti krme (Buzby & Lin 2014). Prebavljivost krme, velikost iztrebkov in usedalnik so zelo pomembni za delovanje sistema (Yavuzcan Yildiz *et al.* 2017). Hranilna sestava vode v akvaponskem sistemu je zelo zapletena in je odvisna od kakovosti dodane vode, dodane ribje krme in vseh presnovnih reakcij v sistemu, zato vedno ne ustreza potrebam rastlin.

Kljub temu mora biti dobrobit rib ključna skrb, kar pomeni prilagojeno izbiro ribje krme razvojni stopnji rib. Z razpoložljivostjo hranil, ki jih rastline lahko absorbirajo, se ukvarjamo na drugi stopnji.




Slika 11: Pretok dušika in fosforja (v %) za (a) proizvodnjo tilapije v kletkah (po Montanhini Neto & Ostrensky 2015) in (b) proizvodnjo v RAS (podatki iz Strauch *et al.* 2018)

Podatki v tabeli 10 kažejo, da je večina rastlinskih hranilnih snovi, zlasti P in Fe, v modelnem akvaponskem sistemu prisotna v precej nižjih koncentracijah kot v standardnih hidroponskih raztopinah. Zdi se, da je to stanje značilno za akvaponske sisteme, čeprav je rast rastlin v večini primerov zadovoljiva (Schmautz, neobjavljeni podatki).

Žal je razlaga teh podatkov zapletena. Razlog je tudi nedavna opustitev v prehrani rastlin skoraj dva stoletja starega Liebigovem zakonu, ki razlaga, da rast rastlin nadzira vir, ki ga je najmanj. Omenjeni zakon so nadomestili zapletenimi matematični modeli, ki upoštevajo medsebojne vplive med posameznimi hranilnimi elementi, spojinami in ioni (Baxter 2015). Ta metoda ne omogoča preproste ocene učinkov sprememb vsebnosti hranil v hidroponskem ali akvaponskem sistemu. Upoštevati moramo tudi, da univerzalna določitev potreb za določeno rastlino ne obstaja. Potrebe po hranilih se razlikujejo glede na vrsto, fazo življenjskega kroga, čas sončnega sevanja in vremenske razmere (Bittszansky *et al.* 2016; Resh 2013; Sonneveld & Voogt 2009).

Na splošno bi za dobro rast rastlin v **hidroponiki** morala koncentracija dušika ostati nad 165 mg/L, fosforja nad 50 mg/L in kalija nad 210 mg/L (Resh 2013). V akvaponiki je tako visoke koncentracije težko doseči zaradi treh razlogov.

1. Višje ko so koncentracije v vodi, večje so izgube hranil zaradi izmenjave z vodo ali blatom. Tudi v zaprtih sistemih je potrebna določena raven izmenjave vode, da se nadomestijo izgube evapotranspiracije in zmanjša kopičenje neželenih komponent.
2. Z zvišano koncentracijo hranilnih snovi v vodi se v sistemu naberejo tudi komponente, kot so sol ali toksini.
3. Fosfor reagira s kalcijem, če je ta prisoten v višjih koncentracijah in se obori kot kalcijev fosfat.

Pri vzgajanju rastlin, ki rastejo v hidroponskem delu akvaponskega sistema, moramo upoštevati lastnosti posamezne vrste rastlin in stopnje rasti (Resh 2013). Hranila lahko dopolnjujemo bodisi z njihovim dodajanjem neposredno v vodo (Schmautz *et al.* 2016) bodisi s foliarno aplikacijo (Roosta & Hamidpour 2011).

Ponavadi pri ustrezni gostoti rib raven **dušika (N kot nitrata)** zadostuje za dobro rast rastlin, medtem ko ravni drugih hranil, predvsem **železa (Fe)**, **fosforja (P)**, **kalija (K)** in **magnezija (Mg)**, na splošno ne zadostujejo za optimalno rast rastlin. Kot je razvidno iz tabele 10, bi lahko tudi druga mikrohranila predstavljala omejitve. V akvaponiki je še posebej pomembno spremljanje vrednosti pH, saj se lahko pri pH nad 7 več hranljivih snovi (glej Sliko 10) obori iz vode in tako rastlinam postanejo nedosegljive.

Tabela 10: Primerjava koncentracij hranil v standardni hidroponski raztopini in v vodi iz zaprtega akvaponskega sistema (Schmautz, neobjavljeni podatki)

| | | **Koncentracija [mg/l]** | | |
|---|---|---|---|---|
| | | **Akvaponika** (Schmautz, neobjavljeno) | **Hidroponika** (optimizirano za solato, Resh 2013) | **Koncentracijsko razmerje** (hidroponika/akvaponika) |
| **Makrohranila** | | | | |
| N | (kot $NO_3^-$) | 147 | 165 | 1,1 |
| N | (kot $NH_4^+$) | 2,8 | 15 | 5,4 |
| P | (kot $PO_4^{3-}$) | 5,1 | 50 | 10 |
| K | (kot $K^+$) | 84 | 210 | 2,5 |
| Mg | (kot $Mg^{2+}$) | 18 | 45 | 2,5 |
| Ca | (kot $Ca^{2+}$) | 180 | 190 | 1,1 |
| S | (kot $SO_4^{2-}$) | 21 | 65 | 3,1 |
| **Mikrohranila** | | | | |
| Fe | (kot $Fe^{2+}$) | 0,2 | 4 | 20 |
| Zn | ($Zn^{2+}$) | 0,2 | 0,1 | 0,5 |
| B | (kot $B[OH_4]^-$) | 0,1 | 0,5 | 5 |
| Mn | (kot $Mn^{2+}$) | 1,4 | 0,5 | 0,4 |
| Cu | (kot $Cu^{2+}$) | 0,1 | 0,1 | 1 |
| Mo | (kot $MoO_4^{2-}$) | 0,002 | 0,05 | 25 |

**Kalija (K)** ribe ne potrebujejo, zato ga je v ribji krmi malo in posledično še manj za rastline v akvaponskem sistemu (Seawright *et al.* 1998). Za oskrbo s kalijem se pogosto uporablja KOH kot pufer za pH, saj se vrednosti pH v akvaponiki pogosto znižajo zaradi nitrifikacije (Graber & Junge 2009). Tako zvišamo koncentracijo kalija, čeprav je lahko strupen za ribe. Vrednost $LC_{50}$ za akutno

toksičnost pri ribah znaša 80 mg/L. V akvaponskih sistemih, zasajenih s paradižnikom, se je kalij kopičil predvsem v plodovih (Schmautz *et al.* 2016).

**Železo (Fe)** je pogosto omejevalni dejavnik v akvaponiki, zato ga lahko dodajamo preventivno, preden pomanjkanje postane očitno. Visoke koncentracije železa ne škodujejo akvaponskemu sistemu, čeprav lahko železa obarva vodo v svetlo rdečo. Da bi rastline enostavneje absorbirale Fe, ga je treba dodati v kelatni obliki. Obstajajo različne vrste železa v kelatni obliki: Fe-EDTA, Fe-DTPA in Fe-EDDHA. Železo lahko dodamo v vodo akvaponskega sistema (npr. 2 mg/L enkrat na dva tedna) ali ga poškropimo neposredno na liste (nanašanje na liste: 0,5 g/L) (Roosta & Hamidpour 2011).

Glavni vir **kalcija (Ca)**, **magnezija (Mg)** in **žvepla (S)** je voda iz vodovoda, kar rastlinam olajša absorpcijo, saj so hranila takoj na voljo (Delaide *et al.* 2017). Kljub temu so ti elementi v akvaponskih sistemih pogosto v nizkih koncentracijah (Graber & Junge 2009; Seawright *et al.* 1998, Schmautz, neobjavljeni podatki). Še posebej **Ca** je pogosto omejujoč dejavnik, saj ga rastlina lahko absorbira le z aktivno transpiracijo ksilema. Kadar je okolje preveč vlažno, je kalcij na voljo, vendar ga rastline, kadar ne cvetijo, ne absorbirajo. Pospešeno kroženja zraka z zračniki ali ventilatorji lahko odpravi to težavo. V nasprotnem primeru je treba dodajati kalcijev karbonat ($CaCO_3$) ali kalcijev hidroksid ($Ca(OH)_2$).

**Cink (Zn)** je tudi del procesa galvanizacije nekaterih kovinskih delov, ki jih uporabimo pri izdelavi akvaponskega sistema (bazeni za ribe, vijaki itd.), najdemo ga tudi v ribjih iztrebkih. Čeprav je pomanjkanje cinka redko, lahko strupenost cinka predstavlja težavo, ker medtem ko rastline lahko obvladujejo presežek, ga ribe ne morejo. Koncentracija cinka mora biti med 0,03 in 0,05 mg/L. Večina rib bo v stresu pri 0,1 do 1 mg/L. Pogin rib se začne s koncentracijo od 4 do 8 mg/L. Najboljši način za ohranjanje koncentracije cinka v neškodljivem območju je izogibanje galvanizirani opremi (Storey 2018). Kljub temu pa lahko v nekaterih sistemih pride do pomanjkanja cinka, kar je mogoče omiliti s foliarno uporabo cinka v kelatni obliki (Treadwell *et al.* 2010).

Vprašanje je, ali je v akvaponske sisteme treba oz. sploh učinkovito dodajati hranila (Nozzi *et al.* 2018). Če je v sistemu dovolj rib in je pH ustrezen, ni treba dodajati hranil za rastline s kratkim življenjskim krogom brez plodov (npr. listnata zelenjava, kot je solata, Nozzi *et al.* 2018). Nasprotno pa zelenjava, ki obrodi plodove (npr. paradižnik, jajčevec), zahteva dodatek hranil. Količino potrebnih mineralnih gnojil lahko izračunamo s programom HydroBuddy (Fernandez 2016). Poleg naših izkušenj z dodajanjem mineralnih hranil bi bilo treba v prihodnosti preizkusiti komercialno dostopna organska hidroponska gnojila, da bi lahko opredelili, katera ne škodujejo ribam. Pred kratkim je bilo predlagano, da se z obdelavo ribjih iztrebkov in ponovnim vnosom v sistem poveča oskrba rastlin s hranilnimi snovmi (Goddek *et al.* 2016). Druga možna korist oskrbe akvaponskega sistema z organskimi (namesto mineralnimi) hranili je, da lahko hranila pozitivno vplivajo tudi na mikrobno populacijo.

## 5.5 Literatura

Baxter, I. 2015. Should we treat the ionome as a combination of individual elements, or should we be deriving novel combined traits? *Journal of Experimental Botany* 66 (8), 2127-2131.

Bhalerao, S.A., Sharma, A.S. & Poojari, A.C. 2015. Toxicity of nickel in plants. *International Journal of Pure and Applied Bioscience* 3 (2), 345-355.

Bittsanszky, A., Uzinger, N., Gyulai, G., Mathis, A., Junge, R., Villarroel, M., Kotzen B. & Kőmíves, T. 2016. Nutrient supply of plants in aquaponic systems. *Ecocycles* 2 (2), 17-20.

Boyd, C.E. 2015. Overview of aquaculture feeds: Global impacts of ingredient use. In D.A. Davis (ed.) *Feed and Feeding Practices in Aquaculture*, pp. 3-25. Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition, Sawston.

Bryson, B. 2003. *A Short History of Nearly Everything.* Doubleday, London.

Burgin, A.J. & Hamilton, S.K. 2007. Have we overemphasized the role of denitrification in aquatic ecosystems? A review of nitrate removal pathways. *Frontiers in Ecology and the Environment* 5 (2), 89-96.

Buzby, K.M. & Lin, L.S. 2014. Scaling aquaponic systems: Balancing plant uptake with fish output. *Aquacultural Engineering* 63, 39-44.

Chen, W., He, Z.L., Yang, X.E., Mishra, S. & Stoffella, P.J. 2010. Chlorine nutrition of higher plants: progress and perspectives. *Journal of Plant Nutrition* 33 (7), 943-952.

da Silva Cerozi, B. & Fitzsimmons, K. 2016. The effect of pH on phosphorus availability and speciation in an aquaponics nutrient solution. *Bioresource Technology* 219, 778-781.

Da Silva, J.F. & Williams, R.J.P. 2001. *The Biological Chemistry of the Elements: The Inorganic Chemistry of Life*. Oxford University Press, Oxford.

Davidson, J., Good, C., Barrows, F.T., Welsh, C., Kenney, P.B. & Summerfelt, S.T. 2013. Comparing the effects of feeding a grain-or a fish meal-based diet on water quality, waste production, and rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* performance within low exchange water recirculating aquaculture systems. *Aquacultural Engineering* 52, 45-57.

Delaide, B., Delhaye, G., Dermience, M., Gott, J., Soyeurt, H. & Jijakli, M.H. 2017. Plant and fish production performance, nutrient mass balances, energy and water use of the PAFF Box, a small-scale aquaponic system. *Aquacultural Engineering* 78, 130-139.

Fernandez, D. 2016. *HydroBuddy v1.62: The First Free Open Source Hydroponic Nutrient Calculator Program Available Online.*

Francis-Floyd, R., Watson, C., Petty, D. & Pouder, D.B. 2009. *Ammonia in Aquatic Systems*. University of Florida, IFAS Extension. Publication #FA 16.

Galloway, J.N., Townsend, A.R., Erisman, J.W., Bekunda, M., Cai, Z., Freney, J.R., Martinelli, L.A., Seitzinger, S.P. & Sutton, M.A. 2008. Transformation of the nitrogen cycle: recent trends, questions, and potential solutions. *Science* 320 (5878), 889-892.

Gay, S.W. & Knowlton, K.F. 2009 *Ammonia Emissions and Animal Agriculture*. Virginia Cooperative Extension (VCE) Publications, No. 442-110.

Goddek, S., Schmautz, Z., Scott, B., Delaide, B., Keesman, K.J., Wuertz, S. & Junge, R. 2016. The effect of anaerobic and aerobic fish sludge supernatant on hydroponic lettuce. *Agronomy* 6 (2), 37.

Graber, A. & Junge, R. 2009. Aquaponic systems: Nutrient recycling from fish wastewater by vegetable production. *Desalination* 246 (1-3), 147-156.

Hu, B.L., Zheng, P., Tang, C.J., Chen, J.W., van der Biezen, E., Zhang, L., Ni, B.J., Jetten, M.S., Yan, J., Yu, H.Q. & Kartal, B. 2010. Identification and quantification of anammox bacteria in eight nitrogen removal reactors. *Water Research* 44 (17), 5014-5020.

Hu, Z., Lee, J.W., Chandran, K., Kim, S., Brotto, A.C. & Khanal, S.K. 2015. Effect of plant species on nitrogen recovery in aquaponics. *Bioresource Technology* 188, 92-98.

Khemira, H., Sanchez, E., Righetti, T.L. & Azarenko, A.N. 2000. Phytotoxicity of urea and biuret sprays to apple foliage. Journal of Plant Nutrition 23 (1), 35-40.

Mattson, N. & Krug, B. 2015. *Identifying Boron Deficiency and Corrective/Preventative Actions*. Fact Sheet. Department of Horticulture, Cornell University, Univ. New Hampshire Cooperative Extension.

Montanhini Neto, R. & Ostrensky, A. 2015. Nutrient load estimation in the waste of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* (L.) reared in cages in tropical climate conditions. *Aquaculture Research* 46 (6), 1309-1322.

Nozzi, V., Graber, A., Mathis, A., Schmautz, Z. & Junge, R. 2018. Nutrient management in aquaponics: comparison of three approaches on lettuce, mint and mushroom herbs. *Agronomy* 8 (3), 27.

Polacco, J.C., Mazzafera, P. & Tezotto, T. 2013. Opinion–nickel and urease in plants: still many knowledge gaps. *Plant Science* 199, 79-90.

Pratt, C.W. & Cornely, K. 2014. *Essential Biochemistry* (3rd edition). John Wiley and Sons Inc., MA.

Resh, H.M. 2013. *Hydroponic Food Production: A Definitive Guidebook for the Advanced Home Gardener and the Commercial Hydroponic Grower*. CRC Press, Boca Raton.

Roosta, H.R. & Hamidpour, M. 2011. Effects of foliar application of some macro-and micro-nutrients on tomato plants in aquaponic and hydroponic systems. *Scientia Horticulturae* 129 (3), 396-402.

Roques, S., Kendall, S., Smith, K., Newell Price, P. & Berry, P. 2013. *A review of the non-NPKS nutrient requirements of UK cereals and oilseed rape.* Research Review No. 78. HGCA, Kenilworth.

Schachtman, D.P., Reid, R.J. & Ayling, S.M. 1998. Phosphorus uptake by plants: from soil to cell. *Plant Physiology* 116 (2), 447-453.

Schmautz, Z., Loeu, F., Liebisch, F., Graber, A., Mathis, A., Bulc, T.G. & Junge, R. 2016. Tomato productivity and quality in aquaponics: Comparison of three hydroponic methods. *Water* 8 (11), 533.

Schneider, O., Sereti, V., Eding, E.H. & Verreth, J.A.J. 2005. Analysis of nutrient flows in integrated intensive aquaculture systems. *Aquacultural Engineering* 32 (3-4), 379-401.

Seawright, D.E., Stickney, R.R. & Walker, R.B. 1998. Nutrient dynamics in integrated aquaculture–hydroponics systems. *Aquaculture* 160, 215–237.

Sonneveld, C. & Voogt, W. 2009. *Plant Nutrition of Greenhouse Crops*. Springer, Springer Netherlands.

Sterner, R.W. & Elser, J.J. 2002. *Ecological Stoichiometry: The Biology of Elements from Molecules to the Biosphere*. Princeton University Press.

Storey, N. 2018. Why You Need to Be Careful About Zinc in Aquaponics. Upstart University.

Strauch, S., Wenzel, L., Bischoff, A., Dellwig, O., Klein, J., Schüch, A., Wasenitz, B. & Palm, H. 2018. Commercial African catfish (*Clarias gariepinus*) recirculating aquaculture systems: Assessment of element and energy pathways with special focus on the phosphorus cycle. *Sustainability* 10 (6), 1805.

Strous, M., Fuerst, J.A., Kramer, E.H., Logemann, S., Muyzer, G., van de Pas-Schoonen, K.T., Webb, R., Kuenen, J.G. & Jetten, M.S. 1999. Missing lithotroph identified as new planctomycete. *Nature* 400 (6743), 446.

Tacon, A.G. & Metian, M. 2008. Global overview on the use of fish meal and fish oil in industrially compounded aquafeeds: Trends and future prospects. *Aquaculture* 285 (1-4), 146-158.

Treadwell, D., Taber, S., Tyson, R. & Simonne, E. 2010. *Foliar-applied micronutrients in aquaponics: A guide to use and sourcing*. Horticultural Sciences Department, Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida.

Winogradsky, S. 1892. Contributions à la morphologie des organismes de la nitrification. *Arch. Sci. Biol*. 1, 87–137.

Wongkiew, S., Hu, Z., Chandran, K., Lee, J.W. & Khanal, S.K. 2017. Nitrogen transformations in aquaponic systems: A review. *Aquacultural Engineering* 76, 9-19.

Yang, H., Menz, J., Häussermann, I., Benz, M., Fujiwara, T. & Ludewig, U. 2015. High and low affinity urea root uptake: involvement of NIP5; 1. *Plant and Cell Physiology* 56 (8), 1588-1597.

Yavuzcan Yildiz, H., Robaina, L., Pirhonen, J., Mente, E., Domínguez, D. & Parisi, G. 2017. Fish welfare in aquaponic systems: its relation to water quality with an emphasis on feed and faeces—a review. *Water* 9 (1), 13.

Yogev, U., Barnes, A. & Gross, A. 2016. Nutrients and energy balance analysis for a conceptual model of a three loops off grid, aquaponics. *Water* 8 (12), 589.

Zou, Y., Hu, Z., Zhang, J., Xie, H., Liang, S., Wang, J. & Yan, R. 2016. Attempts to improve nitrogen utilization efficiency of aquaponics through nitrifiers addition and filler gradation. *Environmental Science and Pollution Research* 23 (7), 6671-6679.

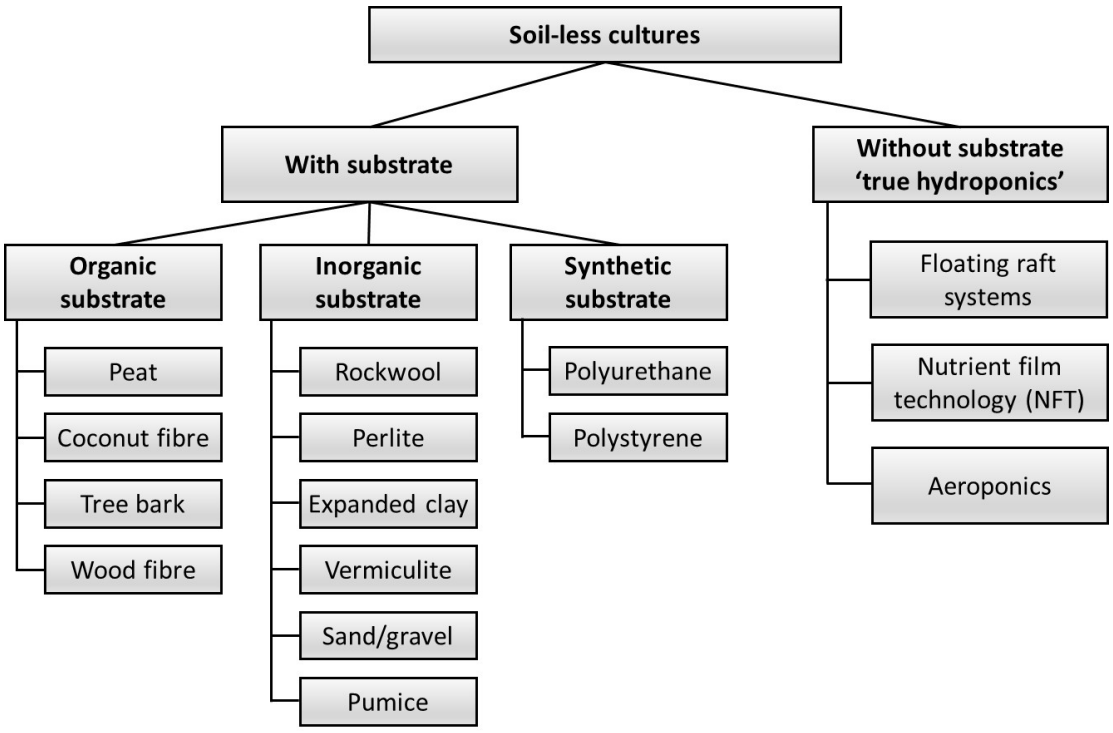
**Sarah Milliken, Ranka Junge**

# 6. HIDROPONIKA

## 6.1 Uvod v hidroponiko

### 6.1.1 Načela hidroponike

Hidroponika je metoda gojenja pridelkov brez uporabe zemlje in z dodajanimi hranili v namakalno vodo (t. i. gnojenje) (slika 1). Glavne razlike med tradicionalnimi talnimi tehnikami gojenja in tehnikami brez tal se nanašajo na porabo vode in gnojil ter na splošno produktivnost. Kmetijstvo brez tal je običajno tudi manj delovno intenzivno, boljše podpira monokulture kot poljedelstvo in se lahko uporablja na neobdelovalnih območjih (Somerville *et al.* 2014c).




Slika 1: Razvrstitev kultur brez tal glede na uporabo substrata ali gojišča. Medij (če ga uporabljamo) podpira rastline ter zagotavlja vlago in prezračevanje.

### 6.1.2 Prednosti hidroponike

Hidroponika omogoča kmetu spremljanje, vzdrževanje in prilagajanje rastnih pogojev rastlin, kar zagotavlja optimalno ravnovesje hranil v realnem času, dovod vode, ustrezen pH in temperaturo. Poleg tega rastline ne tekmujejo s pleveli in imajo koristi, ker zaradi odsotnosti plevela izvajamo boljšo kontrolo škodljivcev in bolezni. Domneva se, da rastlina, gojena s hidroponiko, porabi 90 % manj vode, kot če bi bila gojena v tleh (Somerville *et al.* 2014c). V hidroponiki rastlinam zagotavljamo minimalno količino vode, ki je potrebna za rast, medtem ko se v poljedelstvu voda izgublja z izhlapevanjem, pronicanjem v podzemlje in odtekanjem, kar spodbuja rast plevela. Hidroponika zato omogoča pridelavo pridelka na območjih, kjer je vode malo ali pa je draga. Hranila, potrebna za rast rastlin, se nahajajo v raztopini, ki se dovaja neposredno koreninam, zato lahko prilagodimo sestavo

in količino raztopine potrebam rastline v določeni fazi rasti. V poljedelstvu kmetje ne morejo v celoti nadzorovati dovajanja hranil rastlinam zaradi zapletenih procesov, ki potekajo v tleh, in nekaj gnojila se lahko izgubi zaradi odtekanja, kar zmanjša učinkovitost in povzroči okoljske težave. V hidroponiki (rastlinske) korenine potopimo neposredno v hranilno raztopino, zato rastline lažje dobijo vse potrebno za rast kot tiste rastline, ki rastejo v tleh. Rastline v hidroponiki imajo običajno manjše koreninske sisteme, zato lahko več energije usmerijo v rast listov in stebel. Posledično lahko hidroponska kultura doseže od 5 do 25 % več pridelka kot poljedelstvo (Somerville *et al.* 2014c).

### 6.1.3 Pomanjkljivosti hidroponike

Glavna težava so visoki stroški vzpostavitve sistema in odvisnost od električne energije, saj brez te sistemi ne morejo dovajati hranilne raztopine rastlinam. Ko pa fitopatogeni (mikroorganizmi, kot so *Verticillium, Pythium* in *Fusarium*) onesnažijo raztopine ali rastline, se lahko vodne bolezni začnejo hitro širiti po celotnem sistemu. Upravljavci hidroponskega sistema morajo imeti specializirana znanja in spretnosti za proizvodnjo velike količine pridelkov: poznati morajo ustrezne količine hranil in razsvetljavo, poznati in reševati zapletene hranilne težave, vzdrževati zatiranje škodljivcev in preprečevati nastajanje biofilmov v sistemu vodne napeljave. Kljub temu da je hidroponske raztopine in plastične materiale mogoče znova uporabiti, hidroponski sistemi še vedno ustvarjajo veliko količino odpadkov, ki lahko negativno vplivajo na okolje (Lee & Lee 2015).

## 6.2 Hidroponski sistem

Obstajajo tri glavne vrste hidroponskih sistemov (glej tudi Modul 1). Pri hidroponiki z rastnimi gredami rastline rastejo v mediju. V sistemu s tehniko hranilnih filmov (angl. *nutrient film technique* – NFT) rastline rastejo s koreninami v širokih ceveh, po katerih se v tanki plasti pretaka voda. V globokovodnih kulturah (angl. *deep water culture* – DWC) ali sistemu s plavajočimi rafti rastline visijo nad rezervoarjem vode s pomočjo plavajočega rafta. Vsaka vrsta ima svoje prednosti in slabosti, ki jih bomo podrobneje obravnavali v nadaljevanju. Strokovna literatura podaja nekoliko nasprotujoče informacije o relativni učinkovitosti za pridelavo pridelkov v različnih akvaponskih sistemih. Lennard in Leonard (2006) sta primerjala tri hidroponske podsisteme za pridelavo solate; ugotovila sta, da je proizvodnja največjo v gramoznih gredicah, sledila sta DWC in NFT. Vendar pa so Pantanella *et al.* 2012 ugotovili, da je NFT deloval tako dobro kot DWC, medtem ko so v rastnih koritih z mediji imeli nenehno precej manj pridelka.

Kar zadeva vlogo zasnove hidroponske komponente pri celotni učinkovitosti in porabi vode akvaponskih sistemov, so Maucieri *et al.* 2018 ob pregledu literature ugotovili, da je NFT manj učinkovit kot rastna korita z mediji ali hidroponika DWC, čeprav rezultati niso bili nedvoumni. Hidroponska komponenta neposredno vpliva na kakovost vode, ki je bistvenega pomena za gojenje rib, hkrati pa je glavni vir izgube vode prek rastlin zaradi evapotranspiracije. Zasnova hidroponske komponente torej vpliva na trajnost celotnega postopka, bodisi neposredno v smislu porabe vode in/ali posredno v smislu stroškov upravljanja sistema. Izbira hidroponske komponente za akvaponski sistem vpliva tudi na zasnovo celotnega sistema. Na primer, v sistemih z rastnimi koriti z medijem običajno medij zagotavlja dovolj površine za rast bakterij in filtracijo, medtem ko je v kanalih NFT površina premajhna, zato je treba namestiti dodatne biofiltre (Maucieri *et al.* 2018).

### 6.2.1 Hidroponika z rastnimi gredami

V hidroponiki z rastnimi gredami se uporablja rastlinski medij ali substrat brez prsti, ki koreninam pomaga podpirati težo rastline. Rastno korito služi tudi kot biološki in fizični filter. Med hidroponskimi podsistemi imajo rastna korita najučinkovitejšo biološko filtracijo zaradi velike površine, kjer se lahko razvije biofilm, ki vsebuje nitrifikatorje in druge bakterije. Medij tudi prestreže trdne in suspendirane ribje odpadke ter druge plavajoče organske delce, čeprav je učinkovitost tega fizičnega filtra odvisna od velikosti delcev in zrn medija ter hitrosti pretoka vode. Sčasoma se organski delci z biološkimi in fizikalnimi procesi počasi razgradijo na enostavne molekule in ione, ki jih rastline lahko absorbirajo (Somerville *et al.* 2014b).

Medij je lahko organski, anorganski, naravni ali sintetični (slika 1) in je nameščen v rastnih posodah različnih oblik. Imeti mora ustrezno površino, hkrati pa ostati prepusten za vodo in zrak, s čimer lahko bakterije rastejo, voda teče in korenine rastlin dihajo. Biti mora nestrupen, imeti nevtralen pH, da ne vpliva na kakovost vode, in biti odporen na rast plesni. Prav tako ne sme biti tako lahek, da plava. Zadrževanje vode, prezračevanje in pH-ravnovesje so parametri, ki so odvisni od medija. Voda se zadržuje na površini delcev in v porah, zato velikost, oblika in poroznost delcev določajo zadrževanje vode v mediju. Manjši ko so delci, bližje so drug drugemu, večja sta površina delcev in porni volumen,  s tem pa se v mediju zadrži tudi več vode. Delci nepravilne oblike imajo večjo površino in s tem omogočijo večje zadrževanje vode kot gladki okrogli delci. Porozni materiali lahko shranijo vodo znotraj delcev, zato je zadrževanje vode veliko. Poleg tega, da mora biti medij sposoben dobro zadrževati vodo, mora biti dobra tudi drenaža. Treba se je izogibati pretirano finim materialom, da preprečimo prekomerno zadrževanje vode in pomanjkanje kisika v substratu. Vse medije je potrebno redno čistiti (Resh 2013).

Medije lahko razvrstimo tudi na zrnate ali vlaknene. Zrnati mediji so lahki agregat ekspandirane gline, gramoz, vermikulit, perlit in plovec. Vlakneni substrati so sestavljeni iz kamene volne in kokosovih vlaken. Voda se zadržuje večinoma v mikroporah substrata, medtem ko se skozi makropore lažje odvaja in vstopa zrak (Drzal *et al.* 1999). Bistvenega pomena je primerna kombinacija velikih in majhnih por (Raviv *et al.* 2002). Zrnati substrati imajo visoko makroporoznost (razpoložljivost zraka), vendar sorazmerno nizko mikroporoznost (razpoložljivost vode), vlakneni substrati pa visoko mikroporoznost, vendar sorazmerno nizko makroporoznost.

Lahki agregat ekspandirane gline (LECA) je v primerjavi z drugimi podlagami zelo lahek, zato je zelo primeren za akvaponiko na strehi. Na voljo je v različnih velikostih, pri akvaponiki priporočamo večje velikosti s premerom od 8 do 20 mm (Somerville *et al.* 2014). Večje pore (makroporoznost) pomenijo boljšo prepustnost raztopine skozi podlago in boljši dovod zraka, tudi kadar biofilmi pokrivajo površine. Vendar pa ima LECA majhne mikropore in zato nima visoke kapacitete zadrževanja vode.

Vulkanski gramoz (tuf) ima zelo veliko razmerje med površino in prostornino, kar bakterijam omogoča več prostora za kolonizacijo. Prav tako je skoraj kemično inerten, prihaja zgolj do majhnih izpustov mikroelementov, kot sta železo in magnezij, ter absorpcije fosfatnih in kalijevih ionov v

prvih mesecih. Priporočeni premer vulkanskega gramoza je od 8 do 20 mm. Manjši gramoz se bo verjetno zamašil s trdnimi delci, medtem ko večji gramoz ne nudi potrebne površine ali rastlinske opore (Somerville *et al*. 2014b).

Apneni gramoz se včasih uporablja kot medij, čeprav ni priporočljiv. Apnenec ima nižje razmerje med površino in prostornino kot vulkanski gramoz, je razmeroma težak in ni inerten. Apnenec je sestavljen predvsem iz  v vodi topnega kalcijevega karbonata ($CaCO_3$), ki zviša pH, zato ga je treba uporabljati le, kadar imajo vodni viri zelo nizko alkalnost ali so kisli. Kljub temu majhen dodatek apnenca lahko pomaga uravnovesiti stopnjo zakisanosti, ki jo povzročijo nitrifikacijske bakterije, kar lahko izravna potrebo po rednem uravnavanju pH (puferiranju) vode v dobro uravnoteženih akvaponskih sistemih (Somerville *et al.* 2014b).

Vermikulit je luskav mineral, ki se pri segrevanju nad 1000 °C razširi. Voda se pretvori v paro in tvori majhna, porozna, gobasta jedrca. Vermikulit je zelo lahek in lahko absorbira velike količine vode. V reakciji je nevtralen z dobrimi puferskimi lastnostmi in ima razmeroma visoko zmogljivost izmenjave kationov, zato lahko zadrži hranila v rezervi in jih pozneje sprosti. Vsebuje tudi nekaj magnezija in kalija, ki sta na voljo rastlinam (Resh 2013).

Perlit je silikatni material vulkanskega izvora, ki se pridobiva iz tokov lave. Segrejemo ga na 760 °C, kar majhno količino vode pretvori v paro in s tem razširi delce na majhna jedrca, podobna gobam. Perlit je zelo lahek in lahko zadrži od tri- do štirikrat toliko vode, kolikor je težak sam. V osnovi je nevtralen, s pH 6,0–8,0, vendar brez puferske sposobnosti; za razliko od vermikulita ne more izmenjevati  kationov in ne zadržuje hranil. Ne smemo ga uporabljati samostojno, ampak ga mešamo z drugim medijem, da izboljšamo odtekanje vode in prezračevanje ter s tem preprečimo kopičenje hranil in posledično težave s strupenostjo, hkrati pa koreninam zagotavljamo s kisikom bogato okolje za lažjo rast (Resh 2013).

Plovec je, tako kot perlit, silikatni material vulkanskega izvora in ima v osnovi enake lastnosti kot perlit, vendar gre za surovo rudo, ki je bila zgolj zdrobljena in presejana brez kakršnega koli postopka segrevanja, zato je težji in ne absorbira toliko vode, saj ni bil hidriran (Resh 2013).

Kamena volna je narejena iz bazaltne kamnine, ki se v pečeh stopi pri temperaturi 1500 $^{o}$C. Tekoči bazalt se nato vrti v niti in stisne v pakete iz volne, ki jih razrežemo na plošče, bloke ali čepe. Po letu 2000 se je industrija toplih gred najhitreje razvijala z uporabo kamene volne, vendar se v zadnjih letih pojavljajo okoljski pomisleki, saj na odlagališčih ne razpada. Zdaj se mnogi pridelovalci kamene volne odločajo za bolj trajnostne medije, kot so kokosova vlakna (Resh 2013).

Kokosova vlakna (angl. *coir*) so organski medij, pridobljen iz zdrobljenih in zmletih kokosovih lupin. Imajo skoraj nevtralen pH in zadržujejo vodo, hkrati pa koreninam zagotavljajo dobro količino kisika (Resh 2013).

Od vrste medija je odvisno, ali bo ta zasedel približno 30–60 % celotne prostornine rastnega korita. Globina korita za medij je pomembna, ker vpliva na velikost prostora za korenine, kar pa določa vrsto zelenjave, ki se lahko goji. Velike plodovke, kot so paradižnik, okra in zelje, potrebujejo medij, ki je globok 30 cm, kar omogoča dovolj prostora za korenine in preprečuje preveč preprogasto rast korenin in pomanjkanje hranil. Majhna zelena listnata zelenjava potrebuje le 15–20 cm globine medija (Somerville *et al.* 2014b).

Tabela 1: Značilnosti različnih rastnih medijev (povzeto po Somerville *et al.* 2014b)

| Medij | Površina ($m^2/m^3$) | pH | Cena | Teža | Življenjska doba | Zadrževanje vode | Opora rastlini |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Apneni gramoz | 150–200 | Bazični | Nizka | Težek | Dolga | Nizko | Odlična |
| Vulkanski prod | 300–400 | Nevtralni | Srednja | Srednji | Dolga | Srednje nizko | Odlična |
| Plovec | 200–300 | Nevtralni | Srednje visoka | Lahek | Dolga | Srednje | Srednje nizka |
| LECA | 250–300 | Nevtralni | Visoka | Lahek | Dolga | Srednje- nizko | Srednja |
| Kokosova vlakna | 200–400 (spremenljivka) | Nevtralni | Srednje nizka | Lahek | Kratka | Visoko | Srednja |

Slika 2: Presaditve paradižnika, ki raste v sistemu rastnih korit s kapljičnim namakanjem in medijem LECA (https://commons.wikimedia.org/wiki/Category:Hydroponics#/media/File:Hydroponic_Farming.jpg)

Obstajajo različne tehnike za dovajanje vode, obogatene s hranilnimi snovmi na rastna korita. Preprosto jih je mogoče namakati s kapljičnim namakalnim sistemom, pritrjenim na cevi, ki so enakomerno razporejene na nosilcu (slika 2). Druga možnost je metoda, imenovana poplava in odtekanje (ali izliv in pretok), ki povzroči, da se rastna korita občasno poplavijo z vodo, ki nato odteče nazaj v rezervoar. Izmenjava med poplavljanjem in odtekanjem zagotavlja, da imajo rastline sveža hranila in ustrezen pretok zraka v koreninskem pasu, kar obnavlja raven kisika. Zagotavlja tudi,

da je v koritu ves čas dovolj vlage, da lahko bakterije uspevajo v optimalnih pogojih. Delovanje po načelu poplavljanja in odtekanja v mediju ustvarjajo tri ločene cone, ki se razlikujejo po vsebnosti vode in kisika (Somerville *et al.* 2014b).

- Zgoraj je 2–5 cm debela suha cona, ki deluje kot svetlobna ovira, zmanjšuje izhlapevanje in preprečuje, da bi svetloba neposredno zadela vodo, kar lahko spodbudi rast alg. Prav tako preprečuje rast gliv in škodljivih bakterij na dnu rastlinskega stebla, kar lahko povzroči gnilobo ovratnice in druge bolezni.
- Suho/mokra cona ima tako vlago kot visoko izmenjavo plinov. To je območje, debelo 10–20 cm, kjer se rastno korito vmes preplavi in izsuši. Če ne uporabljate tehnike poplavljanja in odtekanja, bo to območje pot, po kateri voda teče skozi medij. Večina bioloških procesov poteka na tem območju.
- Na dnu korita je mokra cona, debela 3–5 cm, ki je trajno mokra. Na tem območju se nabirajo majhni trdni odpadki, zato se tudi tu nahajajo organizmi, ki so najbolj dejavni pri mineralizaciji, vključno s heterotrofnimi bakterijami in drugimi mikroorganizmi, ki razgrajujejo odpadke na manjše frakcije in molekule, ki jih rastline lahko absorbirajo med mineralizacijo (Somerville *et al.* 2014b).

### 6.2.2 Tehnika hranilnih filmov (NFT)

NFT je sistem kulture, pri katerem tanek film raztopine (globina 2–3 mm) nenehno teče po dnu majhnih cevi, v katerih so koreninski sistemi. Pri NFT je cilj, da se del koreninske preproge razvije v toku hranil, druge korenine pa so nad tem suspendirane na vlažnem zraku in imajo dostop do kisika, ne da bi jih potopili (Somerville *et al.* 2014b).

Slika 3: Okrogli cevni sistem NFT

(Vir: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Hydroponics_(33185459271).jpg)

Slika 4: Pravokotni cevni sistem NFT

(Vir: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Hydroponics_(33185459271).jpg)

Kanali so pogosto v obliki cevi (slika 3). Cevi s pravokotnim presekom (slika 4) in s širino, večjo od višine, so najustreznejše, saj večina vode pride do korenin, s čimer se poveča vnos hranil in pospeši rast rastlin. Večje plodovke in mešane kulture (gojenje različnih vrst zelenjave) zahtevajo večje cevi v primerjavi s cevmi, potrebnimi za hitrorastočo listnato zelenjavo in majhno zelenjavo z majhnimi koreninskimi sistemi. Dolžine cevi so lahko različne, vendar je treba upoštevati, da lahko pride do pomanjkanja hranil pri rastlinah proti koncu zelo dolgih cevi, ker so hranila porabile že prve rastline (slika 5). Uporabljati je treba bele cevi, saj bela barva odbija sončne žarke in s tem ohranja notranjost cevi hladno. Kanali morajo biti nameščeni poševno (slika 5), tako da hranilna raztopina teče z ustreznim pretokom, ki za večino sistemov znaša približno 1 L/min (Somerville *et al.* 2014a).

Slika 5: Poševni kanali NFT. Kanal NFT je dolg 12,5 m in se napaja z vodo iz sosednjih rezervoarjev za ribe. Nobena hranila niso bila dodana. Na koncu so vidne posledice pomankanja hranil.

Sistemi NFT se večinoma uporabljajo za pridelavo hitrorastočih poljščin, kot so zelena solata, zelišča, jagode, zelena zelenjava, krma in majhna zelenjava.

### 6.2.3 Globokovodna kultura (DWC)

DWC ali plavajoča raft kultura je vrsta hidroponskega sistema, pri kateri so rastline vstavljene v plavajočem splavu nad bazenom; korenine so potopljene v hranilno raztopino in prezračevane s pomočjo zračne črpalke. Za razliko od sistemov NFT, pri katerih se hranila v tankem filmu vode, ki teče skozi koreninski sistem, hitro porabijo, vsebujejo kanali DWC velike količine vode, kar rastlinam omogoča, da porabijo veliko hranilnih snovi. Dolžina kanalov ni pomembna, saj so kanali lahko dolgi 1–10 m. Priporočljiva globina je 30 cm, s čimer se zagotovi primeren prostor za korenine, čeprav majhne listnate zelenice, kot je zelena solata, zahtevajo največ 10 cm globine. Hitrost pretoka vode, ki vstopa v vsak kanal, je razmeroma majhna, na splošno pa ima vsak kanal zadrževalni čas od 1 do 4 ur (čas, ki je potreben za zamenjavo vse vode v bazenu). To omogoča ustrezno nadomeščanje hranilnih snovi v vsakem kanalu, čeprav količina vode in hranilnih snovi v globokih kanalih zadostuje za prehrano rastlin na dolgi rok (Somerville *et al.* 2014b). Po drugi strani pa bo morda potrebna dodatna aeracija, ker pretoki niso dovolj visoki, da bi zagotovili zadostno količino kisika.

Nekatere rastline, npr. zelena solata, uspevajo v vodi in jih zato običajno gojijo v globokovodnih sistemih. DWC je najpogostejša metoda pri delovanju velikih komercialnih postrojenj, ki gojijo specifičen pridelek (običajno solate, solatne liste ali baziliko) in je primernejša za mehanizacijo.

Slika 6: Bazilika in druge rastline, ki rastejo v sistemu DWC v rastlinjaku CDC South Aquaponics v Brooksu, Alberta (Vir: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:CDC_South_Aquaponics_Raft_Tank_1_2010-07.jpg).

### 6.2.4 Aeroponika

V aeroponskih sistemih rastline gojimo in negujemo tako, da koreninske sisteme suspendiramo na zraku in jih redno škropimo s hranilno raztopino. Obstajata dve glavni vrsti aeroponskih sistemov: visokotlačna in nizkotlačna aeroponika; glavna razlika je v velikosti kapljic megle, ki se uporablja pri

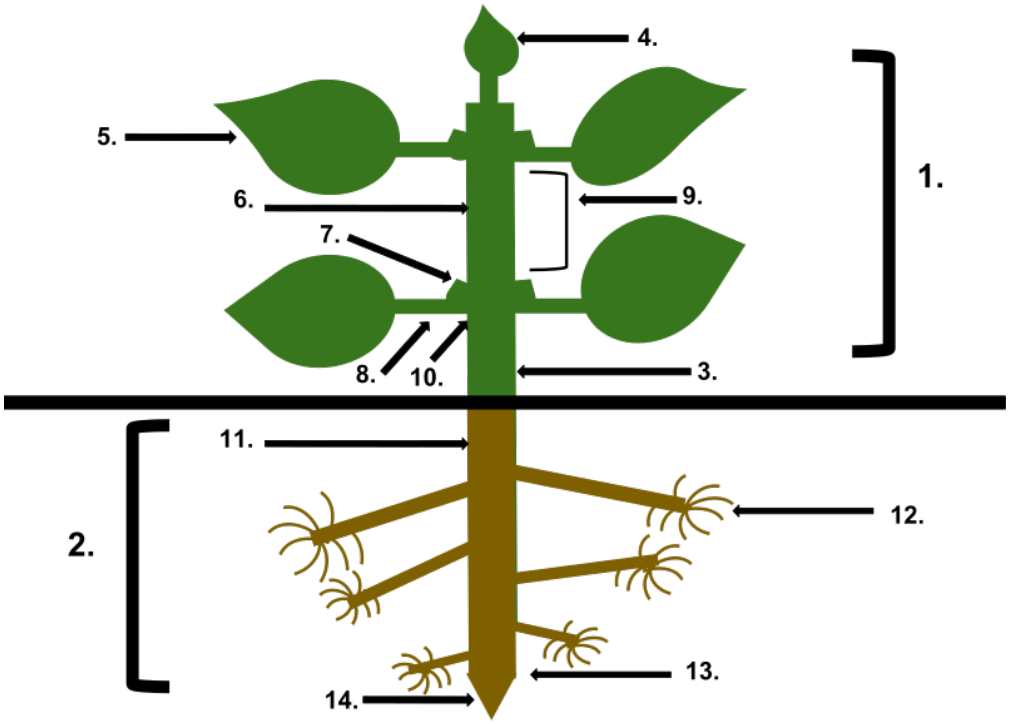
posameznem sistemu. V nizkotlačni aeroponiki uporabljamo črpalke z nizkim pritiskom in visokim pretokom, medtem ko v visokotlačni aeroponiki uporabljajo visokotlačne črpalke (približno 120 PSI) z nizkim pretokom za atomiziranje vode in ustvarjanje kapljic vode, v velikosti 50 mikronov ali manj. V primeru zelo fine megle se za označevanje tretje vrste aeroponskega sistema uporablja izraz »fogponics«. Rastline, ki se gojijo z uporabo aeroponskega sistema, navadno rastejo hitreje kot tiste, ki rastejo v drugih vrstah hidroponskega sistema, ker imajo na voljo več kisika (Li *et al.* 2018).

## 6.3 Anatomija rastlin, fiziologija in rastne zahteve

### 6.3.1 Anatomija rastlin

Anatomija rastlin opisuje zgradbo in organizacijo celic, tkiv in organov rastlin glede na njihov razvoj in delovanje. Cvetoče rastline sestavljajo trije vegetativni organi: (i) korenine, ki zagotavljajo predvsem sidrišče, vodo in hranila ter shranjujejo sladkorje in škrob; (ii) stebla, ki zagotavljajo oporo; in (iii) listi, ki s fotosintezo proizvajajo organske snovi. Korenine zaradi gravitacije rastejo navzdol. Na splošno ob kalitvi najprej zraste primarna korenina, ki raste naravnost navzdol in izrašča sekundarne stranske korenine. Iz teh izrastejo terciarne korenine, ki se še razvejajo in tako dalje; postopek se nadaljuje skoraj v nedogled. Rast poteka v koreninskem vršičku ali apeksu, ki je zaščiten s koreninskim pokrovčkom. Korenine rastejo in se vejijo v iskanju mineralov in vode. Učinkovitost korenine kot absorpcijskega organa je odvisna od njene absorpcijske površine glede na njeno prostornino, ki jo ustvarijo koreninski laski in zapleten sistem razvejanja.

slika 7 prikazuje osnovno anatomijo rastline. Hipokotil je tisti del stebla, ki se na dnu veže s korenino. Na drugem koncu stebla je končni (apikalni) brst, kjer poteka rast. Steblo je običajno razdeljeno na nodije (kolenca) in internodije (medkolenca). Nodiji vsebujejo enega ali več listov, ki se s peclji (petiolami) pritrjujejo na steblo, pa tudi stranske (aksilarne) brste, ki lahko zrastejo v veje z listi ali cvetovi. Internodiji ločujejo nodije med seboj. Steblo in veje omogočajo, da se listi razporedijo tako, da imajo čim več sončne svetlobe, cvetovi pa so razporejeni tako, da lahko privabijo opraševalce. Razvejanje je posledica delovanja apikalnih in aksilarnih brstov. Apikalna prevlada se pojavi, ko končni vršiček zavira rast stranskih vršičkov, pri čemer rastlina raste navpično. Poganjki, ki nosijo liste, cvetove in plodove, rastejo proti svetlobnemu viru. Listi običajno vsebujejo pigmente in v njih poteka fotosinteza (glej 4.3.2.1). Na listih so tudi listne reže, pore, skozi katere voda izstopa in poteka izmenjava plinov (vstopa ogljikov dioksid $CO_2$ in izstopa kisik $O_2$).




Slika 7: Anatomija rastline: 1. sistem poganjka, 2. koreninski sistem, 3. hipokotil, 4. končni (apikalni) rastni vršiček, 5. list, 6. internodij, 7. stranski (lateralni) vršiček, 8. listni pecelj (petiola), 9. steblo, 10. nodij (kolence), 11. glavna korenina, 12. koreninski laski, 13. koreninski vršiček in 14. koreninska kapica (Vir: https://en.wikipedia.org/wiki/Plant_anatomy#/media/File:Plant_Anatomy.svg).

## 6.3.2 Fiziologija rastlin

Fiziologija rastlin je obsežna tema, ki zajema temeljne procese, kot so fotosinteza, dihanje, prehrana rastlin, delovanje rastlinskih hormonov, tropizmi, fotoperiodizem, fotomorfogeneza, cirkadiani ritmi, fiziologija stresnega stanja v okolju, kalitev semen, mirovanje, delovanje listnih rež in transpiracija. Predstavili bomo najpomembnejše fiziološke procese in odgovorili na vprašanje, kako nanje vplivajo rastne razmere.

### Fotosinteza

Vse zelene rastline ustvarijo svojo hrano s pomočjo fotosinteze. Fotosinteza je proces, pri katerem rastline uporabljajo svetlobo za proizvodnjo energije in ogljikovih hidratov s fiksacijo $CO_2$:

$$6\,CO_2 + 6\,H_2O \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 6\,O_2$$

Čeprav se fotosinteza pojavlja v vseh zelenih delih rastline, se večinoma vrši v listu. Majhni organeli, imenovani kloroplasti, vsebujejo pigment klorofil, ki energijo sončne svetlobe porabi za ustvarjanje visokoenergijskih molekul sladkorja, kot je glukoza. Ko so ustvarjene, se molekule sladkorja porazdelijo po celotni rastlini in se uporabljajo za vse fiziološke procese, kot so rast, razmnoževanje in presnova. Za fotosintezo so potrebni svetloba, $CO_2$ in voda.

## Dihanje

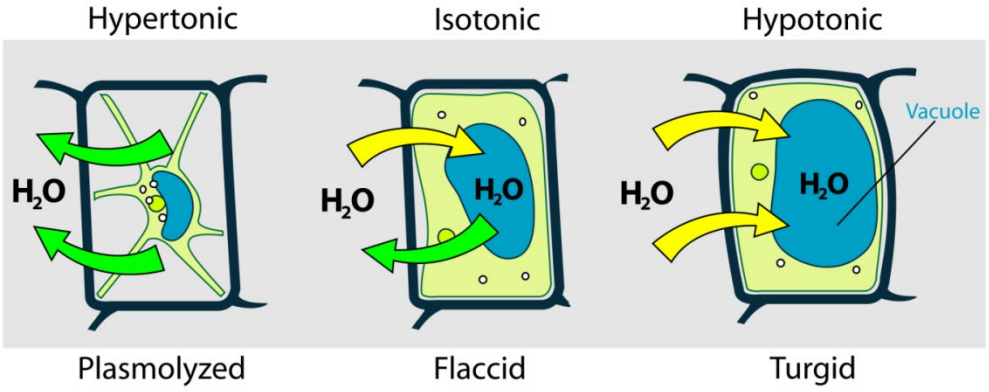
Proces dihanja v rastlinah vključuje uporabo sladkorjev, nastalih med fotosintezo, in kisika za proizvodnjo energije za rast rastlin:

$$C_6H_{12}O_6 + 6\,O_2 \rightarrow 6\,CO_2 + 6\,H_2O + energija$$

Medtem ko fotosinteza poteka samo v listih in steblih, dihanje poteka v vseh delih rastline. Rastline pridobivajo kisik iz zraka skozi listne reže, dihanje pa poteka v mitohondrijih celice ob prisotnosti kisika. Dihanje rastlin poteka 24 ur na dan, vendar je nočno dihanje očitnejše, ker se postopek fotosinteze preneha. Ponoči je zelo pomembno, da je temperatura nižja kot podnevi, ker s tem zmanjšujemo hitrost dihanja in omogočimo rastlinam, da kopičijo glukozo in iz nje sintetizirajo druge snovi, ki so potrebne za rast. Visoke nočne temperature povzročajo visoke stopnje dihanja, kar lahko povzroči poškodbo cvetov in slabo rast rastlin.

## Osmoza in plazmoliza

Osmoza je postopek, s katerim voda vstopi v korenine rastline in se premakne v njene liste (slika 8). V večini tal se majhne količine soli raztopijo v velikih količinah vode. Rastlinske celice pa ravno obratno vsebujejo manj vode, v kateri so koncentrirane soli, sladkorji in druge snovi. Med osmozo poskušajo molekule vode izenačiti koncentracijo na obeh straneh celične membrane. Kadar voda odteče iz zemlje, kjer je prisotna v večjih količinah, razredči raztopino v celicah. Voda, ki vstopa v celico, je shranjena v veliki osrednji vakuoli. Ko postane celica turgidna (popolnoma napihnjena), se hitrost vnosa vode upočasni. Celični turgor daje trdnost tkivom, napolnjenim z vodo. Razlika med hrustljavimi in ovelimi listi solate ponazarja lastnosti turgidnih in neturgidnih (mlahavih) celic. Večina rastlinskih vrst oveni v tleh, v katerih se je nabrala velika količina soli, tudi če je vode dovolj. Takšna slana tla imajo nižjo vsebnost vode kot koreninske celice, zato korenine izgubljajo vodo, saj je smer osmotskega pretoka obrnjena. Ta postopek se imenuje plazmoliza. Brez ustrezne notranje vode se celica začne krčiti. Po dolgotrajni izgubi vode celica brez notranje vode za podporo začne propadati. Popolni celični kolaps je redko reverzibilen. Ko celice začnejo propadati zaradi izgube vode, rastlina običajno odmre, saj odmirajo njene celice.




Slika 8: Turgor v rastlinski celici

(Vir: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Turgor_pressure_on_plant_cells_diagram.svg)

## Transpiracija

Transpiracija je izguba vode iz rastline v obliki vodne pare. To vodo nadomesti dodatna absorpcija vode skozi korenine, kar vodi v neprekinjen stolpec vode v rastlini. Postopek transpiracije zagotavlja rastlini hlajenje prek izhlapevanja, hranilne snovi, vstop $CO_2$ in vodo, kar skupaj zagotavlja rastlinsko strukturo. Ko rastlina transpirira, so njene listne reže odprte, kar omogoča izmenjavo plinov med atmosfero in listom. Odprte listne reže omogočajo, da vodna para zapusti list, hkrati pa omogočajo vstop $CO_2$, ki je potreben za fotosintezo. Temperatura močno vpliva na hitrost transpiracije. Ko temperatura zraka raste, se močno poveča kapaciteto zraka za zadrževanja vode. Toplejši zrak bo zato povečal gonilno silo transpiracije, hladnejši zrak pa jo bo zmanjšal.

## Fototropizem

Fototropizem je usmerjen odziv, ki rastlinam omogoča, da rastejo proti viru svetlobe ali v nekaterih primerih stran od njega. Pozitiven fototropizem je rast proti svetlobnemu viru, negativni fototropizem pa rast stran od svetlobe. Poganjki ali nadzemni deli rastlin ponavadi kažejo pozitiven fototropizem. Ta odziv pomaga zelenim delom rastline, da se približajo viru svetlobne energije, ki ga lahko uporabijo za fotosintezo. V nasprotju s tem pa korenine navadno rastejo stran od svetlobe. Hormon, ki nadzoruje fototropizem je avksin. Njegova glavna naloga je spodbuditi povečanje dolžine celic, zlasti v bližini konic stebla in korenin. V steblih, osvetljenih od zgoraj, imajo celice enako hitrost raztezka, zato je rast navpična. Kadar pa so osvetljena z ene strani, stebla spreminjajo smer, ker se avksin nabira v senčeni strani, zaradi česar tam celice rastejo hitreje kot tiste proti svetlobi. Posledica fototropizma si visoke in tanke rastline, ki se raztezajo in upogibajo, da najdejo ustrezen vir svetlobe.

## Fotoperiodizem

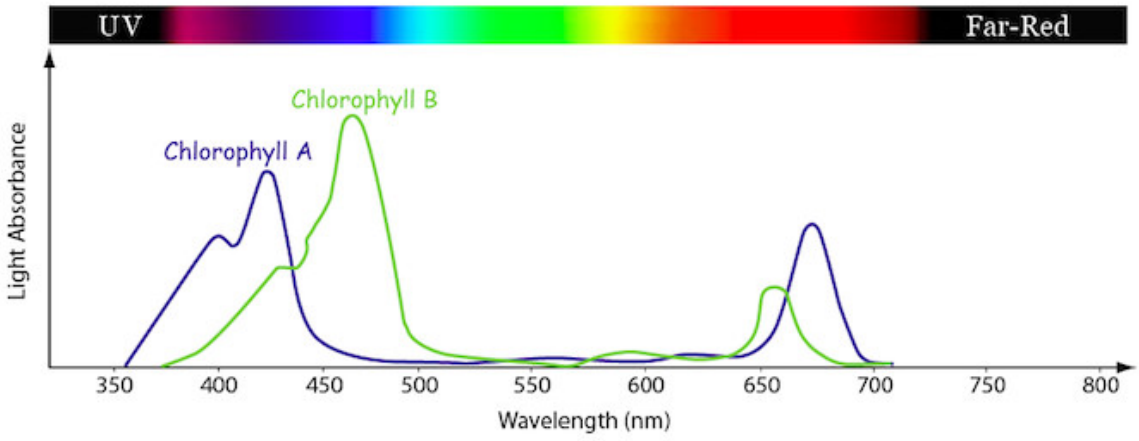
Fotoperiodizem je uravnavanje fiziologije ali razvoja glede na dolžino dneva, ki nekaterim rastlinskim vrstam omogoča, da cvetijo (preidejo v reproduktivni način) le v določenih obdobjih leta. Rastline navadno sodijo v tri fotoperiodne kategorije: dolgodnevne rastline, kratkodnevne rastline in dnevno nevtralne rastline. Učinek fotoperiodizma pri rastlinah ni omejen na to, kdaj bodo cvetele. Vpliva lahko tudi na rast korenin in stebel ter na izgubo listov (abscizija) v različnih letnih časih. Dolgodnevne rastline običajno cvetijo v poletnih mesecih, ko so noči kratke. Dolgodnevnice so npr. zelje, zelena solata, čebula in špinača. Po drugi strani kratkodnevne rastline cvetijo med letnimi časi, ki imajo daljše noči. Pred začetkom razvoja cvetov potrebujejo stalno temo. Kratkodnevnice so npr. jagode. Cvetenje nekaterih rastlin, ki jih imenujemo dnevno nevtralne rastline, ni povezano s posamezno fotoperiodo. Sem spadajo čili, kumare in paradižnik. Komercialni pridelovalci lahko izkoristijo znanje o fotoperiodi rastline tako, da spodbudijo cvetenje, še preden bi rastlina v to prešla po naravni poti. Npr. rastline bodo hitreje zacvetele, če imajo več oz. manj svetlobe, s tem pa lahko omogočimo pridelavo sadja ali semen pred običajno sezono in po njej (Rauscher 2017).

### 6.3.3 Rastne zahteve

Primarni dejavniki okolja, ki vplivajo na rast rastlin, so: svetloba, voda, $CO_2$, hranila (glej Poglavje 5), temperatura in relativna vlaga. Ti vplivajo na rastne hormone rastline, zato lahko rastlina raste hitreje ali počasneje.

#### Svetloba

Prenos svetlobe ustrezne količine in kakovosti je pomembno vpliva na optimalno fotosintezo, rast in donos. Sonce proizvaja fotone s širokim razponom valovnih dolžin (slika 9): UVC 100–280 nm, UVB 280–315 nm, UVA 315–400 nm, vidno ali fotosintezno aktivno sevanje (PAR) 400–700 nm, globokordeče sevanje 700–800 nm in infrardeče sevanje 800–4000 nm. V vidnem območju spektra lahko valovne pasove razdelimo na barve: modro 400–500 nm, zeleno 500–600 nm in rdečo 600–700 nm.




Slika 9: Absorpcijski spekter klorofila
(Vir: https://www.flickr.com/photos/145301455@N07/29979758460)

Obstajata dve različni vrsti klorofila: klorofil a in klorofil b. Klorofil a je najpogostejši fotosintezni pigment in absorbira modre, rdeče in vijolične valovne dolžine v vidnem spektru. V glavnem sodeluje pri kisikovi fotosintezi, pri kateri je kisik glavni stranski produkt procesa. Klorofil b primarno absorbira modro svetlobo in se uporablja za dopolnitev absorpcijskega spektra klorofila a s povečanjem obsega svetlobnih valovnih dolžin, ki jih fotosintezni organizem lahko absorbira. Obe vrsti klorofila delujeta skladno in omogočata največjo absorpcijo svetlobe od modrega do rdečega spektra.

Odzivi na svetlobo so se razvili, da bi pomagali rastlinam prilagoditi se na najrazličnejše svetlobne pogoje. Rastline se na različne ali slabe svetlobne pogoje odzivajo različno, nekatere vrste so prilagojene optimalnemu delovanju na neposredni sončni svetlobi, druge pa bolje uspevajo v senci. V temi rastline dihajo in proizvajajo $CO_2$. Ko se intenziteta svetlobe večja, se povečuje tudi stopnja fotosinteze, pri določeni intenziteti svetlobe (točka kompenzacije svetlobe) pa je hitrost dihanja enaka stopnji fotosinteze (brez neto vnosa ali izgube $CO_2$). Barva svetlobe poleg intenzitete svetlobe

vpliva tudi na hitrost fotosinteze. Rastline lahko uporabljajo valovne v dolžini med 400 nm in 700 nm za fotosintezo. Ta valovni pas se imenuje fotostetično aktivno sevanje (PAR) (Davis 2015).

Količina svetlobe, ki je na voljo rastlinam, je glede na geografsko območje in letni čas zelo spremenljiva. Npr. kadar je sonce nižje v zenitu mora svetloba preiti skozi večji volumen atmosfere, preden doseže zemeljsko površino, kar povzroči spremembe v spektru, saj atmosfera filtrira sorazmerno več kratke valovne dolžine svetlobe, torej filtrira več UV-svetlobe kot modre in več modre kot zelene ali rdeče. Spremembe spektralne sestave glede na geografsko območje in letni čas vplivajo na odzivnost rastlin na svetlobo (Davis 2015).

### Voda

Razpoložljivost številnih hranil je odvisna od pH vode. Na splošno je območje tolerance za večino rastlin pH od 5,5 do 7,5. Če pH presega to območje, se sprejemanje hranil ustavi, kar pomeni, da čeprav so hranila v vodi, jih rastline ne morejo privzemati. To še posebej velja za železo, kalcij in magnezij. Dokazano je, da do manj motenj pri privzemu hranil prihaja v zrelih akvaponskih sistemih kot v hidroponiki, ker ima akvaponika cel ekosistem, medtem ko je hidroponika polsterilni sistem. Posledično v akvaponskih sistemih prihaja do bioloških interakcij med rastlinskimi koreninami, bakterijami in glivami, ki lahko omogočijo vnos hranil tudi pri višjih ravneh pH, npr. več kot 7,5. Najbolje je vzdrževati rahlo kisel pH (6–7), vendar je treba razumeti, da sistem lahko deluje tudi pri višjem pH (7–8) (Somerville *et al.* 2014c).

Večina rastlin potrebuje večje količine (> 3 mg/L) raztopljenega kisika (DO) v vodi. Ta kisik rastlini olajša prenos hranljivih snovi skozi površino korenin in v notranjost rastline. Brez kisika lahko rastline dobijo koreninsko gnilobo, pri kateri korenine odmrejo in se razrastejo glive. Prav tako pri nizki koncentraciji raztopljenega kisika delujejo mnogi koreninski patogeni: če ima voda malo kisika, lahko ti patogeni napadajo korenine (Pantanella 2012).

Najustreznejša temperatura vode za večino zelenjave je 14–22 °C, čeprav se optimalne rastne temperature razlikujejo glede na različne rastlinske vrste (glej Poglavje 7). Na splošno ima temperatura vode večji vpliv na rastline kot temperatura zraka. Prednostno temperaturno območje imajo tudi bakterije in drugi mikroorganizmi, ki naseljujejo akvaponski sistem. Npr. nitrifikacijske bakterije, ki pretvorijo amonijak v nitrate, bolje uspevajo pri povprečni temperaturi pri približno 20 °C (Pantanella 2012; Somerville *et al.* 2014c).

### Ogljikov dioksid ($CO_2$)

Med fotosintezo rastline uporabljajo $CO_2$ za sintezo organskih snovi in posledično sproščajo kisik. Povečane koncentracije $CO_2$ spodbudijo fotosintezo in rast rastlin. Svež zrak vsebuje približno 0,037 % $CO_2$, v tesno zaprtem rastlinjaku ali sobah pa se lahko zunanji $CO_2$ hitro porabi. V plastičnem rastlinjaku se lahko raven $CO_2$ zmanjša na manj kot 0,02 % le uro ali dve po sončnem vzhodu. Pri koncentracijah pod 0,02 % je rast rastlin precej počasnejša, pod 0,01 % pa rastline prenehajo rasti. S povečanjem deleža $CO_2$ na 0,075–0,15 % lahko pridelovalci pričakujejo od 30- do 50-% povečanje

donosa v primerjavi z okoliškimi ravnmi $CO_2$, čas do ploda in cvetenja pa se lahko skrajša za 7–10 dni. Kljub temu pa ima lahko prekomerna obogatitev s $CO_2$ tudi negativne vplive. Ravni nad 0,15 % so potratne, ravni nad 0,5 % pa škodljive. Visok delež $CO_2$ povzroči zapiranje listnih rež na listih rastlin, kar povzroči začasno zaustavitev fotosinteze, in ker rastline ob zaprtju rež ne morejo več ustrezno transpirirati vodnih hlapov, listi lahko postanejo ožgani.

### Temperatura

Temperatura je glavni okoljski dejavnik, ki vpliva na procese vegetativne rasti v rastlinah od začetnih faz razvoja do oblikovanja cvetov. Vsaka rastlinska vrsta ima svoj optimalni temperaturni razpon. Rastline si prizadevajo doseči svojo optimalno temperaturo, pri tem pa je pomembno ravnovesje med temperaturo zraka, relativno vlažnostjo in svetlobo. Če je svetloba premočna, se bo rastlina segrela, kar povzroči razliko med temperaturo rastline in temperaturo zraka. Da bi se ohladila, se mora stopnja transpiracije rastline povečati. Zelo nizke ali visoke temperature v rastnem okolju lahko škodujejo različnim presnovnim procesom, kot so vnos hranil, tvorba klorofila in fotosinteza. Na splošno je znano, da zvišanje ali znižanje temperature nad ali pod optimalno raven spremeni več fizioloških procesov v rastlinah in poškoduje rastlinske celice ter se posledično spremeni rast.

### Relativna vlažnost

Relativna vlažnost (RH) je količina vodne pare, ki je prisotna v zraku in je izražena v odstotkih. Relativna vlaga neposredno vpliva na vodni režim rastline, posredno pa na rast listov, fotosintezo in pojav bolezni. Pri visokem RH se stopnja transpiracije zmanjša, turgor tlak je visok in rastlinske celice rastejo. Kadar je RH nizek, se transpiracija poveča, kar povzroči pomanjkanje vode v rastlini, to pa lahko povzroči venenje rastline. Primanjkljaji vode povzročajo delno ali popolno zapiranje rež, s čimer preprečijo vstop CO2 v liste in zavirajo fotosintezo. Pojavnost škodljivcev in bolezni žuželk je pri pogojih z visoko vlažnostjo visoka, visoka vlažnost pa ugodno vpliva tudi na enostavno kalitev glivičnih spor na listih rastlin.

## 6.4 Splošne prakse gojenja

Postopno sajenje omogoča nenehno obiranje in presajanje zelenjave. Najbolje je, da je presežek rastlin pripravljen za vstop v sistem, saj je čakanje na sadike, pripravljene za presaditev, glavni razlog za zamude pri proizvodnji. Načrtovanje posevkov je podrobneje opisano v Poglavju 7.

### 6.4.1 Sadike iz semen

Nabiranje semen iz gojenih rastlin je pomembna ekonomična in trajnostna strategija razen pri gojenju hibridnih rastlin F1 (glej spodaj). Seme je treba nabirati le iz zrelih rastlin, saj semena mladih rastlin ne bodo kalila, stare rastline pa bodo že razpršile svoje seme. Nabiranje semen iz več različnih rastlin bo pomagalo ohraniti gensko raznolikost in zdrave rastline. Obstajata dve glavni kategoriji semen: suhi in mokri plodovi. Suhe plodove imajo bazilika, solata in brokoli. Semena bazilike lahko nabiramo v celotni rastni dobi, solatna in brokolijeva semena pa lahko naberemo šele takrat, ko je rastlina popolnoma dozorela in ni več uporabna kot zelenjava. Semenske glavice je treba odrezati iz rastline in jih hraniti v veliki papirnati vrečki 3–5 dni v hladnem in temnem prostoru, nato pa jih rahlo

stresati, da se semena sprostijo. Potem ko vsebino vrečke presejemo, je treba semena dati v papirnato vrečko za shranjevanje (Somerville *et al.* 2014a).

Vlažne plodove imajo kumare, paradižnik in paprika. Semena se razvijejo v plodu, navadno obložena v gelirani vrečki, ki preprečuje kalitev semen. Ko so plodovi pripravljeni za obiranje, kar se ponavadi kaže z močno in živo barvo, je treba užitni del odstraniti iz rastline in semena zbrati z žlico. Ko gel speremo z vodo in semena obrišemo z gladko krpo, je treba semena, preden jih shranimo v papirnato vrečko, posušiti v senci in jih občasno obrniti (Somerville *et al.* 2014a).

Večina komercialnih sadik zelenjave je pridelana iz hibridnih semen F1, ki nastanejo z nadzorovanim opraševanjem dveh gensko ločenih matičnih rastlin. Seme F1 je zaželeno, ker ima večina rastlin enake lastnosti in obrodi enako količino plodov podobne kakovosti. Iz semen F1 zrastejo tudi rastline z večjimi in močnejšimi cvetovi in plodovi. Hibridi so zato močnejši in lažje premagajo slabe rastne razmere. Semena, shranjena iz hibridnih rastlin F1, pa ne obrodijo rastlin, ki bi ustrezale matičnemu tipu (Rorabaugh 2015).

Semena se lahko posadi v setvene platoje iz polistirena, napolnjene z rastnim medijem, kot so kamena volna, vermikulit ali perlit. Za komercialno gojenje semena običajno kalimo v kockah za kalitev iz kamene volne ali kokosovih vlaken. Kocke so debele 2,5 cm, na vrhu pa imajo majhno luknjo, v katero vstavimo seme. Začetne kocke lahko nato presadimo v večje z 2,5 cm veliko luknjo, v katero vstavimo celotno začetno kocko in tako zmanjšamo koreninski stres ob presajanju (Rorabaugh 2015).

Slika 10: Sadike, ki kalijo v začetnih kockah iz kamene volne
(Vir: https://commons.wikimedia.org/wiki/Category:Hydroponics#/media/File:Hydroponic_Farming.jpg)

Setveni platoji morajo omogočati zadostno razdaljo med sadikami, da se omogoči dobra rast pod enakimi svetlobnimi pogoji. Platoji naj bodo v senci, sadike pa je treba zalivati vsak dan. Preveč vode poveča nevarnost glivičnih okužb. Po kalitvi in ob pojavu prvih listov sadike lahko utrdimo tako, da jih vsak dan postavimo na intenzivnejšo sončno svetlobo. Sadike je treba gojiti vsaj dva tedna po pojavu prvega lista, da zagotovimo ustrezno rast korenin. Gnojimo jih lahko enkrat na teden z nežnim organskim gnojilom z veliko fosforja, da okrepimo korenine (Somerville *et al.* 2014c).

Sadike je treba presaditi v sistem, ko je dosežena ustrezna rast in so rastline dovolj močne. Izogibati se je treba presajanju sadik sredi dneva, saj so korenine rastlin zelo občutljive na neposredno sončno svetlobo, na liste pa lahko vpliva vodni stres zaradi novih pogojev gojenja. Priporočljivo je saditi ob mraku, da se mlade sadike ponoči lahko prilagodijo novemu okolju (Somerville et al. 2014c).

Slika 11: Presaditev čebulnih čepov v sistem DWC
(Vir: https://commons.wikimedia.org/wiki/Category:Hydroponics#/media/File:Hydroponic_onions_nasa.jpg)

Slika 12: Mrežasti lonček, ki se uporablja za sajenje v sistemu NFT (Vir: https://commons.wikimedia.org/wiki/Category:Hydroponics#/media/File:2009-03-30_Lettuce_roots.jpg)

Sadike je treba presaditi v mrežne lončke, ki vsebujejo 3–4 cm gramoza ali rastnega medija, preostanek lončka pa je napolnjen z mešanico gramoza in medija, ki zadržuje vlago. Medij pomaga zadrževati vodo, ker se mlade korenine rastlin komaj dotikajo pretoka vode v rastni cevi. Po enem tednu bi se morale korenine raztegniti skozi mrežni lonček v cev ter imeti poln dostop do vode, ki teče po dnu. Luknje za sajenje v rastni cevi se morajo ujemati z velikostjo mrežastih lončkov, med sredino vsake luknje za rastline pa mora biti dovolj prostora za namestitev gojenih rastlin (Somerville *et al.* 2014b).

### 6.4.2 Presaditve iz potaknjencev

Potaknjenci so del stebla, korenine, lista ali listnega brsta, odstranjen iz matične rastline. Da tem delom spodbudimo rast korenin in poganjkov, uporabimo kemična, mehanska in/ali okoljska sredstva. Nastale rastline bodo kloni matične rastline s popolnoma enako genetsko sestavo. Npr. stranske poganjke rastlin paradižnika lahko odstranimo in s spodnjim koncem postavimo v vodo, korenine pa se bodo oblikovale v nekaj dneh, najkasneje pa v enem tednu. Material matične rastline ne sme imeti bolezni in škodljivcev, material, izbran za potaknjence, pa mora biti v ustreznem fiziološkem stanju, da se korenine in poganjki hitro razvijejo. Presaditve iz potaknjencev je mogoče gojiti na skupnih setvenih platojih. Kamena volna je tudi primeren medij za ukoreninjanje potaknjencev. Odstranimo vse razen zgornjih 4–5 listov, da zmanjšamo izgubo vode. Ker potaknjenci sprva nimajo korenin, se v rastlinjakih običajno uporablja vlaženje z meglo za vzdrževanje vlažnega okolja in zmanjšanje izgube vode, medtem ko se korenine razvijajo (Rorabaugh 2015).

Pri nekaterih vrstah spodbuja razvoj korenin hormon avksin, ki je naravno prisoten pri rezanju. Druge vrste je treba zdraviti s koreninsko spojino, tj. pripravkom iz sintetičnega avksina. Uporaba gretja od spodaj, ki ga zagotavljajo električni kabli, električni podstavki ali cevi s toplo vodo, ki se nahajajo pod koritom ali pladnji s potaknjenci, bo prav tako pospešila razvoj korenin. V vodo se ne doda nobenih hranilnih snovi, dokler se ne oblikujejo korenine. Razmnoževanje s potaknjenci pri zelenjadnicah je zelo delovno intenzivno, zato se namesto tega običajno uporabljajo semena (Rorabaugh 2015).

### 6.4.3 Sadike z uporabo cepljenk

Cepljenje je tehnika povezovanja dveh predhodno ločenih rastlinskih delov, da nastane rastlina, ki živi in raste kot eno. Podlaga je spodnji del rastline, vključno s koreninami, medtem ko je cepič zgornji del, vključno s poganjki in mirujočimi brsti, iz katerih zrastejo nova stebla, listi itd. Cepljenje se pogosto uporablja v komercialni proizvodnji sadik paradižnika. Čeprav je zelo delovno intenziven, obstaja več razlogov za njegovo uporabo, npr. ohranjanje klonov, ki jih ni mogoče enostavno vzdrževati z drugimi nespolnimi metodami, in ustvarjanje specializiranih oblik rasti. Profesionalni pridelovalci zelenjave v hidroponiki uporabljajo tudi cepljene rastline, ne le za zaščito pred patogeni, ampak tudi za povečanje donosa številnih rastlin v rastlinjakih, vključno s paradižnikom, z močnimi, vegetativnimi koreninskimi podlagami, ki lahko podpirajo dve glavi. Podlaga in cepič morata biti

združljiva (ponavadi ista družina ali rod) in v ustrezni fiziološki fazi, da se oba dela zlijeta v enega (Rorabaugh 2015).

## 6.5 Gnojenje

Gnojenje je uporaba gnojil v ustrezni kombinaciji, koncentraciji in pH. Mineralna prehrana je pomembna za optimalno rast rastlin. Optimalne prehranske razmere se lahko razlikujejo med različnimi rastlinskimi vrstami, pri isti vrsti rastline pa v različnih obdobjih njenega življenjskega cikla, v različnih obdobjih leta in pri različnih okoljskih pogojih. Tudi uravnoteženi akvaponski sistemi lahko občutijo pomanjkanje hranil. Krme za ribe nimajo nujno ustreznih količin hranil za rastline in imajo običajno nizke vrednosti železa, kalcija in kalija (glej Poglavje 5). Zato so morda potrebna dodatna gnojila za rastline, zlasti pri gojenju plodovk ali tiste zelenjave z visokimi potrebami po hranilih. Sintetična gnojila so pogosto preveč agresivna za akvaponiko in lahko vplivajo na uravnoteženost ekosistema. Na splošno se železo doda kot kelatno železo, da doseže koncentracijo približno 2 mg/L. Kalcij in kalij se dodata pri dodajanju pufra v vodo do ustreznega pH. Dodajata se kot kalcijev oz. kalijev hidroksid ali kot kalcijev oz. kalijev karbonat. Izbira pufra je odvisna od vrste rastline, ki se goji: listnata zelenjava lahko potrebuje več kalcija, medtem ko sadne rastline potrebujejo več kalija (Somerville *et al.* 2014c).

Glavna sestavina vsake hidroponske hranilne raztopine je voda, zato pripravo raztopine začnemo z laboratorijsko analizo vzorca vode. Tri glavne stvari, ki jih je treba opazovati, so alkalnost, električna prevodnost in koncentracija določenih elementov. Alkalnost, ki je merilo sposobnosti vode, da nevtralizira kislino, običajno merimo v mg/L ekvivalenta kalcijevega karbonata ($CaCO_3$). Vrednosti alkalnosti se lahko gibljejo od blizu 0 (v zelo čisti vodi ali s povratno osmozo) do več kot 300 mg/L $CaCO_3$. Večja ko je alkalnost vode, bolj bo pH v hranilni raztopini naraščal. Alkalnost vodnega vira je veliko pomembnejša številka kot njen pH: pH je preprosto enkratni posnetek, kako kisla ali bazična je voda, medtem ko je alkalnost merilo njenega dolgotrajnega pH-učinka. Šele ko je znana alkalnost vode, je mogoče izbrati ustrezno sestavo gnojila. Glede na alkalnost bo morda treba izbrati formulacijo z večjim deležem kislih dušikovih oblik (amonijak ali sečnina) ali dodati kislino, da nevtralizira alkalnost in prepreči dvig pH (Mattson & Peters 2014).

Električna prevodnost (EC) je merilo celotne raztopljene soli, vključno z glavnimi elementi in neželenimi onesnaževali (kot je natrij). EC je groba mera čistosti vodnega vira. V najustreznejših razmerah bi morala biti vrednost EC za manj kot 0,25 mS/cm za zaprte sisteme. Pri pripravi recepta hranilne raztopine je treba upoštevati koncentracijo glavnih elementov (glej spodaj). Voda iz pipe lahko pogosto vsebuje precejšnje vsebnosti Ca, Mg, S in P. Na in $Cl^-$ (namizna sol) sta v nekaterih vodah pogosti onesnaževali; v najboljšem primeru naj bi bila manjša od 50 oz. 70 mg/L (Mattson & Peters 2014).

Mineralna hranila so na voljo v obliki tekočin ali praškastih koncentratov, ki jih razredčimo z vodo. Hranila so na voljo v različnih formulah, ki ob mešanju zagotavljajo vse bistvene elemente. Ponavadi

spojine, ki vsebujejo kalcij, ostanejo ločene od fosfatnih in sulfatnih spojin, ker se kalcij v visokih koncentracijah združi s fosfati in sulfati ter tvori netopne oborine. Tipična raztopina hranil je razdeljena na tri rezervoarje: rezervoar s kalcijem/železom, makro-/mikrorezervoar, ki vsebuje vsa druga hranila, in rezervoar s kislino, ki je ločen zato, da se pH prilagodi posamično (Rorabaugh 2015).

Pridelovalec bo začel pripravo hranilne raztopine z receptom – seznamom anorganskih spojin in njihovih končnih koncentracij v mg/L (miligram na liter) ali mmol (milimol). V receptu je treba upoštevati rastlino, ki jo želimo gojiti, geografsko območje in okoljske razmere ter letni čas. V Tabeli 3 je prikazan recept hranilne raztopine za gojenje paradižnikov v Las Vegasu pozimi. V tednih 0–6 je v receptu več dušika, kalcija in magnezija, da se zagotovi dobro strukturo in vegetativno rast. V tednih 6–12 se dušik zmanjša, kalij pa poveča, da se pospeši cvetenje (razmnoževanje). Po 12. tednu pa je recept ohranja ravnovesje med vegetativno in reproduktivno rastjo (Rorabaugh 2015).

Tabela 2: Primer recepta hranilne raztopine, ki ga uporablja Sunco Ltd., Las Vegas NV, za paradižnik pozimi (Vir: Rorabaugh 2015)

| Hranilo (mg/L) | Teden 0–6 | Teden 6–12 | Po 12. tednu |
|---|---|---|---|
| N | 224 | 189 | 189 |
| P | 47 | 47 | 39 |
| K | 281 | 351 | 341 |
| Ca | 212 | 190 | 170 |
| Mg | 65 | 60 | 48 |
| Fe | 2,0 | 2,0 | 2,0 |
| Mn | 0,55 | 0,55 | 0,55 |
| Zn | 0,33 | 0,33 | 0,33 |
| Cu | 0,05 | 0,05 | 0,05 |
| B | 0,28 | 0,28 | 0,28 |
| Mo | 0,05 | 0,05 | 0,05 |

HydroBuddy je odprtokodni program za izračun hranilnih raztopin, ki jih uporabljamo v hidroponiki. S programom lahko določimo količino soli, ki je potrebna za pripravo hranilne raztopine z dano sestavo, ali pa določimo koncentracije hranil v raztopini na podlagi določene fiksne mase soli. Medtem ko baza podatkov vsebuje vnaprej določene formulacije, lahko program prilagodimo tako, da vanj vnašamo druge pripravke.

## 6.6 Nadzorni sistemi v rastlinjaku

Nadzorni sistemi vključujejo sisteme za razsvetljavo, ogrevanje, hlajenje, relativno vlažnost in obogatitev $CO_2$. Čeprav je koristno imeti popolnoma nadzorovano okolje, lahko akvaponsko gojenje uspeva tudi brez njega ali z le nekaterimi parametri.

### 6.6.1 Razsvetljava

Za optimalno fotosintezo, rast in izkoristek je najpomembnejša največja svetlobna prepustnost ustrezne količine in kakovosti (PAR, 400–700 nm). Če je poleti preveč svetlobe, lahko na zunanji strani rastlinjaka nanesemo barvo za senčenje ali belo apneno barvo. Barva se bodisi iztroši do konca rastne sezone bodisi jo je treba sprati. Na zunanji strani rastlinjaka lahko obesimo tkanine za senčenje, z različno gostoto tkanja, tako da preprečimo premočno svetlobo (npr. 30-%, 40-%, 50-% senca). Če je pozimi premalo svetlobe, lahko bela odsevna pokrivala tal precej povečajo raven svetlobe v rastlinskem sestoju (Rorabaugh 2015).

Umetne luči se lahko uporabljajo za podaljšanje zimske rastne sezone. V rastlinjakih se uporabljajo različne tehnologije, najpogostejša vrsta pa so LED-svetila. Za razliko od drugih sistemov umetne razsvetljave, LED-svetila ne vsebujejo steklenih ali plinastih sestavin: vse te so v trdnem stanju, zato so manj krhke kot druge vrste svetil in so lahko nameščene na mestih, kjer se lahko druga svetila poškodujejo in predstavljajo tveganje za zdravje in varnost. Edini negativni vpliv uporabe LED-osvetlitve v rastlinjakih pa je lahko pomanjkanje sevalne toplote, kar zmanjšuje skupni prihranek energije, saj so potrebe po ogrevanju večje (Davis 2015).

LED-svetila so zdaj na voljo s skoraj katero koli valovno dolžino med 200 in 4000 nm. Prednosti LED-svetil so: (i) njihova visoka učinkovitost (izhod svetlobne/električne energije) v primerjavi z drugimi svetlobnimi viri; (ii) oddajana svetloba je usmerjena, kar zmanjšuje količino razpršene svetlobe in zagotavlja, da največja količina svetlobe doseže pridelek; (iii) s spreminjanjem števila in barv LED-diod, vgrajenih v svetlobno enoto, lahko spreminjamo spekter svetlobe glede na namen uporabe. Tako z izbiro diod izboljšamo osvetljavo, ki omogoča izboljšanje posebnih lastnosti rastlin ali nadzor nad morfologijo rastlin in časom cvetenja. Za pridelavo zdravih rastlin sta potrebni rdeča in modra svetloba. Rdeča svetloba se najučinkoviteje uporablja za fotosintezo, toda rastline običajno uspevajo učinkovitejše, če je v svetlobnem spektru nekaj modre svetlobe za pospeševanje vnosa $CO_2$, saj modra svetloba spodbuja odpiranje listnih rež. Odzivi rež na svetlobo se glede na vrsto rastlin razlikujejo, zato vse vrste nimajo enakih koristi ob dodajanju modre svetlobe. Pri solati se je npr. hitrost rasti upočasnila, ko je naraščala modra svetloba (Davis 2015).

V določenih primerih imajo lahko dodatne barve svetlobe dodatne koristi. Pokazalo se je, da vključitev zelene svetlobe povečuje kopičenje sveže in suhe mase v solatah, ko zelena svetloba nadomesti nekaj modre ali rdeče svetlobe v mešanici. Zelena svetloba lahko prodira tudi globlje v sestoj rastlin in zato spodbuja fotosintezo. Rdeča svetloba je pomembna za rast in razvoj rastlin ter uspešnost v celotni rastni sezoni. Čeprav lahko zavira kalitev semen solate, lahko kljub temu poveča površino listov, kar lahko omogoči večji zajem svetlobe in pospeši rast. Po drugi strani to povzroči podaljševanje rastline in tvorbo cvetnih poganjkov. Globokordeča svetloba se uporablja predvsem za za nadzor nad časom cvetenja (Davis 2015).

LED-svetila so priložnost za sejanje pridelkov na netradicionalne načine. LED-svetila so hladni viri svetlobe, zato jih je mogoče namestiti blizu rastlin ali v rastlinski sestoj za osvetlitev listov, ki običajno prejemajo malo naravne ali dodatne svetlobe. Z dodajanjem svetlobe listom, ki so običajno v senčnem predelu sestoja, lahko rastline svetlobo učinkoviteje izkoristijo. To pomeni, da notranje osvetljevanje poveča pridelek v primerjavi z dodano enako količino svetlobe na vrh sestoja. Ugotovili so, da moteča modra svetloba neenakomerno vpliva na rast kumar in paradižnika (Davis 2015).

Spreminjanje spektra lahko uporabimo tudi za izboljšanje pigmentacije. Modra svetloba je pomembna za spodbujanje sinteze antociana, ki je ena od spojin, ki povzročajo rdečo pigmentacijo. Svetloba je pomembna tudi pri uravnavanju biosinteze številnih spojin, ki delujejo tako, da neposredno spremenijo okus in vonj listov, plodov in cvetov. Izpostavljenost UVB-svetlobi je povezana s povečano vsebnostjo olj in hlapnih vrst v različnih vrstah zelišč, vključno z meliso in baziliko (Davis 2015).

V večini raziskav je vpliv kakovosti svetlobe na kakovost pridelka upoštevan med rastjo pridelka, v zadnjem času pa je bil upoštevan tudi učinek uporabe svetlobe po žetvi. Obdelava pridelkov po obiranju lahko izboljša lastnosti pridelka med prevozom, da se zakasni staranje in tako podaljša rok trajanja. Ugotovili so, da dve uri rdeče svetlobe nizke intenzitete pripomoreta, da se venenje listov bazilike zamakne za dva dneva med skladiščenjem pri 20 °C v temi (Davis 2015).

Z različnimi barvami svetlobnega spektra lahko vplivamo na rastline tako, da zadovoljimo različne potrebe:

- ultravijolično svetlobo lahko uporabimo za krajšanje internodijev,
- modro in ultravijolično svetlobo lahko uporabimo za povečanje tolerance rastlin na stres pred presaditvijo,
- modra svetloba lahko spodbuja vegetativno rast in preprečuje kratkodnevnim rastlinam cvetenje v času razmnoževanja,
- z rdečo svetlobo lahko spodbudimo cvetenje in podaljšamo internodije, da pridelamo rastline z daljšimi stebli in večjimi cvetovi,
- za nadzor fotoperiodizma rastlin lahko uporabimo daljnosežno svetlobo.

Luksmetri se v vrtnarstvu pogosto uporabljajo za merjenje intenzitete visokotlačnih natrijevih žarnic (HPS). Luksmetri imajo enako občutljivost na različna področja elektromagnetnega spektra kot človeško oko, ki je najobčutljivejše na zeleno svetlobo. Pri mnogih vrtnarskih LED-svetilih, zlasti tistih s pretežno rdečimi in modrimi svetlečimi diodami, emisijski spekter pade na območja, kjer so luksmetri dokaj neobčutljivi. Zelo nizke ocene dajejo tudi takrat, kadar je dejanska intenziteta teh spektrov velika. Najprimernejša meritev svetlobe pri gojenju rastlin je merjenje fotonov PAR (imenovano tudi fotosintezna gostota fotonskega toka, PDFD). Sevanje PAR označuje število fotonov, ki padejo na površino, izmerjeno v mikromolih na kvadratni meter na sekundo (µmol $m^{-2}$ $s^{-1}$). Ker se fotosinteza meri v podobnih enotah (µmol [$CO_2$] $m^{-2}$ $s^{-1}$), uporaba sevanja PAR omogoča neposredne primerjave med količino svetlobe in količino fotosinteze (Davis 2015).

Slika 13: Pridelovanje pod UV-svetlobo
(Vir: https://commons.wikimedia.org/wiki/Category:Aquaponics#/media/File:Light_on_Aquaponics.jpg)

### 6.6.2 Temperatura in vlažnost

Ogrevalne naprave v obdobjih hladnega vremena vzdržujejo temperaturo zraka v optimalnem območju. Izolacijski material (pregrinjala ali filmske zavese) se lahko namesti nad posevek ali blizu strehe, da zadrži toploto v bližini pridelka. Izolacijski material, ki se uporablja ponoči, je lahko enak materialu, ki se uporablja za senčenje čez dan (Rorabaugh 2015).

Visoke temperature zraka so lahko škodljive za rast rastlin, še posebej ob slabši osvetlitvi, saj lahko povzročijo težave, kot so tanka in šibka stebla, manjši cvetovi, zapoznelo cvetenje in/ali slabo opraševanje/oplojevanje in slabi nastavki plodov ter propad cvetov in brstov/plodov. Pasivni prezračevalni sistemi vključujejo pregrinjala za senčenje ali barvo za senčenje (apnenje), ki poleg uravnavanja moči svetlobe lahko pomagajo tudi pri hlajenju rastlinjaka. Zračniki na strehi rastlinjaka omogočajo uhajanje vročega notranjega zraka. Površina zračnikov naj predstavlja 25 % talne površine. Zložljive stranske stene je mogoče uporabiti v rastlinjakih z gibko zasteklitvijo (polietilenski film), da se omogoči naravni vodoravni pretok zraka med rastlinami. Tako kot pri strešnih odprtinah mora biti tudi odprtina stranskih sten 25 % talne površine. Vodno hlajene plošče na vrhu hladilnih stolpov lahko uporabimo za hlajenje okoliškega zraka, ki se nato spusti in izpodrine toplejši zrak. Novi modeli rastlinjakov imajo lahko tudi streho, ki se v celoti zloži in omogoča naravno prezračevanje. To rastlinam, ki jih gojimo v rastlinjakih, omogoča, da se prilagodijo zunanjim razmeram (Rorabaugh 2015).

Aktivni hladilni sistemi vključujejo ventilator in plošče z evaporacijskim hlajenjem, pri čemer zrak od zunaj prehaja skozi porozne, mokre plošče (navadno celulozni papir). Toplota iz vhodnega zraka upari vodo iz plošč in s tem hladi zrak. Hlajenje z izhlapevanjem pripomore tudi k večji relativni vlagi v rastlinjaku. Alternativni sistemi z zameglitvijo uporabljajo tudi hlajenje z izhlapevanjem, vendar

vključujejo razpršitev vodnih kapljic, ki izhlapevajo in črpajo toploto iz zraka. Ti sistemi zagotavljajo enakomerno porazdelitev toplote, saj se meglica porazdeli po celotnem rastlinjaku in ne le blizu enega konca plošče kot pri sistemu ventilatorjev in plošč. Kapljice so manjše, zato hitreje izhlapijo, hitrost hlajenja pa se tako poveča. Relativno vlažnost lahko povečamo s hlajenjem plošč ali z zamegljevanjem, zmanjšamo pa jo lahko z delovanjem grelcev ali z odzračevanjem (Rorabaugh 2015).

### 6.6.3 Ogljikov dioksid ($CO_2$)

Hitrost fotosinteze je odvisna od razpoložljivosti $CO_2$. Prezračevanje lahko povzroči zadostno količino $CO_2$ spomladi, poleti in jeseni. Pozimi ali ne glede na letni čas v hladnih podnebjih pa prezračevanje v rastlinjak prinese hladen zrak, zato je treba vzdrževati primerno temperaturo, kar je lahko neekonomično. Dodajanje $CO_2$ je učinkovit način za povečanje ravni $CO_2$ v rastlinjaku pozimi ali v hladnem podnebju. Generatorji $CO_2$ lahko delujejo na različne vrste goriva, vključno z zemeljskim plinom (najbolj ekonomično) ali propanom. Generatorji z odprtim plamenom proizvajajo toploto in vodno paro kot stranska proizvoda, zato pridelovalci v hidroponiki včasih uporabljajo generatorje $CO_2$ pozimi, ko je potreba po dodatni toploti večja, poleti pa ustekleničeni $CO_2$ in dozirne naprave, ki ne proizvajajo dodatne toplote ali vlage. Ker $CO_2$ rastline sproščajo ponoči z dihanjem, se ravni do jutra lahko povišajo na 0,045 % do 0,070 %. Najbolj ekonomičen način za zagotavljanje dodatnega $CO_2$ je, da se $CO_2$ začne dozirati eno uro po prižigu luči, zadnji odmerek pa naj bo doziran eno uro pred izklopom luči. Da bi $CO_2$ ohranili na optimalni ravni, je najbolje odmerjati $CO_2$ krajši čas pri večjih količinah kot pa daljši čas pri manjših količinah (Rorabaugh 2015). V akvaponiki so ribji rezervoarji pogosto v istem prostoru kot hidroponska komponenta. Dihanje rib dvigne raven $CO_2$ v sistemski vodi, $CO_2$ vstopi tudi v ozračje, zato dodatni vnosi $CO_2$ bodisi niso potrebni bodisi so zelo majhni (Körner *et al.* 2014).

### 6.6.4 Kroženje zraka

Eden od razlogov za postavitev hidroponike v rastlinjak je ustvarjanje nadzorovanega okolja za vse rastline. Kljub temu lahko v času, ko grelni in hladilni sistemi ne delujejo, nastanejo žepi z visoko ali nizko temperaturo, relativno vlažnostjo ali $CO_2$, kar je lahko manj kot optimalno za rast rastlin ali razvoj cvetov/plodov. Ventilatorji vodoravnega pretoka zraka (HAF) se lahko namestijo v špirovce rastlinjaka, da zrak kroži nad pridelkom. To zmanjša žepe toplega ali hladnega zraka ter visoke ali nizke vlažnosti ali $CO_2$. Ventilatorji HAF se lahko uporabljajo skupaj z grelnimi sistemi na vroč zrak za kroženje toplega zraka po celotnem rastlinjaku (Rorabaugh 2015).

### 6.6.5 Sistemi za nadzor okolja

Sistemi za nadzor okolja so lahko zelo preprosti ali zelo zapleteni. Najenostavnejši sistemi vključujejo ročno odpiranje stranskih zračnikov, odpiranje strešnega zračnika ali vrat oz. vklop grelne ali hladilne naprave. Preprosti krmilniki delujejo s termostatom v rastlinjaku in samodejno nastavljajo dnevne in nočne temperature, odpirajo in zapirajo prezračevalnike ter vklapljajo ali izklapljajo grelne in hladilne naprave. Postopni krmilniki tudi samodejno nadzirajo eno ali dve stopnji ogrevanja, odvisno od števila grelnikov, in nadzirajo več stopenj hlajenja z uporabo hladilnih ventilatorjev in črpalk za

vlaženje plošč. Najzapletenejši sistemi za nadzor okolja uporabljajo natančne računalnike, ki delujejo na podlagi temperaturnega senzorja v rastlinjaku in samodejno nastavljajo dnevne in nočne temperaturne meje, nadzorujejo grelne naprave, vključno s kotli, ogrevanjem koreninskega pasu, zavesami za zadrževanje toplote itd., nadzorujejo tudi drugo opremo, predvsem ventilatorje HAF, zračnike, črpalke s ploščicami, sisteme za zameglitev itd., nadzorujejo relativno vlažnost ter senčne zavese in umetno razsvetljavo, odvisno od svetlobnih potreb. Ti računalniki lahko nadzirajo tudi zunanjo vremensko postajo in zbrane podatke (svetloba, temperatura, relativna vlaga, dež in veter) uporabljajo za nadzor notranjih razmer v rastlinjaku. Prav tako lahko upravljajo sistem gnojenja s samodejno uporabo svetlobne količine (npr. X ml količine raztopine/Y količine svetlobe) in nadzirajo čas in rajanje zalivanja, pH in EC raztopine hranilne snovi ter zameglitev (Rorabaugh 2015).

## 6.7 Literatura


Davis, P. 2015. *Lighting: The Principles.* Agriculture and Horticulture Development Board Technical Guide.

Drzal, M.S., Keith Cassel, D. & Fonteno, W.C. 1999. Pore fraction analysis: A new tool for substrate testing. *Acta Horticulturae* 481, 43-54.

Körner, O., Gutzmann, E. & Kledal, P.R. 2014, Modelling the symbiotic effects in aquaponics. European Aquaculture Society conference, Donastia/San Sebastian, Spain, October 2014.

Lee, S. & Lee, J. 2015. Beneficial bacteria and fungi in hydroponic systems: Types and characteristics of food production methods. *Scientia Horticulturae* 195, 206-215.

Lennard, W.A. & Leonard, B.V. 2006. A comparison of three different hydroponic sub-systems (gravel bed, floating and nutrient film texhnique) in an aquaponics test system. *Aquaculture International* 14 (6), 539-550.

Li, Q., Li, X., Tang, B. & Gu, M. 2018. Growth responses and root characteristics of lettuce grown in aeroponics, hydroponics, and substrate culture. *Horticulturae* 4 (4), 35.

Mattson, N. & Peters, C. 2014. *A Recipe for Hydroponic Success*. Inside Grower.

Maucieri, C., Nicoletto, C., Junge, R., Schmautz, Z., Sambo, P. & Borin, M. 2018. Hydroponic systems and water management in aquaponics: A review. *Italian Journal of Agronomy* 13: 1012.

Pantanella, E. 2012. *Aquaponic System Design Parameters: Basic System Water Chemistry.* Aquaponic Solutions.

Pantanella, E., Cardarelli, M. & Colla, G. 2012. Yields and nutrient uptake from three aquaponics sub-systems (floating, NFT and substrate) under two different protein diets. World Aquaculture Society Meeting, Prague, 1-5 Sept 2012.

Raviv, M., Wallach, R., Silber, A. & Bar-Tal, A. 2002. Substrates and their analysis. In Passam, H. & Savvas, D. (eds.) *Hydroponic Production of Vegetables and Ornamentals.* Embryo Publications, Athens, pp. 25-105.

Resh, H.M. 2013. *Hydroponic Food Production: A Definitive Guidebook for the Advanced Home Gardener and the Commercial Hydroponic Grower* (7th edition). Newconcept Press, Mahwah, SA.

Rorabaugh, P.A. 2015. *Introduction to Controlled Environment Agriculture and Hydroponics*. Controlled Environment Agriculture Center, University of Arizona, Tucson.

Somerville et al. 2014b. Design of aquaponics units. In Somerville, C., Cohen, M., Pantanella, E., Stankus, A. & Lovatelli, A. *Small-Scale Aquaponic Food Production – Integrated Fish and Plant*

*Farming*. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper No. 589. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, pp. 35-74.

Somerville et al. 2014c. Plants in aquaponics. In Somerville, C., Cohen, M., Pantanella, E., Stankus, A. & Lovatelli, A. *Small-Scale Aquaponic Food Production – Integrated Fish and Plant Farming*. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper No. 589. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, pp. 83-102.

Somerville et al. 2015a. Additional topics on aquaponics. In Somerville, C., Cohen, M., Pantanella, E., Stankus, A. & Lovatelli, A. *Small-Scale Aquaponic Food Production – Integrated Fish and Plant Farming*. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper No. 589. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, pp. 141-155.

**Sarah Milliken**

# 7. RASTLINSKE VRSTE

## 7.1 Uvod

V akvaponskih sistemih lahko uspešno gojimo več kot 150 različnih vrtnin, zelišč in okrasnih rastlin. Rastline, ki so primerne za akvaponske sisteme, so običajno hitro rastoče, imajo plitek koreninski sistem in ne potrebujejo veliko hranil, npr. listnata zelenjava ali zelišča. Tudi plodovke, kot so paradižnik, kumara in paprika, uspevajo dobro, imajo pa večje potrebe po hranilih in so primernejše za sisteme z ribami. Nekatere rastline pa v akvaponskih sistemih ne uspevajo dobro ker niso primerne z ekonomskega vidika in niso ustrezne zaradi prostorskih omejitev akvaponskega sistema. Koreninski pridelki, kot so krompir, sladki krompir, repa, čebula, česen in korenje, ponavadi bolje rastejo v tradicionalni kulturi, čeprav jih lahko uspešno gojimo tudi v hidroponskih sistemih z globokim medijem (Somerville *et al.* 2014a).

Nekateri pridelki zahtevajo večje investicije, in če je namen gojenja tržnega pridelka dobiček, potem niso tržno učinkoviti. Zaradi razmeroma nizke tržne cene v to kategorijo spadajo redkve, nekatere vrste zelene solate in listnata zelenjava. Nekateri kupci so pripravljeni plačati nadpovprečno ceno za zelenjavo izven sezone, za pridelke, ki jih na določenem območju ni enostavno gojiti, ali pa zgolj zato, ker je bila zelenjava pridelana na hidroponiki.

Akvaponski sistemi so prostorsko omejeni, zato v njih ponavadi ne gojijo dreves za pridelavo sadja ali oreščkov ter večine grmičastih rastlin, čeprav so na Univerzi uporabnih znanosti v Zürichu uspešno gojili celo banane in papaje. V tem primeru je poleg zelo velikega bazena za namestitev koreninskega sistema potreben tudi dovolj velik prostor za namestitev cele rastline. V to kategorijo sodijo bučke, melone in plezajoči paradižnik, ki za gojenje potrebuje latnik ali drugo strukturo za vzpenjanje. Obstaja več uspešnih primerov hidroponskega gojenja paradižnika, zlasti v velikih rastlinjakih. Podobno lahko dobro uspevajo tudi kumare, vendar ne tradicionalne vrste, ki potrebujejo močno ogrodje za težke plodove in veliko površino za posamezno plezalko in listje. Druge plezalke, ki lahko prerastejo svoj prostor in so ponor hranil, so grah, fižol, kapucinka in hmelj. Čeprav jih je vse mogoče gojiti v sistemu hidrokulture, zahtevajo veliko dela: redno je treba prilagajati višino luči, raven hranilnih snovi pa glede na fazo rasti rastline, nenehno je treba preverjati ogrodje za vzpenjanje in zagotavljati dodatno oporo. Za uspešno gojenje plezalk v hidroponskem sistemu je potrebno tudi pogosto obrezovanje. V povprečju lahko rastline gojimo pri naslednji gostoti (Somerville *et al.* 2014b):

- listnata zelenjava: 20–25 rastlin/$m^2$,
- plodovke: 4 rastline/$m^2$.

Gre za povprečne vrednosti. Za posamezno vrsto rastline obstaja veliko spremenljivk, zato je treba omenjene številke uporabljati le kot vodilo. Pri zasnovi nove kmetije je pomembna izbira pridelka, saj vpliva na prodajo, prostor in tehniko. Obstajata dve vrsti vzgoje rastlin: enorastlinski (monokulturni) sistem je sistem z eno samo vrsto ali sorto rastlin; večrastlinski (polikulturni) sistem z različnimi vrstami in sortami rastlin. Pri izbiri med enorastlinskim in večrastlinskim sistemom je treba oceniti

logistiko, prodajo, izkušnje in zatiranje škodljivcev. Največja prednost monokulturnega sistema je njegova preprostost. Prodaja je enostavnejša kot pri polikulturnem sistemu, poleg tega je novim kmetom lažje upravljati logistične režijske stroške. Pri gojenju enega pridelka je treba izdelek pripraviti in dati na tržišče le enkrat. Kljub temu pa tak sistem lahko vpliva na povpraševanje in v kombinaciji s slabim nadzorom škodljivcev tvegamo izgubo celotnega pridelka naenkrat. Polikulturni sistem daje pridelovalcem možnost, da zadovoljijo raznoliko povpraševanje, poleg tega je sistem bolj robusten in odpornejši na izbruhe škodljivcev, saj je manjša možnost, da bi ti ogrozili vse rastlinske sorte. Vseeno se je treba izogibati rastlinam iste družine, saj so te nagnjene k istim bakterijskim, glivičnim in virusnim boleznim ter imajo skupne škodljivce. Paradižnik, paprika in jajčevci so del iste družine (*Solanaceae*) kot zelje, pak choi, gorčični listi in ohrovt (*Cruciferae* ali *Brassicaceae*). V polikulturi lahko v isto skupino poljščin uvrstimo tiste pridelke, ki imajo podobne preference pH in temperature.

V polikulturnem sistemu lahko uporabljamo tudi metodo skupnega oz. sočasnega sajenja: gre za metodo mešanja rastlin na manjšem nivoju, ki je v ekološkem in biodinamičnem vrtnarstvu zelo pogosta. Temelji na opažanju, da ima lahko skupnost različnih rastlin mehanski, repelentni ali učinek proti škodljivcem. Uspeh je odvisen od stopnje okužbe škodljivcev, gostote posevkov, razmerja med posevki in koristnimi rastlinami ter določenih obdobji sajenja. Skupno sajenje se zato lahko uporablja v kombinaciji z drugimi strategijami integriranega protokola za ravnanje z rastlinami in škodljivci (glej poglavje 8) za pridobivanje bolj zdravih rastlin v akvaponskem sistemu (Somerville *et al.* 2014a). Nekatere rastline so tudi nezdružljive z drugimi: kapusnice imajo koristi od številnih spremljevalcev, vključno z aromatičnimi zelišči in špinačo, vendar niso kapusnice združljive z jagodami in paradižnikom.

Letna stopnja rastlinske pridelave v akvaponskih sistemih se razlikuje glede na vrsto, ki jo gojimo. Solato gojimo v različnih gostotah (16–44 rastlin/$m^2$) in obdobjih (21–28 dni), večinoma na plavajočih splavih, s čimer dosežemo od 1,4 do 6,5 kg pridelkov/$m^2$. Bazilika je še dobro preizkušen pridelek in z gostoto 8–36 rastlin/$m^2$ v 28 dneh doseže od 1,4 do 4,4 kg/$m^2$. Zelo uspešni so bili še pridelki, ki dobro rastejo pri višjih temperaturah, npr. vodna špinača, ki v 28 dneh pridela 33-37 kg/$m^2$ pri gostoti 100 rastlin/$m^2$, medtem ko je okra v skoraj treh mesecih proizvedla do 2,5 oz. do 2,8 kg/$m^2$ pri gostotah 2,7 oz. 4 rastlin/$m^2$. Zelišča za specialitete in kulinariko, kot sta morski koprc (*Salicornia*) in solinka (*Salsola*), so v 110 dneh pridelala 7 kg/$m^2$ oz. 5 kg/$m^2$ v 28 dneh (Thorarinsdottir 2015).

Glede na skupno potrebo po hranilih lahko zelenjavo razdelimo v tri kategorije. Rastline z majhnimi potrebami po hranilih so listnata zelenjava in zelišča, npr. solata, blitva, rukola, bazilika, meta, peteršilj, koriander, drobnjak, pak choi in vodna kreša, ter stročnice, kot sta grah in fižol. Rastline z velikimi potrebami po hranilih, ki jih včasih imenujemo rastline »lačne hranilnih snovi«, pa so botanične plodovke, kot so paradižnik, jajčevec, kumare, bučke, jagode in paprika. Rastline s srednjo potrebo po hranilih so kapusnice, kot so zelje, ohrovt, cvetača, brokoli in koleraba (Somerville *et al.* 2014a).

Akvaponske sisteme je treba uravnotežiti. Ribe (in s tem krma za ribe) morajo rastlinam zagotoviti zadostno količino hranil, rastline pa morajo ribam filtrirati vodo. Za razvoj cvetov pri plodovkah je potrebnih približno za tretjino več hranilnih snovi kot pri listnati zelenjavi (Somerville *et al.* 2014b):

- listnata zelenjava: 40–50 g ribje krme/$m^2$/dan,
- plodovke: 50–80 g ribje krme/$m^2$/dan.

## 7.2 Izbira rastlin

V nadaljevanju so obravnavane nekatere rastlinske vrste, ki se najpogosteje gojijo v akvaponskih sistemih. Navedene so podrobnosti o idealnih pogojih rasti, trajanju rastnega cikla, običajnih škodljivcih in boleznih ter priporočila za obiranje in skladiščenje. V semenskih bankah je na voljo veliko sort zelenjave. Medtem ko se lahko v rastlinjaku gojijo tako poljske sorte kot tudi sorte, ki se jih navadno goji v rastlinjakih, je koristno, da se uporablja slednje, kadar koli je to mogoče, saj se pogosto izkaže, da v dobro nadzorovanih okoljskih pogojih bogato obrodijo (Resh 2013).

### 7.2.1 Listnata zelenjava

#### 7.2.1.1 Solata

Solata (*Lactuca sativa*) zavzame razmeroma malo prostora in ima kratek rastni cikel, ko je zdrava: 5–6 tednov od presaditve ali 9–11 tednov iz semena. Gojimo jo lahko v rastnih koritih, sistemih NFT in DWC z 20–25 glav/$m^2$. V akvaponskih sistemih lahko gojimo številne sorte: ledenko, ki uspeva v hladnejših razmerah, solato *Romaine*, ki zacveti kasneje, in solato za rezanje; to je rahla listnata solata, ki nima glave in jo lahko posejemo neposredno v rastlinska korita, obiramo pa jo z rezanjem posameznih listov, ne da bi nabirali celotne rastline. Najpogostejši škodljivci in bolezni, ki vplivajo na rast solate, so listne uši, insekti, ki jejo liste, in oidij.

Idealni pogoji za rast solate:

- temperatura: 15–22 °C,
- pH: 5,8–7,0.

Semena za kalitev potrebujejo od 3 do 7 dni pri 13–21 °C. Dopolnilno gnojenje s fosforjem v drugem in tretjem tednu rasti ugodno vpliva na rast korenin in zmanjšuje stres pri presaditvi. Okrepitev rastlin z izpostavljanjem sadik nižjim temperaturam in neposredni sončni svetlobi 3–5 dni pred presaditvijo omogoča višjo stopnjo preživetja. Sadike lahko presadimo v hidroponsko enoto po 3 tednih, ko imajo rastline od 2 do 3 prave liste. Pri presajanju solate v toplem vremenu na rastline postavimo rahlo senčilo za 2–3 dni, da se izognemo vodnemu stresu (Somerville *et al.* 2014c).

Za rast glave mora biti temperatura zraka 3–12 °C, dnevna temperatura pa 17–28 °C. Na generativno rast vplivata fotoperioda in temperatura: daljši dan in tople razmere (> 18 °C) ponoči povzročajo cvetenje. Tudi temperatura vode nad 26 °C lahko povzroči cvetenje in grenkost listov. Nekatere sorte so bolj odporne na toploto kot druge. Ko se temperature zraka in vode med sezono zvišajo, uporabimo sorte, odporne proti cvetenju (poleti). Če rastejo v rastnih koritih, posadimo nove solate

na mesta, kjer jih bodo delno senčile višje rastline. Da bi dosegli hrustljavo, sladko solato, je potrebna hitra rast rastlin z vzdrževanjem visokih ravni nitratov. Rastlina ima majhno potrebo po hranilih, višje koncentracije kalcija v vodi pa pomagajo preprečiti ožig konic poleti. Medtem ko je idealni pH 5,8–6,2, zelena solata še vedno dobro raste pri pH do 7,0, čeprav se takrat lahko pojavi pomanjkanje železa zaradi zmanjšane biološke razpoložljivosti tega hranila nad nevtralnostjo (Somerville *et al.* 2014c).

Slika 1: Hidroponska pridelava različnih sort zelene solate (https://www.maxpixel.net/Natural-Lettuce-Fresh-Healthy-Raw-Food-Green-1239155)

Nabiranje se lahko začne, ko so glave ali listi dovolj veliki, da jih lahko jemo. Solato je treba nabirati zgodaj zjutraj, ko so listi hrustljavi in polni vlage, ter jo hitro ohladiti. Nežno obiranje in hladne, stalne temperature podaljšujejo rok trajanja. Tehnike nabiranja lahko vplivajo na rok trajanja, posebno če se s solato dela grobo, se jo odrgne ali zlomi med obiranjem. Pridelek je zaradi tega veliko bolj dovzeten za gnilobo in razne bolezni (Storey 2016f).

Solato lahko obiramo naenkrat, tako da se s pomočjo noža za obiranje odreže celotna glava na mestu, kjer pride v stik z akvaponskim sistemom. Nekateri pridelovalci pobirajo celotno rastlino, tudi korenine, kar lahko podaljša rok trajanja. Zaradi velike transpiracije in vsebnosti vlage je zeleno solato težko shraniti za več kot nekaj dni, potem začne veneti in gniti. Če je shranjena pri malo nad 0 °C, lahko ostane sveža do tri tedne, vendar je ne smemo zamrzovati, saj se pri tem povrhnjica loči od preostalih tkiv, list pa potem hitro razpade. Solata zahteva vlago, da se ne izsuši, vendar kondenzacija ali močna vlaga na listih povzroča poškodbe. Pridelovalci lahko najbolje preprečijo kondenzacijo z vzdrževanjem zelo stalnih temperatur (Storey 2016f).

Slika 2: Hidroponska proizvodnja solate z uporabo kanalov NFT
(https://www.maxpixel.net/Organic-Greenhouse-Farming-Hydroponic-Cucumber-2139526)

Nadaljnja obdelava solate mora biti čim bolj minimalna. Nujno potrebno je le obrezovanje listov, ki so izsušeni, oboleli ali vplivajo na estetiko pridelka. Najbolje je, da solate pred dostavo kupcu ne operemo, čeprav jo nekateri pridelovalci namakajo v hladni vodi v prepričanju, da to podaljša rok trajanja z zapiranjem listnih rež (Storey 2016f).

#### 7.2.1.2 Blitva

Blitvo (*Beta vulgaris* subsp. *vulgaris*) je enostavno gojiti v rastnih koritih, kanalih NFT in sistemih DWC. Gre za dokaj odporen pridelek, občasno dovzeten za listne uši in oidij. Čeprav visoke ali nizke temperature vplivajo na okus, je pridelek na splošno zelo dobro prenaša stresne razmere.

Idealni pogoji za rast blitve:

- temperatura: 16–24 °C, odporna je tudi proti zmrzali,
- pH: 6,0–7,5.

Blitva je zmeren potrošnik nitratov in potrebuje nižje koncentracije kalija in fosforja kot plodovke. Zaradi visoke tržne vrednosti, hitre rasti in prehranske vrednosti jo pogosto gojijo v komercialnih akvaponskih sistemih. Navadno najbolje uspeva konec zime/spomladi in v blagi poletni sezoni na soncu. Senčenje je priporočljivo pri temperaturah nad 26 °C (Somerville *et al.* 2014c).

Blitvo najlažje vzgojimo iz semen, ki kalijo v 4–5 dneh pri 25–30 °C. Iz semen nastane več kot ena sadika, zato je potem ko sadike začnejo rasti, potrebno redčenje. Sadike lahko presadimo na 15–20 rastlin/m². V času rasti lahko starejše liste odstranimo  tako spodbudimo rast novih (Somerville *et al.* 2014c). Blitvo je mogoče obirati 4–5 tednov po presaditvi in navadno dobro obrodi. Pridelovalci bi jo morali obirati delno, pri čemer bi morali pri obiranju pustiti 30 % listov in s tem zagotoviti zadostno fotosintezo za naslednji pridelek. Največje liste je treba odrezati čim bližje dnu rastline. Jutranje ali večerno obiranje ohranja blitvo svežo. Če z njo pravilno ravnamo, se obdrži en teden, preden začne veneti. Blitva zdrži dlje, če je ne peremo in če jo pri nizkih temperaturah shranimo v zaprte posode ali vrečke (Storey 2016b).

### 7.2.1.3 Listnati ohrovt

Gojenje listnatega ohrovta (*Brassica oleracea*; angl. *kale*) v akvaponskih sistemih je lahko preprosto in donosno. Pridelek razmeroma hitro raste, od presaditve do žetve preteče šest tednov, lahko pa ga delno oberemo, pri čemer moramo 30 % listov ohraniti za naslednji pridelek.

Idealni pogoji za rast ohrovta:

- temperatura: 8–29 °C,
- pH: 6,0–7,5.

Listnati ohrovt je pridelek, ki navadno dobro uspeva v hladnem vremenu, zato mnogi pridelovalci pri gojenju celo namerno uporabljajo nižje temperature (do 5 °C), da vplivajo mehkejši, izboljšan okus. Ohrovt pri gojenju v zaprtih prostorih napada malo škodljivcev, npr. le listne uši in oidij (Storey 2016p).

### 7.2.1.4 Pak choi

Pak choi (*Brassica chinensis*), znan tudi kot bok choy, je različnih velikosti. Večji sorti sta Joi Choiandsmaller in Shanghai Green Pak Choy, ki ima kompaktnejše, nežne glave z rahlim okusom. Tatsoi (*Brassica narinosa* ali širokolistna gorčica) ima enako debele liste in svetle žile kot pak choi ter ga je mogoče gojiti v podobnih pogojih. Napa zelje (*Brassica rapa pekinensis*), pri nas znano kot kitajsko zelje, je prav tako kapusnica, ki se na videz sicer razlikuje od pak choija in tatsoija, uspeva pa na enakem intervalu pH in EC kot pak choi ter ima boljši okus, če ga gojimo pri nižjih temperaturah (Storey 2016i).

Idealni pogoji za rast pak choija:

- temperatura: 13–23 °C,
- pH: 6,0–7,5.

Čeprav ima pak choi pri nižjih temperaturah običajno blažji okus, je dokaj odporen proti višji temperaturi, zato uspeva v številnih hidroponskih in akvaponskih sistemih. Pomanjkanje hranil so pri pak choiju težko prepozna, saj očitnejši znaki, kot so intervenalna kloroza, ožig ali porjavitev, niso pogosti. Pomanjkanje hranil prepoznamo prek zavrte rasti in porumenitve. Pak choi vzgojimo iz semen in presadimo, ko rastlini zrastejo pravi listi (po približno enem mesecu). Čeprav je največji pridelek v šestih tednih od presaditve, lahko pak choi gojimo v krajših rotacijah, tj. en mesec (Storey 2016i).

Slika 3: Pak choi, ki raste v sistemu NFT na kmetijah Lufa
(https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=27515408)

#### 7.2.1.5 Zelje in druge kapusnice

Kapusnice (gre za več sort vrste *Brassica oleracea*) ne potrebuje veliko nege. Ukrepi za zatiranje škodljivcev običajno preprečujejo dostop škodljivcev, poleg tega kapusnice ne potrebujejo dodatnega obrezovanja ali vzgajanja. Zeljnate glave so običajno velike (pogosto 3,5 kg), zato imajo lahko kmetje na majhnem prostoru dokaj velik pridelek.

Idealni pogoji za rast zelja:

- temperatura: 15–20 °C, odporen je tudi proti zmrzali,
- pH: 6,0–7,2.

Zelje je občutljivo na navadne škodljivce, kot so listne uši, in glivične bolezni, kot je suha trohnoba zelja (*Leptosphaeria maculans*), ter bakterijske bolezni, kot je črna žilavka (*Xanthomonas campestris pv. Campestris*), ki se ponavadi pojavijo, če je zeljnata glava vlažna. Poleg škodljivcev in bolezni pa zeljna glava lahko razpoka in se razcepi, kar je za potrošnike neprivlačno, saj se v razpoki lahko ujame umazanija in povzročitelji raznih bolezni. Razpokam se je mogoče izogniti s čim bolj stalnimi rastnimi pogoji in pravočasnim obiranjem (Storey 2016k).

Zelje najbolje uspeva v rastnih gredah oz. koritih, saj rastline dosežejo precejšnjo velikost in so tako lahko prevelike in pretežke za splave oz. gojenje na rastnih ceveh. Ker je hranilno zahtevno, zelja ni primerno gojiti v na novo vzpostavljenih akvaponskih enotah (mlajše od štirih mesecev). Čeprav zahtevajo veliko prostora (4–8 rastlin/m²), posevki zelja porabijo manj hranil na kvadratni meter kot

druga listnata zelenjava (zelena solata, špinača, rukola itd.). Zelje in najbolje raste, če glave dozorijo na soncu in pri nižjih temperaturah, zato jih je treba obirati, preden dnevne temperature dosežejo 23–25 °C. Ko glave začnejo rasti, so visoke koncentracije fosforja in kalija bistvenega pomena; včasih je za zadostno količino hranil za oskrbo rastlin potrebno dodatno gnojenje z organskimi gnojili, vnesenimi bodisi preko listov ali substratov (Somerville *et al.* 2014c).

Za najboljše rezultate kalitve je treba sadike hraniti pri nekoliko višjih temperaturah kot zrele posevke (18–29 °C). Stopnja kalitve semen se lahko poveča tudi s procesom skarifikacije. Po sajenju bodo semena kalila 4–7 dni, sadike pa bodo pripravljene za presaditev 4–6 tednov kasneje, ko bodo imele 4–6 listov in bodo visoke 15 cm. Pomembno je, da omogočimo dovolj prostora, da vsaka glava zraste do želene velikosti. Če dnevne temperature presežejo 25 °C, je treba uporabiti mrežno senčilo z 20-% zasenčenjem, da preprečimo cvetenje rastline. Glede na vrsto zelja in želeno velikost glave bo pridelek pripravljen za spravilo 45–70 dni po presajanju. Pobrati ga je treba, ko je glava tako trda, da jo z ostrim nožem odrežemo s stebla in zavržemo zunanje liste. Tedaj jo lahko damo na trg/v prodajo (Somerville *et al.* 2014c).

#### 7.2.1.6 Gorčica

Gorčica *(Brassica juncea*) je iz družine križnic (sorodnica ohrovta in zelja).

Idealni pogoji za rast gorčice:

- temperatura: 10–23 °C,
- pH: 6,0–7,5.

Gorčico lahko gojimo na podoben način kot ohrovt: vzgojena je iz semen, ki kalijo 4–7 dni. Sadike so pripravljene za presaditev 2–3 tedne kasneje (3–4 tedne od sajenja semena). Po 4–6 tednih gojenja je treba rastline delno obrati, in sicer porezati 30 % rastline, preostalo pa pustiti, da raste naprej (Storey 2016g).

#### 7.2.1.7 Kapucinka

Kapucinka (*Tropaeolaceae tropaeolum*) je nežna rastlina, ki izvira iz Južne Amerike. Za razliko od številnih drugih pridelkov so užitni tako njeni listi kot tudi cvetovi, ki imajo oster, pekoč okus, podoben gorčici ali vodni kreši. Kapucinke pri katerih želimo njihove liste je v hidroponskih sistemih enostavno gojiti; če pa pridelovalci želijo pridelati cvetove, je za pospešitev cvetenja treba prilagoditi svetlobo in razmerje hranljivih snovi. Nadzorovati je treba tudi razmerje med dušikom in kalijem, sprožiti vegetativno fazo in razvoj plodov ter spremeniti sistem iz vzgoje zelenja v vzgojo plodov nekje na polovici zrele velikosti. To daje pridelku možnost za razvoj korenin in fotosinteznih tkiv, da v fazi cvetenja pridelajo več. Kapucinke lahko napadejo značilni škodljivci, kot so listne uši in pršice prelke. Kapucinke so na voljo v dveh sortah: kot vzpenjavka ali kot grmovnica (Storey 2017b).

Idealni pogoji za rast kapucink:

- temperatura: 13–23 °C,
- pH: 6,1–7,8.

Kapucinke najbolje uspevajo na svetlobi in ob čim manjšem temperaturnem nihanju. Semena lahko kalijo pri 13–18 °C, odrasle rastline pa najbolje uspevajo ob približno 21 °C. Cvetoči pridelek dobro uspeva v sistemih z nizkim EC, podobno kot sistemi, ki so optimizirani za listnato zelenjavo ali jagode. Semena kapucink ob primernih pogojih vzkalijo v 7–10 dneh, za presaditev pa so pripravljena takoj, ko se pojavijo pravi listi, kar je običajno 2–3 tedne od kalitve. Rastline bodo cvetele 5–6 tednov pozneje; če pa želi pridelovalec vzgojiti le liste rastline, jih lahko obira tudi prej. Nekateri pridelovalci gojijo kapucinke pri velikih gostotah zasaditve in obirajo še mlade liste (Storey 2017b).

### 7.2.2 Zelišča

Zelišča so ponavadi bolj donosna od listnate zelenjave, vendar imajo različna zelišča različne potrebe. Če tega ne upoštevamo, lahko skrajšamo rok trajanja ali celo uničimo celoten pridelek. V nadaljevanju je nekaj nasvetov za ohranjanje svežine zelišč po žetvi (Storey 2016o):

- Vzdržujmo na hladnem, vendar ne prehladnem

  V hladnem okolju se dihanje pridelkov upočasni, saj so listne reže bolj priprte; tako se izmenjava plinov upada. K temu pripomore tudi obiranje v hladnem delu dneva. Vendar pa so nekatera zelišča, kot je bazilika, občutljiva na ohlajanje in se lahko pri tem poškodujejo; npr. bazilike ne bi smeli hraniti pri temperaturi pod 13 °C, jo pa lahko ohranimo do 12 dni pri 15 °C.

- Bodimo konsistentni

  Nihanja temperature in vlage so pomemben dejavnik pri povzročanju razkroja in drugih težav. Temu se lahko izognemo tako, da pridelek čim manjkrat prestavimo z enega mesta na drugega in da ohranjamo temperaturo hladilnic in transportnih vozil.

- Zmanjšajmo morebitne poškodbe rastlin

  Rastlinske poškodbe povečajo proizvodnjo etilena in tako pospešijo hitrost propadanja rastline. Temu se lahko izognemo, če pri nabiranju zelišč namesto trganja uporabljamo klešče.

- Ena velikost ni primerna za vse

  Načini obiranja in pakiranja morajo biti specifični glede na vrsto in starost, zaradi specifičnih potreb. Večina zelišč se razlikuje po izvoru, potrebah in življenjskem ciklu, to pa pomeni, da je treba vsako zelišče obravnavati drugače, s čimer se podaljša rok uporabnosti.

- Embalaža mora uravnovesiti izgubo vode, ki nastane ob razpadanju

  Nežna zelišča, npr. bazilika ali drobnjak, izgubijo manj vode, če so pakirana v plastične vrečke, vendar pa kondenzacija poveča stopnjo propadanja.

Nadzorujmo izpostavljenost svetlobi

Shranjevanje na svetlobi ali v temi lahko vpliva na hitrost propadanja posameznega zelišča.

#### 7.2.2.1 Koriander

Čeprav je koriander (*Coriantrum sativum*) za gojenje v zemlji razmeroma nezahtevna rastlina, pa notranji in hidroponski pridelovalci pri njem ne dosežejo največje izkoriščenosti prostora, saj ima sorazmerno dolg rastni cikel in omejen pridelek. Po drugi strani potrebuje le malo vzdrževanja, in če so pridelovalci prepričani, da zanj lahko iztržijo primerno ceno, je koriander še vedno lahko dobra izbira. Ker je koriander majhne rasti, ga lahko gojimo v skoraj katerem koli hidroponskem sistemu, če sta pH in EC ustrezna (Storey 2017a).

Idealni pogoji za rast koriandra:

- temperatura: 5–23 °C,
- pH: 6,5–6,7.

Koriander je lahko za gojenje v akvponiki zapletena rastlina, saj zelo hitro zacveti, še posebej v vročih razmerah. Najbolj uspeva pri nižjih temperaturah (5–23 °C) in nizkih vsebnostih soli v rastnem mediju. To velja tudi za čas kalitve, temperature 15–20 °C bodo omogočile najboljše rezultate. Če se sproži cvetenje, zaradi česar je okus zelišča bolj grenak, je treba cvetove porezati in spremeniti okoljske pogoje. Da bi pridelovalci zmanjšali tovrstno tveganje za poslabšanje pridelka, lahko kupijo semena, ki omogočajo počasnejše cvetenje. Dve najpogostejši bolezni koriandra v hidroponiki sta bakterijska listna pegavost in oidij. Koriander prizadene tudi padavica sadik, pri čemer gliva rodu *Pythium* spp. povzroči gnitje korenin, kar lahko povzroča težave v sistemih z neustreznim zračenjem korenin (Storey 2017a).

Seme koriandra kali 7–10 dni, listi so pripravljeni za nabiranje 40–48 dni kasneje; od semena do žetve mine 50–55 dni. Koriander lahko obiramo v celoti ali delno, zahteva pa zelo malo vzdrževanja, npr. le obrezovanje. Če ga obiramo delno, bo prva žetev približno 5 tednov po presaditvi, druga pa približno 8 tednov po presaditvi. Druga žetev bo manjša od prve. Koriander se lahko pakira na različne načine, odvisno od kmeta in – kar je še pomembneje – potreb na trgu (Storey 2017a).

#### 7.2.2.2 Meta

Obstaja več deset vrst mete, med glavne sorte pa spada zelena meta (*Mentha spicata*), poprova meta (*Mentha x piperita*) in plazeča meta oz. polaj (*Mentha pulegium*), medtem ko npr. limonina meta (*Monarda citriodora*) sploh ni meta. Meta je za gojenje ena najmanj zahtevnih rastlin, saj jo je enostavno posaditi in žeti, poleg tega pa še hitro raste.

Idealni pogoji za rast mete:

- temperatura: 19-21 °C,
- pH: 6,5–7,0.

Meta uspeva  tudi ob nizkih vrednostih EC in manjšem temperaturnem nihanju, slabše pa nanjo vplivajo temperature nad 26 °C. Proti škodljivcem je bolj odporna kot marsikatero drugo zelišče, nanjo lahko vplivata predvsem oidij in pepelasta plesen. Meta se lahko vzgoji iz semen, vendar je rast iz potaknjencev ali korenik hitrejša, zlasti v komercialnem načinu pridelave. Potaknjence stebel lahko naredimo tako, da odstranimo zdrave zelene vejice in jih postavimo v vodo. Razvile se bodo korenine in rastline bodo zrasle v nekaj tednih. Meto lahko nabiramo tako, da jo odrežemo približno 5 centimetrov od površine sistema. Druga žetev bo pripravljena šele čez 2–3 tedne, ko rastline na novo zrastejo do približno 20 centimetrov (Storey 2016m).

#### 7.2.2.3 Bazilika

Zaradi večje potrebe po dušiku je bazilika (*Ocimum basilicum*) idealna rastlina za akvaponiko in jo lahko gojimo v rastnih koritih, sistemih NFT in DWC. Če je meta ena izmed najmanj zahtevnih rastlin za gojenje, pa za lesna zelišča, kot je bazilika, velja prav nasprotno. Čeprav bazilika ni zahtevna glede količine vode in vrednosti pH, za doseganje dobrih pridelkov potrebuje obrezovanje (glej spodaj). Najbolje raste pri visokih temperaturah, zato jo je težko uskladiti z drugimi pridelki. Najbolje je, da jo gojimo kot monokulturo. Številne sorte bazilike so bile preizkušene v akvaponskih sistemih, vključno z baziliko Genovese (sladka bazilika), limonsko baziliko in baziliko »purple passion«.

Idealni pogoji za rast bazilike:

- temperatura: 18–30 °C, optimalno 20–25 °C,
- pH: 5,5–6,5.

Semena bazilike za kalitev potrebujejo primerno visoko in stabilno temperaturo (20–25 °C), vzkalijo pa v 6–7 dneh. Sadike je treba presaditi v akvaponski sistem, ko imajo 4–5 pravih listov. Ko je bazilika presajena, najbolje uspeva v toplih do zelo toplih pogojih. Lahko jo pustimo na soncu, vendar najbolj kakovostne liste dobimo z rahlim senčenjem. Če temperature presežejo 27 °C, je treba rastline prezračiti ali pa prekriti s senčilnimi mrežami (20 %), da preprečimo ožig listnih konic. Baziliko lahko prizadenejo različne glivične bolezni, vključno s fuzarijsko ovelostjo, sivo plesnijo in listno pegavostjo, še posebej ob neoptimalnih temperaturah in visoki vlažnosti. Prezračevanje in temperatura vode, višja od 21 °C, zmanjšata stres rastlin in preprečujeta pojav bolezni (Somerville *et al.* 2014c).

Oblika listov baziliki omogoča, da vodo ulovi in jo zadrži, zato je nadzor kondenzacije zelo pomemben. Vlažnost v rastlinjaku je treba vzdrževati med 40 in 60 %. Bazilika je zelo občutljiva, zato zahteva dober pretok zraka, ne pa prepiha. Dobro uspeva pri 10–12 urah svetlobe, podaljšanje osvetljenosti pa poveča pridelek. Odmrle liste je treba odstraniti, saj se običajno prilepijo na druge liste in jih poškodujejo, lahko pa se na njih pojavijo glive. Tiste rastline, ki imajo težke vrhove, je bolje obrezovati z ostrimi škarjami, saj ščipanje poškoduje ali celo izruva celotno steblo. Če je rastlina pri vrhu stebla pretežka, se lahko zlomi, kar prekine povezavo s koreninami, listi pa zato postanejo grenki. Grenkobo bazilike lahko preprečimo z žetvijo pred cvetenjem ter odstranjevanjem vsake stare/trde rastline in zlomljenih stebel (Storey 2016e).

Slika 4: Gojenje bazilike v sistemu NFT
(https://www.goodfreephotos.com/public-domain-images/plants-in-the-green-house.jpg.php)

Bazilika je vzgojena kot enostebelna rastlina, ki raste navzgor (apikalna rast), za večino pridelovalcev pa je boljša grmičasta oblika. Obrezana rastlina je videti lepše, daje več pridelka in jo je (odvisno od načina gojenja) lažje transportirati. Da bi spremenili način rasti bazilike, lahko pridelovalci sprožijo sekundarno rast, ki poteka navzven in navzgor, ne le naravnost navzgor (lateralna rast). Mlada rastlina bazilike (visoka 12–25 centimetrov) ima na steblu stranske brste, ki zrastejo le, če se glavno steblo močno poškoduje ali odstrani. To pomeni, da če pridelovalci obrežejo steblo tik nad stranskimi popki (1 centimeter ali več), bodo ti lahko zrasli. S takim obrezovanjem bazilike lahko pridelovalci pospešijo rast posameznih vejic in nadzorujejo obliko rastline. Rastlino je treba odrezati nad drugim parom brstov, da se rast razširi navzven in ne ustavi zračnega toka ali prodiranja svetlobe. Pravilno obrezovanje poveča pridelek prvih treh žetev (približno 5., 8. in 11. teden) (Storey 2016e).

Obiranje listov se začne, ko rastline dosežejo 15 cm višine, in traja 30–50 dni. Z baziliko je treba ravnati nežno, ker odrgnine lahko povzročijo razpad rastline. Bazilike ne shranjujemo v hladilniku s temperaturami okoli 5–7 °C, saj je rastlina prilagojena toplemu vremenu in nima celičnega mehanizma, ki bi se lahko spopadal s takimi temperaturami, zato v takih razmerah bazilika lahko hitro propade. Da bi podaljšali rok uporabe, jo je treba hraniti pri temperaturah nad 13 °C (po možnosti pri temperaturi 16 °C). Pri tej temperaturi lahko doseže rok trajanja do 12 dni. Če pridelovalci pakirajo baziliko v vreče ali škatle, ki zmanjšujejo izgubo vlage (plastika z malo ali brez izmenjave zraka), je treba primerno uravnavati temperaturo skladiščenja, da se prepreči kondenzacijo (Storey 2016e).

#### 7.2.2.4 Drobnjak

Drobnjak (*Allium schoenoprasum*) je trpežna rastlina, ki uspeva kljub temperaturnim nihanjem, celo pomanjkanje vode ne vpliva na kakovost pridelka. Drobnjak je tudi dokaj odporen proti škodljivcem, redko okužen z boleznimi in redko občutljiv na žuželke. Najpogostejše težave v hidroponskih sistemih pri gojenju drobnjaka so virusi in glivne mušice (Storey 2016n).

Idealni pogoji za rast drobnjaka:

- temperatura: 18–26 °C,
- pH: 6,1–6,8.

Drobnjak se hitro razmnožuje iz korenin, sadi pa se ga lahko z delitvijo. Za gojenje sadik drobnjaka pridelovalci uporabljajo semena samo takrat, ko ni mogoče dobiti zrelih rastlin. Če je drobnjak vzgojen iz semen, sadike lahko presadimo po približno 4 tednih, za žetev pa bodo pripravljene 3–4 tedne kasneje. Če ga posadimo iz korenine, drobnjak oberemo v 2–3 tednih, z vsako žetvijo pa bo gostejši. Drobnjak je treba obirati na 2–3 tedne, tako da ga odstrižemo približno 2,5–5 centimetrov nad sistemom (Storey 2016n).

#### 7.2.2.5 Peteršilj

Peteršilj (*Petroselinum crispum*) dobro raste v rastnih koritih, sistemih NFT in DWC, zaradi visoke tržne vrednosti pa je pogost v komercialni akvaponiki. Posebno dobro uspevajo sorte z velikimi listi, kot je italijanski ploščato listni peteršilj (*P. crispum* var. *neapolitanum*). Škodljivci peteršilja so redki: pridelovalci poročajo o listnih ušeh ali resarjih.

Idealni pogoji za rast peteršilja:

- temperatura: 15–25 °C (težko preživi v mrzlem okolju),
- pH: 6,0–7,0.

Peteršilj je dvoletno zelišče, ki se tradicionalno goji kot enoletnica. Če je zima mila, z minimalno ali zmerno zmrzaljo, večina sort lahko raste v celotnem dvoletnem obdobju. V prvem letu rastline obrodijo listje, v drugem pa zrastejo peclji s cvetovi za pridelavo semena. Peteršilj dobro uspeva na soncu tudi do osem ur na dan. Delno senčenje je potrebno, kadar temperature presežejo 25 °C (Somerville *et al.* 2014c).

Seme peteršilja je poceni. Vzkali v 8–10 dneh ob zmerni vlagi in temperaturah 20–25 °C. Če semena niso sveža, lahko kalitev traja tudi do 5 tednov. Če želimo kalitev pospešiti, lahko semena namočimo v toplo vodo (20–23 °C) za 24–48 ur, da se luske semena zmehčajo. Rastoče sadike bodo podobne travi, z dvema ozkima semenskima listoma drug nasproti drugemu. Sadike so pripravljene za presaditev po 5–6 tednih, ko razvijejo svoje prve liste. Sadimo lahko 10–15 rastlin/m². Prva trgatev je običajno 20–30 dni po presaditvi, ko so posamezna stebla rastline dolga vsaj 15 cm. Najprej poberemo obrobna stebla, kar spodbudi rast vso sezono (Somerville *et al.* 2014c). Peteršilj lahko obiramo večkrat, tako da ga s škarjami ali nožem za obiranje odrežemo do 5 centimetrov od površine sistema. Naslednja žetev je pripravljena po približno 3 tednih, potem pa je treba začeti z novim ciklom (Storey 2016a).

#### 7.2.2.6 Koromač

Če vzdržujemo zdrav koromač (*Foeniculum vulgare*), ga redko napadejo škodljivci, včasih se na njem lahko pojavijo listne uši.

Idealni pogoji za rast koromača:

- temperatura: 16–21 °C,
- pH: 6,4–6,8.

Koromač bolje uspeva pri nižjih vrednostih EC in zmernem pH. Čeprav uspeva ob višjih in nižjih temperaturah, ni odporen proti zmrzali. Koromač ima širok razpon kalitve, kali od približno od 60 % do 90 % semen. Seme vzkali v 1–2 tednih in je običajno pripravljeno na presaditev 3–5 tednov kasneje. Od presajanja traja še približno 6–8 tednov, da doseže ustrezno velikosti za obiranje. Čebulice lahko pobiramo takoj, ko to želi pridelovalec, vendar so na večini trgov čebulice običajno težke od 250 g do 500 g. Koromač lahko obiramo dvakrat (enkrat samo zelenje, enkrat pa čebulico in zelenje skupaj). Tako kot pri blitvi in ohrovtu je treba ob prvem obiranju odstraniti le 70 % zelenja (Storey 2016d).

### 7.2.3 Plodovke

Plodovke, gojene v akvaponskih sistemih, je treba obrezovati. Brez rednega obrezovanja se lahko prekomerno razrastejo, kar je težje nadzorovati. Koreninski sistemi akvaponskih rastlin niso tako močni kot pri rastlinah, ki rastejo v tleh, saj se koreninam v iskanju hranil ni treba širiti. Rastline v akvaponskih sistemih zaradi slabega sidranja korenin niso sposobne podpirati velikih obremenitev. Obrezovanje je pomembno tudi za gojenje v rastlinjakih, saj morajo pridelovalci zaradi višjih stroškov na kvadratni meter območje čim bolj izkoristiti. Obrezovanje tako omogoča sajenje v večjih gostotah in bolj kakovostne pridelke.

#### 7.2.3.1 Paradižnik

Paradižnike (*Solanum lycopersicum*) običajno gojimo v enem od dveh vzorcev, odvisno od sorte. Grmovne sorte (določena, sezonska pridelava), ki so pogostejše kot tradicionalne, je težje upravljati. Grmovni paradižnik se praviloma razrašča po tleh rastlinjaka, kar pomeni, da ga je težko oz. nemogoče napeljati po kakršnem koli ogrodju, zato imajo pridelovalci lahko težave pri doseganju sadežev, obrezovanju rastlin in celo pri gibanju po rastlinjaku. Plezajoče sorte (nedoločena, neprekinjena rast cvetočih vej) so pri večini pridelovalcev bolj priljubljene, saj lahko rastlino obrežemo na samo eno glavno vejo in ji postavimo ogrodje, kar pomeni, da so rastline dostopnejše, zato sta obiranje in obrezovanje veliko hitrejša in lažja. Običajna postavitev rastnega korita Bato in paradižnika (glej 9.2.4) vključuje po dve rastlini na eno vedro, razmik med vedri pa je od 60 do 90 centimetrov. Če paradižnik gojimo kot eno samo rastlino (npr. v sistemih z rastnimi koriti), ga lahko obrežemo do dveh vej na rastlino. Paradižnik je občutljiv na veliko število škodljivcev in bolezni, najpogostejši so oidij, fuzarijska ovelost, gliste, pršice prelke, listne uši, padavica sadik in mozaični virus. Pri nakupu paradižnika ali semen je treba biti pozoren na nalepko VFN, ki pomeni odpornost na oidij (*Verticillium*), fuzarije (*Fusarium*) in gliste (*Nematoda*) (Storey 2017c).

Idealni pogoji za rast paradižnika:

- temperatura: 13–26 °C,
- pH: 5,5–6,5.

Paradižnik kot sadni pridelek za rast potrebuje precej hranljivih snovi (glej tabelo 1). Dobro uspeva na vročini in v istem okolju kot okra in bazilika. Na okus paradižnika vpliva zlasti medij, v katerem rastlina raste, zato je treba zagotoviti, da ima rastni medij primerno vzdrževano razmerje hranil. Ker je paradižnik pogosto pridelek, obstaja veliko podatkov o odpravljanju različnih napak in primanjkljaja hranil. Paradižniku pogosto primanjkuje fosforja in magnezija (Storey 2017c).

Tabela 1: Priporočena sestava hranilnih raztopin, ki ustreza fazi rasti paradižnika v sistemih brez prsti (iz Raviv & Lieth 2007)

| Faza rasti | N | P | K | Ca | Mg |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | (mg $L^{-1}$) | | |
| Presajanje | 80–90 | 30–40 | 120–140 | 180–220 | 40–50 |
| Cvetenje in anteza[1] | 120–150 | 30–40 | 180–220 | 230–250 | 40–50 |
| Zorenje in nabiranje plodov | 180–200 | 30–40 | 230–250 | 180–220 | 40–50 |
| Trgatev plodov | 120–150 | 30–40 | 180–220 | 180–220 | 40–50 |

Semena pri temperaturi 20–30 °C vzklijejo v 4–6 dneh. Da bi preprečili poškodbe korenin, je pred presaditvijo treba postaviti količke ali rastlinske opore. Sadike lahko presadimo v sistem akvaponike 3–6 tednov po kalitvi, ko so sadike visoke 10–15 cm in kadar so nočne temperature stalno nad 10 °C. Paradižnik je mogoče gojiti v rastnih koritih, pri čemer se izognemo poplavnim razmeram okoli rastlinskega debla in tako zmanjšamo kakršna koli tveganja za bolezni. Glede na veliko potrebo po hranilih, zlasti po kaliju, je treba število rastlin v posamezni enoti načrtovati glede na biomaso rib in se s tem izogniti pomanjkanju hranil. Paradižnik uspeva pri višjih temperaturah in na soncu. Optimalna dnevna temperatura za rast paradižnika je 22–26 °C, nočna temperatura 13–16 °C pa spodbudi nastanek plodov (Somerville *et al.* 2014c).

Za pridelavo paradižnika je obrezovanje zelo pomembno, saj poveča izrabo energije za rast plodov in glavnega stebla. Ko so rastline paradižnika visoke približno 60 cm, lahko gojenje (grmičevje ali enojno steblo) izboljšamo z obrezovanjem nepotrebnih zgornjih vej. Grmičaste sorte se lahko razrastejo kot grmovje tako, da odstranimo vse pomožne mladike, s čimer preusmerimo hranilne snovi v plodove, pustimo pa 3–4 glavne veje. Plezajoči paradižnik lahko zraste do višine 4 metrov, normalna višina pa je 2 metra. Pri plezajočih paradižnikih je obrezovanje obvezno, saj se brez obrezovanja in postavitve ogrodja donos paradižnika zmanjša za 50 odstotkov. Tako grmičaste kot plezajoče sorte je treba gojiti z enim steblom (dvojno v primeru velike rastlinske vitalnosti) z odstranitvijo vseh pomožnih mladik. Najbolje je, da mladike, dolge 2–2,5 mm, enkrat na teden ročno odstranimo, saj mladike teh velikosti zlahka odlomimo, ne da bi poškodovali glavno steblo. Pri grmičastih sortah je treba apikalni del enojnega stebla odrezati takoj, ko rastlina razvije 7–8 plodonosnih vej, saj s tem spodbudimo razvoj plodov. Paradižnik se opira na ogrodje, ki je lahko narejeno iz količkov (grmičaste sorte), ali pa je privezan na navpične plastične/najlonske vrvice, ki so pritrjene na železne žice, napete vodoravno nad rastlinskimi enotami (plezajoče sorte). Pomembno je tudi, da liste odstranimo s spodnjih 30 cm

[1] Anteza je faza cvetenja rastline od odprtja cvetnih popkov.

glavnega stebla; tako omogočimo boljše kroženje zraka in zmanjšamo možnost glivičnih okužb. Najboljši način odstranjevanja teh listov je, da jih najprej upognemo navzgor in nato potegnemo dol, s čimer preprečimo luščenje povrhnjice na steblu. Liste, ki pokrivajo sadne veje, odstranimo pred zorenjem, da spodbudimo dotok hranilnih snovi do plodov in pospešimo zorenje (Singh & Dunn 2017; Somerville *et al.* 2014c).

Če paradižnik gojimo zunaj, ga običajno oprašujejo čebele ali veter, v rastlinjakih pa gibanje zraka ne zadostuje, da bi se rastline oprašile same. Opraševanje se lahko izvede ročno ali z uporabo čmrljev (*Bombus* sp.). Pomembno je ohraniti ustrezno raven populacije čmrljev: prekomerna populacija lahko preobremeni paradižnikove cvetove. Pri ročnem opraševanju je pomembno potresavanje socvetij. To lahko storimo tako, da socvetje udarimo s palico, prsti ali električnim vibratorjem, kot je električna zobna ščetka. Opraševanje je treba izvesti, ko so cvetovi v stanju sprejemanja, kar je razvidno iz tega, da se njihovi cvetni listi zavijajo nazaj. Rastline je treba opraševati vsaj vsak drugi dan, saj cvetovi ostanejo dovzetni le približno 2 dneva. Za najboljše rezultate je treba opraviti opraševanje med 11. in 15. uro ob sončnem vremenu. Če je opraševanje opravljeno pravilno, se bo v enem tednu razvil droben plod v obliki kroglic. To so nastavki plodov. Ko mlade rastline ustvarijo svoja prva socvetja, jih oprašujemo vsak dan, dokler niso vidni nastavki plodov. Nastanek nastavkov plodov na prvih socvetjih je pomembno, saj to rastlino prestavi v reproduktivno stanje, kar je ugodno za razvoj več cvetov in plodov v času, ko se rastlina stara. Potem ko je oplojenih prvih nekaj socvetij, lahko oprašujemo vsak drugi dan. Raziskave so pokazale, da je za opraševanje rastline in razvoj plodov optimalna relativna vlažnost 70 % (Resh 2013).

Do prvega obiranja paradižnik raste 50–70 dni, razvoj plodov pa se pri grmičastih sortah nadaljuje 90–120 dni, pri plezajočih sortah pa 8–10 mesecev. Za dosego najboljšega okusa paradižnik obiramo, ko je trden in popolnoma obarvan, plodovi pa bodo še naprej zoreli, če jih naberemo na pol zrele in prenesemo v zaprt prostor. Pri temperaturah 5–7 °C in 85–90-% relativni vlažnosti jih je mogoče enostavno vzdrževati 2–4 tedne (Somerville *et al*. 2014c).

#### 7.2.3.2 Paprika

Paprika (*Capsicum anuum*) dobro uspeva v toplih razmerah in na soncu. Kot pri drugih plodovkah tudi pri papriki nitrati spodbujajo izvorno vegetativno rast (optimalni razpon 20–120 mg/L), za cvetenje in rast plodov pa so potrebne višje koncentracije kalija in fosforja (Somerville *et al.* 2014c).

Idealni pogoji za rast paprike:

- temperatura: 19–23 °C,
- pH: 5,5–6,5.

Tabela 2: Priporočena sestava hranilnih raztopin, ki ustreza fazi rasti paprike v sistemih brez prsti (iz Raviv & Lieth 2007)

| Faza rasti | N | P | K |
|---|---|---|---|
| | | (mg $L^{-1}$) | |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Od presajanja do cvetenja | 50–60 | 50–60 | 75–80 |
| Od anteze do (ob)roditve | 80–100 | 80–100 | 100–120 |
| Zorenje in nabiranje plodov | 100–120 | 100–120 | 140–160 |
| Trgatev plodov | 130–150 | 130–150 | 180–200 |

Semena kalijo pri temperaturi 22–30 °C v 8–12 dneh. Sadike lahko presadimo, ko imajo 6–8 pravih listov in ko je nočna temperatura nad 10 °C. Grmičaste, zelo rodovitne rastline je treba podpreti s koli ali navpičnimi vrvicami, ki visijo z železnih žic, napetih vodoravno nad koriti. Prvih nekaj cvetov, ki se pojavijo na rastlini, je treba odtrgati, da spodbudimo nadaljnjo rast, prav tako je treba zmanjšati število cvetov v primeru prekomernega cvetenja, saj tako omogočimo rast plodov, ki še lahko dosežejo zadostno velikost (Somerville *et al.* 2014c).

Zaradi edinstvene rasti paprike je obrezovanje zelo pomembno za zagotavljanje pridelka, na ta način zmanjšamo stroške pridelave in dovzetnost za bolezni ter povečamo pridelek. Obrezovanje paprike se razlikuje od obrezovanja paradižnika, saj paprika nima stranskih poganjkov kot paradižnik. Po ščipanju (odstranitvi vršička rastline) začneta rasti zgornja dva nodija. Glavni cilj obrezovanja paprike je oblikovanje močnega vegetativnega telesa za podporo plodovom pri njihovi rasti in teži. Navedenih je nekaj nasvetov za obrezovanje paprike (Singh & Dunn 2017).

1. Pri prvih 40 centimetrih odstranimo vršiček oz. konico stebla.
2. Obravnavajmo vsako izmed obeh stebel posamezno in izmenično odstranjujmo notranje in zunanje poganjke z vsakega glavnega stebla.
3. Odstranimo stranski poganjek, ko je dolg približno 50 mm.
4. Na vsakem steblu izmenično odstranimo socvetja. Veliko težkih plodov na rastlini lahko vpliva na slabšo kakovost plodov in povzroči fiziološke motnje, kot je gnitje konice ploda.
5. Iz rastlinjaka v celoti odstranimo vse rumene liste.

Čas rasti paprike je 60–95 dni. Tako kot paradižnik je treba tudi papriko oprašiti bodisi ročno bodisi tako, da v rastlinjak postavimo čebelni panj. Pri rdeči papriki je treba zelene plodove pustiti na rastlini, dokler ne dozorijo in postanejo rdeče. Obiranje se začne, ko paprike dosežejo tržno velikost, in se nadaljuje vso sezono, s čimer spodbudimo nadaljnje cvetenje, razvoj plodov in rast. Paprike lahko enostavno hranimo sveže 10 dni pri 10 °C z 90–95-% vlažnostjo (Somerville *et al.* 2014c).

#### 7.2.3.3 Kumare

Kumare (*Cucumis sativus*) obstajajo v treh spolnih sortah: mešanica moških in ženskih cvetov v razmerju 50 : 50 (enodomna rastlina, monoecij); mešanica ženskega in moškega cvetja v razmerju 70 : 30 (ginecij); žensko cvetoče rastline (dvodomne rastline, diecij; rastline so partenokarpne in razvijejo plod brez oploditve). Sajenje samo ženskih cvetočih rastlin bo zagotovilo plodne cvetove na vsaki rastlini in s tem pridelek, ki lahko plodi brez opraševanja. Vendar lahko cvetni prah, ki ga prenašajo čebele in drugi opraševalci, okuži partenokarpne rastline, zato je treba morebitnim drugim opraševalcem preprečiti vstop v rastlinjak (Valdez 2017a). Kumare se lahko goji v rastnih koritih, saj

imajo veliko koreninsko površino, in na splavih DWC, čeprav v rastnih ceveh obstaja tveganje za zamašitev pretoka zaradi prekomerne rasti korenin (Somerville *et al.* 2014c).

Idealni pogoji za rast kumar:

- temperatura: 24–27 °C,
- pH: 5,5–6,5.

Kumare zahtevajo velike količine dušika in kalija, zato je treba pri odločitvi o številu rastočih rastlin upoštevati hranila, ki so na voljo v vodi, in biomaso rib. Najbolje uspevajo v dolgih, vročih in vlažnih dneh z veliko sonca in v toplih nočeh. Optimalne dnevne temperature rasti so 24–27 °C podnevi z 70–90-% relativno vlažnostjo, nočne temperature pa 18–20 °C. Kumare so zelo občutljive na zmrzal. Tudi popolna sončna svetloba in temperatura tal okoli 21 °C sta optimalna za rast. Višja koncentracija kalija spodbuja rast rastline in količino pridelka (Somerville *et al.* 2014c).

Semena kalijo v 3–7 dneh pri temperaturi 20–30 °C. Sadike lahko presadimo v 2–3 tednih, ko imajo razvite 4–5 listov, po presajanju pa začnejo plodove rasti po 2–3 tednih. V optimalnih pogojih lahko plodove poberemo 10–15-krat. Obiranje vsakih nekaj dni prepreči, da bi plodovi postali preveliki, in spodbudi rast novih. Kumare rastejo zelo hitro in običajno je priporočljivo omejiti njihovo rastno vitalnost in preusmerimo hranila na plodove tako, da odrežemo apikalne vršičke, ko je steblo dolgo dva metra; odstranjevanje stranskih vej pospeši tudi prezračevanje. Nadaljnje širjenje rastlin je mogoče doseči tako, da na glavnem steblu ostaneta samo dva najbolj oddaljena brsta. Z rednim nabiranjem plodov tržne velikosti bodo rastline obrodile nove plodove. Kumare za rast potrebujejo podporo, ki jim zagotovi tudi primerno prezračevanje, prav tako pa prepreči listne bolezni, kot sta oidij in siva plesen. Zaradi velike pojavnosti škodljivcev na kumarah je pomembno izvajati ustrezne strategije celostnega obvladovanja škodljivcev (glej poglavje 8) in uporabljati enote, na katere ima uporabljeno zdravljenje manjši vpliv (Somerville *et al.* 2014c).

#### 7.2.3.4 Jajčevec

Jajčevec (*Solanum melongena*) je požrešen pridelek, ki uspeva pri visokih temperaturah in zahteva veliko prostora med posameznimi rastlinami. Če poleg jajčevca v istem okolju gojimo še druge kulture, je pogosto težko zagotoviti primerno temperaturo za vse rastline. Zaradi tega je jajčevec najbolje gojiti kot monokulturo, saj se s tem izognemo usklajevanju klimatskega stanja v rastlinjaku (Valdez 2017a).

Idealni pogoji za rast jajčevca:

- temperatura: 22–26 °C,
- pH: 5,5–7,0.

Jajčevec potrebuje veliko dušika in kalija, zato so potrebne tehtne odločitve glede števila rastlin, ki jih želimo posaditi, da preprečimo neravnovesje hranil. Uspeva pri visokih temperaturah na soncu in relativni vlažnosti 60–70 %. Najustreznejše nočne temperature so 15–18 °C. Tudi jajčevec je zelo občutljiv na zmrzal (Somerville *et al.* 2014c).

Semena bodo pri visokih temperaturah (26–30 °C) vzklila po 8–10 dneh, sadike pa lahko presadimo spomladi, ko temperature zrastejo in imajo rastline 4–5 listov. Proti koncu poletja je treba nove cvetove porezati, da spodbudimo zorenje obstoječih plodov. Ob koncu sezone lahko rastline drastično obrežemo na 20–30 cm, pustimo samo tri glavne veje. Ta metoda prekine razvoj rastline, zato pozimi rastlin ni treba odstraniti, spomladi pa znova začnejo proizvajati plodove. Rastline lahko gojimo brez obrezovanja, upravljanje vej pa lahko olajšamo s količki ali navpičnimi vrvicami. Čas rasti je 90–120 dni. Tako kot paradižnik in papriko je treba tudi jajčevec oprašiti bodisi ročno bodisi tako, da v rastlinjak postavimo panj čmrljev. Plodove začnemo obirati, ko so veliki 10–15 cm; z ostrim nožem odrežemo plod z rastline, na katerem pa mora ostati vsaj 3 cm stebla. Kožica mora biti sijoča; pusta in rumena kožica je znak, da je plod prezrel. Pri zapozneli trgatvi plodovi razvijejo semena, zaradi česar so neprimerni za trg. Rastline lahko dajo 10–15 plodov s skupno težo 3–7 kg (Somerville *et al.* 2014c).

#### 7.2.3.5 Jagode

Vrtna jagoda (*Fragaria × ananassa*) je široko gojena hibridna vrsta iz rodu *Fragaria*, skupno znana kot jagode. Jagode se razlikujejo od drugih pridelkov. Rastejo dalj časa, vendar so dovzetne tudi za številne bolezni. Pri jagodah je pogosta glivična bolezen, imenovana gniloba pritlehnega dela. Pritlehni del je del rastline, na katerem korenine postanejo steblo, zato je pomembno, da le-ta ostane izven mokrega območja. Tudi pršice so lahko težava. Različne sorte jagod imajo različne potrebe in različen časovno obdobje rasti: preden obrodijo plodove, določene sorte po sajenju potrebujejo mesec dni, druge pa lahko tudi več mesecev. Nekatere sorte obrodijo plod le v določenem delu leta, celo v zaprtih prostorih. Druge sorte, ki lahko obrodijo sadove vse leto ali dnevno nevtralne sorte, so najprimernejše za gojenje v zaprtih prostorih (Storey 2016l).

Idealni pogoji za rast jagod:

- temperatura: 18–20 °C,
- pH: 5,5–6,0.

Tabela 3: Priporočena sestava hranilnih raztopin, ki ustreza fazi rasti jagod v sistemih brez prsti (iz Raviv & Lieth 2007)

| Faza rasti | N | P | K | Ca | Mg |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | (mg $L^{-1}$) | | |
| Presajanje | 55–60 | 20–25 | 45–60 | 60–70 | 35–40 |
| Anteza in prvi val plodov | 70–85 | 20–25 | 70–90 | 100 | 45 |
| Drugi val plodov | 80–85 | 25–30 | 80–90 | 100 | 45 |
| Tretji val plodov | 80–85 | 25–30 | 80–90 | 100 | 45 |
| Četrti val plodov | 55–60 | 20–25 | 55–60 | 80 | 35 |

Jagode gojimo iz korenik, ne iz semen. Vegetativna rast (poganjki) je veliko hitrejša kot spolno razmnoževanje (semena), zato z uporabo korenik lahko čas od sajenja do pridelave skrajšamo za več mesecev ali celo let. V zdravem sistemu bodo korenine jagod zrasle v manj kot enem tednu, prvi cvetovi pa se bodo pojavili približno po dveh tednih, vendar je pomembno, da popke na glavni veji odstranjujemo 4–6 tednov, s čimer vse rastlinske vire usmerimo k vegetativni rasti, ki rastlini kasneje omogoči večje donose. Če omogočimo razvoj cvetov, se sadeži oblikujejo in dozorijo v približno dveh tednih, čeprav je to odvisno od sorte in rastnega okolja. Na prostem se lahko pridelovalci zanesejo na naravne opraševalce, kot so čebele, muhe in ptice, ki cvetni prah širijo z moških delov na ženske dele jagod. V zaprtih prostorih morajo pridelovalci bodisi nastaviti čebelji panj bodisi opraševati ročno. Ročno opraševanje se lahko opravi s čopičem. Z rahlim premikanjem središča cveta, drugega za drugim, se cvetni prah širi s cveta na cvet. Ročno opraševanje lahko traja 10–30 sekund na rastlino, kar je lahko v velikem nasadu dolgotrajno, zato je namesto tega gospodarnejše, če oprašujemo s pomočjo čebel (Storey 2016l).

Obrezovanje jagod vključuje obrezovanje listov, cvetov in grmičkov ter odstranjevanje plazečih poganjkov. Obrezovanje listov vključuje odstranitev starih listov, ki začenjajo rumeneti. Ti listi preprečujejo kroženje zraka in prestrezajo svetlobo, s čimer se poveča možnost za nastanek bolezni. Rast plazečih poganjkov v produktivnem obdobju je nepotrebna, saj s tem rastlina po nepotrebnem izgublja ogljikove hidrate, ki jih drugače lahko uporabi za razvoj cvetov. Zaradi tega je obrezovanje plazečih poganjkov pomembno tudi za kakovostno pridelavo sadežev. Z obrezovanjem cvetov pri jagodah se spodbuja vegetativno rast ali pridelavo velikih sadežev. Ko rastline zrastejo iz plazečih poganjkov, morajo pognati velik grmiček. Za razvoj grmička je treba odstraniti cvetove, ki so se razvili v zgodnji fazi rasti. Na ta način se sladkorji, ki nastanejo s fotosintezo, preusmerijo k vegetativni rasti. Velikost sadežev je obratno sorazmerna s številom cvetov. Če se razvije veliko število majhnih cvetov, je sadni pridelek majhen, zato je za kakovostno pridelavo obrezovanje cvetov potrebno. Obrezovanje grmičkov je pomembno tudi zaradi gojenja cvetnih popkov v jagodah, kadar so rastline preveč vegetativne. Med zimsko pridelavo je obrezovanje grmičkov v proizvodnji toplogrednih jagod potrebno za vzdrževanje ustrezne gostote (Singh & Dunn 2017).

Slika 5: Rast jagod v sistemu NFT
(https://www.maxpixel.net/Produce-Strawberries-Hydroponic-Farming-Growing-621914)

### 7.2.4 Izbira poljščin za različne sisteme

Tip rastnih gred oz. korit vpliva na izbiro rastlin. Če predpostavimo, da so korita globoka vsaj 30 cm, v enotah, ki temeljijo na substratu, običajno hkrati gojimo polikulturno listnato zelenjavo, zelišča in plodovke. Pri polikulturi na majhnih površinah lahko skupno sajenje izkoristimo tudi za zatiranje škodljivcev in bolezni ter boljše upravljanje prostora, saj pod višjimi rastlinami lahko rastejo rastline, ki uspevajo tudi v senčni legi. Običajne monokulture so bolj razširjene v komercialnih enotah NFT in DWC zaradi omejenega števila odprtin v rastnih cevih in splavih. Z uporabo enot NFT bi bilo mogoče gojiti večje plodovke, npr. paradižnik, vendar morajo te rastline imeti velik dotok vode, ki zagotovi zadostno oskrbo s hranili. S tem se izognemo tudi vodnemu stresu. Gnitje plodovk se lahko pojavi skoraj takoj, ko je pretok moten, kar uničujoče deluje na celoten pridelek. Plodovke je treba zasaditi v večje rastne cevi, v idealnem primeru z ravnim dnom, in jih postaviti na večjo razdaljo kot listnato zelenjavo. Plodovke so večje in za zorenje plodov potrebujejo več svetlobe, prav tako potrebujejo več prostora za korenine v cevih. Po drugi strani pa gojimo velike čebulnice in/ali gomoljnice, kot so koleraba, korenje in repa v rastnih koritih s substratom, saj enote DWC in NFT ne nudijo dobrega rastnega okolja in ustrezne podpore (Somerville *et al.* 2014a).

Pri izbiri poljščin za gojenje v enotah DWC ali sistemu splavov je treba upoštevati več dejavnikov (Valdez 2017b).

1) Teža: splavi so običajno precej trpežni in poceni, vendar lahko podprejo le določeno težo. Najboljše rastline za gojenje v globoki vodi so majhne in lahke. Solata je npr. priljubljen pridelek v sistemih DWC, saj po velikosti ustreza raftom. Večji pridelki, kot je paradižnik, v sistemih DWC rastejo težje, saj imajo visoko težišče. Brez dobrega zasidranja korenin v gostem mediju se visoke in težke rastline lahko prevrnejo ali zlomijo.

2) Odtis (prostornina): sistemi DWC delujejo na eni horizontalni ravnini, saj so običajno pretežki za zlaganje v višino. To pomeni, da je razmerje med prostornino in rastno površino 1 : 1, zato je treba rastno površino učinkovito posejati z rastlinami, ki se lahko gojijo pri večjih gostotah zasaditev (npr. listnata zelenjava).

3) Vodi prijazno: rastline in zelišča, ki bolje uspevajo ob suši, kot sta origano in rožmarin, v sistemih DWC ne rastejo dobro. Po drugi strani bodo žejne rastline, kot je zelena solata, v sistemih DWC dobro uspevale.

Bato korita (ali »nizozemska« korita) so različica rastnih korit z medijem sestavljena iz več manjših zaporednih korit z medijem. Sistem bato korit je običajno sestavljen iz korit, nameščenih na klopeh ali na tleh, pri čemer dovodni vod, po katerem teče voda do korita, poteka nad sistemom, odtočni vod (ali povratni vod) pa odvaja vodo spodaj. Trije najpogostejši mediji, ki se uporabljajo v sistemih z bato koriti, so perlit, ekspandirana glina in kokosova vlakna. Te lahko uporabljamo individualno ali skupaj v različnih razmerjih (Valdez 2017a).

Najbolj priljubljene poljščine, ki se gojijo v bato koritih, so velike in/ali plezajoče sorte, kot so paradižnik, kumare, paprika in jajčevec. Plezajoče rastline rastejo kot glavne veje, ki plezajo navzgor ali navzven, odvisno od obrezovanja. Mnoge od teh pridelkov je zato mogoče gojiti ob opori in jih vzgajati, da rastejo navzgor, kar ustvarja vrste visokih rastlin, ki so enostavne za dostop in vzdrževanje. Izbira pridelkov, ki jih lahko uporabimo v bato sistemih, zahteva (Valdez 2017a):

1) odpornost proti boleznim: bato korita lahko prihranijo veliko prostora, vendar nagnetejo pridelke skupaj, kar pomeni večjo dovzetnost za bolezni; odporne rastline zato prinašajo manj tveganja in razočaranj;

2) odtis in rastlinski slog: rastline, izbrane za gojenje v bato koritih, vplivajo na prostor, vzdrževanje in nabiranje. Ker so bato korita postavljena na vodoravnih nosilcih, klopeh ali tleh, je pomembno, da pridelovalci čim bolj izkoristijo prostornino nad vedri, kar zagotovo omogočajo predvsem plezalke.

Slika 6: Bato korita (na desni), ki se uporabljajo za gojenje jagod na mestni kmetiji University of District of Columbia v Beltsvilleu (https://www.flickr.com/photos/usdagov/32245870463)

Najprimernejše rastline za gojenje v bato koritih so:

- paradižnik: razdalja med vedri 60–90 centimetrov. Glede na vložena materialna sredstva bosta dve rastlini na eno bato korito zagotovili največ pridelka. Plezalke lahko v rastlinjakih zrastejo 6–12 metrov;
- paprika: razdalja med vedri 30–50 cm,
- kumare: razdalja med vedri 60–80 cm,
- jajčevec: razdalja med vedri 20–40 cm.

## 7.3 Načrtovanje posevkov

Sočasna zasaditev vseh rastlin povzroči t. i. proizvodne valove namesto stalne pridelave. Da bi zadovoljili tedensko stalno povpraševaje je potrebna nenehna pridelava. Koristno orodje za dosego tega je program za sajenje in obiranje, ki upošteva življenjske cikle vsakega pridelka (Storey 2016c):

- listnata zelenjava, kot je blitva, zelena solata in zelje, ima od 4- do 6-tedenski cikel od presaditve do obiranja,
- hitra zelišča, kot sta drobnjak in meta, imajo od 3- do 4-tedenski cikel med žetvami,
- koriander, peteršilj in bazilika imajo pri ustreznih pogojih 5-tedenski cikel,
- plodovke, kot so jagode in paradižnik, rodijo stalno, zato jih lahko posadimo hkrati.

Pomembno je upoštevati tudi učinek nabiranja rastlin na celotni ekosistem akvaponske enote. Če bi nabrali vse rastline naenkrat, bi bila posledica pomanjkanje rastlin za čiščenje vode, kar bi vodilo v povečano količino hranil. Nekateri pridelovalci to tehniko uporabljajo, vendar mora sovpadati z

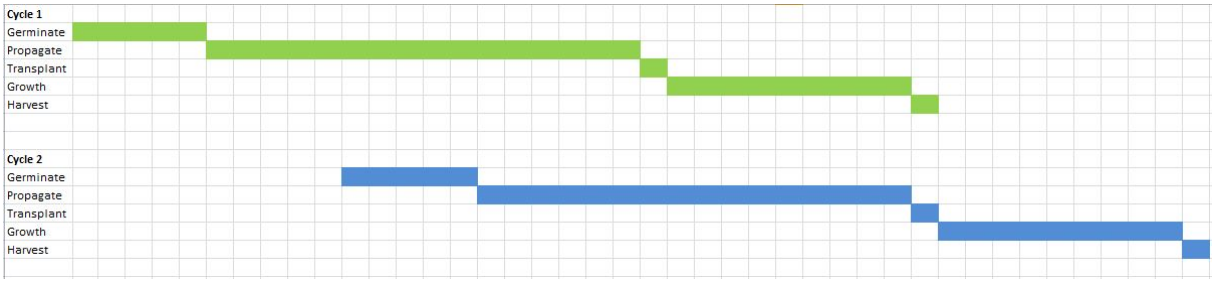
velikim izlovom rib ali zmanjšanjem krmnega obroka. Priporočljivo je, da uporabimo postopni cikel nabiranja in ponovne zasaditve. Prisotnost preveč rastlin, ki rastejo sinhrono, bi povzročila pomanjkanje nekaterih hranil v obdobju obiranja, ko je njihov vnos največji. Z rastlinami v različnih stopnjah rasti (kombinacija sadik in zrelih rastlin) bo skupna potreba po hranilih vedno enaka. To bo zagotovilo stabilnejšo kemijsko sestavo vode in rednejšo pridelavo pridelkov (Somerville *et al.* 2014a).

Medtem ko pridelovalci v pokritih oz. zaprtih prostorih lahko zagotavljajo celoletni pridelek, še vedno lahko pride do izgube časa kadar je med cikli pridelkov njihov sistem prazen (izven obratovanja). Da bi skrajšali čas izven obratovanja, morajo biti sadike pripravljene za presaditev v akvaponski sistem že takrat, ko je prejšnji pridelek treba obrati. To lahko storimo tako, da vnaprej izračunamo število dni, ki jih nova semena potrebujejo za kalitev. Uporabimo lahko koledar ali Ganttov grafikon in sledimo naslednjim korakom (Godfrey 2018):

1) označimo dan obiranja,

2) seštejemo čas kalitve pridelka in čas razmnoževanja. S tem dobimo število dni do obiranja, ko začnejo kaliti semena za naslednji cikel. V koledarju označimo dan, ko je treba začeti s kalitvijo semen, in dan, ko jih je treba sadike presaditi. Dan, ko jih presadimo v sistem, naj sovpada z dnevom po obiranju pridelka iz prejšnjega cikla. Obiramo lahko že na dan presajanja, vendar je to odvisno od velikosti sistema. Na velikih kmetijah lahko obiranje traja nekaj dni.

Okoljske razmere in raznolikost pridelka vplivajo na čas rasti pridelka. Slika 7 prikazuje hipotetični načrt posevkov za solato, ki se obira celo leto (v nasprotju s sorto za rezanje). Petdnevnemu kaljenju sledi 16 dni razmnoževanja, ko je sadika pripravljena za presaditev v akvaponsko enoto. Po nadaljnjih devetih dneh so solate pripravljene za nabiranje. Drugi cikel pridelave je časovno zasnovan tako, da so sadike pripravljene za presaditev v akvaponsko enoto isti dan, ko so bile pobrane rastline prvega cikla, s čimer se skrajša čas izven obratovanja.




Slika 7: Hipotetični načrt sajenja solate

Uporaba prekrivajočih se ciklov pridelka (slika 7) omogoča tedensko obiranje manjšega obsega namesto obseobiranja vsakih pet tednov. To je logična strategija kmeta s pogodbo, v kateri obljublja, da bo vsak teden dostavil določeno količino pridelka. Naslednji koraki za oblikovanje učinkovitega načrta so (Godfrey 2018):

1. naredimo načrt dela za obiranje: če obiramo sami, poskrbimo, da imamo dovolj časa za obiranje vsega, kar želimo, da se pravočasno pripravo na prodajo.

2. Dobro poznavanje gojenih sort: vsak pridelek ima različne časovne cikle, zato se prepričajmo o edinstvenih zahtevah pridelka. Od tega so odvisne vse odločitve: od kaljenja in obiranja do dobave. Poleg tega razmislimo, kakšno vrsto obiranja bo rastlina zahtevala: solata bo verjetno nabrana v celoti, kar pomeni, da bo novo sejanje potrebno prej, kot če bi gojili baziliko, kjer se isti pridelek lahko obere večkrat.

3. Izberemo tehniko obiranja: kako obiramo, je določeno z vrsto pridelka. Nekateri pridelki omogočajo, da obiramo samo del rastline, drug del pa raste naprej, medtem ko so drugi pridelki primernejši za polno žetev. Obiranje, pri katerem pustimo del rastline, bo verjetno trajalo dlje kot tehnika polnega obiranja, saj isto rastlino obiramo večkrat, namesto da celotno rastlino odrežemo naenkrat.

4. Velikosti sistema: večji ko je sistem, dalj časa traja obiranje. To je splošno pravilo, tudi če imamo zaposlene. Delovna sila je eden največjih stroškov vodenja domačih kmetij. Ko načrtujemo časovni potek, upoštevajmo, kako velik je naš sistem; koliko časa v povprečju potrebujemo za eno obiranje, ta čas upoštevajmo v izračunih časovnega poteka pridelave. Na podlagi tega se tudi odločimo, kako velike odseke pridelovalne površine bomo namenili za vsak prekrivajoči cikel pridelave.

5. Pomislimo na svoje stranke: če trg določenega pridelka ne želi, ga ne gojimo. Če pa si ga želi in ga lahko uspešno gojimo, potem namenimo več časa in sredstev za posamezen pridelek, da strankam zagotovimo, kar in kadar si želijo.

## 7.4 Literatura


Godfrey, M. 2018. *How to Minimize Downtime Between Hydroponic Crop Cycles*. Upstart University.

Raviv, M. & Lieth, J.H. 2007. *Soilless Culture: Theory and Practice*. Elsevier.

Resh, H.M. 2013. *Hydroponic Food Production: A Definitive Guidebook for the Advanced Home Gardener and the Commercial Hydroponic Grower* (7th edition). Newconcept Press, Mahwah, SA.

Singh, H. & Dunn, B. 2017. *Pruning Hydroponic Crops*. Oklahoma Cooperative Extension Service.

Somerville, C. et al. 2014a. Plants in aquaponics. In Somerville, C., Cohen, M., Pantanella, E., Stankus, A. & Lovatelli, A. *Small-Scale Aquaponic Food Production – Integrated Fish and Plant Farming*. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper No. 589. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, pp. 83-102.

Somerville, C. et al. 2014b Management and troubleshooting. In Somerville, C., Cohen, M., Pantanella, E., Stankus, A. & Lovatelli, A. *Small-Scale Aquaponic Food Production – Integrated Fish and Plant Farming*. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper No. 589. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, pp. 123-139.

Somerville et al. 2014c. Appendix 1 – Vegetable production guidelines for 12 common aquaponics plants. In Somerville, C., Cohen, M., Pantanella, E., Stankus, A. & Lovatelli, A. *Small-Scale Aquaponic Food Production – Integrated Fish and Plant Farming*. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper No. 589. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, pp. 169-181.

Storey, A. 2016a. *Best Conditions and Methods for Growing Parsley in Hydroponics.* Upstart University.

Storey, A. 2016b. *Everything You Need to Know About Growing Chard Without Soil.* Upstart University.

Storey, A. 2016c. *Farmer Tip #1 – How to Make a Planting Schedule*. Upstart University.

Storey, A. 2016d. *Get the Scoop on How to Grow Fennel in Hydroponics*. Upstart University.

Storey, A. 2016e. *Growing or Selling Basil? Read this First.* Upstart University.

Storey, A. 2016f. *Harvesting and Handling Lettuce for a Longer Shelf Life*. Upstart University.

Storey, A. 2016g. *Get the Tips and Guidelines on Growing Mustard Greens*. Upstart University.

Storey, A. 2016h. *Growing Oregano in Hydroponics? Read This First!* Upstart University.

Storey, A. 2016i. *Here's What You Need to Know About Growing Bok Choy in Hydroponics.* Upstart University.

Storey, A. 2016j. *How to Grow Classic Rosemary in Hydroponics.* Upstart University.

Storey, A. 2016k. *How to Grow Hydroponic Cabbage: The Beginner's Guide.* Upstart University.

Storey, A. 2016l. *How to Grow Hydroponic Strawberries*. Upstart University.

Storey, A. 2016m. *How to Grow Mint in Hydroponics – All You Need to Know.* Upstart University.

Storey, A. 2016n. *So You Want to Grow Chives? Read this First!* Upstart University.

Storey, A. 2016o. *10 Tips for Farmers on the Post-harvest Care of Herbs*. Bright Agrotech.

Storey, A. 2016p. *The Beginner's Guide to Growing Kale in Hydroponics*. Upstart University.

Storey, A. 2017a. *Are You Growing Cilantro in Hydroponics? Read This First!* Upstart University.

Storey, A. 2017b. *Everything You Need to Know About Growing Nasturtiums in Hydroponics*. Upstart University.

Storey, A. 2017c. *The Beginner's Guide to Hydroponic Tomatoes*. Upstart University.

Thorarinsdottir, R. (ed.) 2015. *Aquaponic Guidelines*. EU Lifelong Learning Programme.

Valdez, J. 2017a. *The Best Plants for Bato Buckets.* Upstart University.

Valdez, J. 2017b. *The Best Plants for Raft Systems (DWC).* Upstart University.

**Marija Gregori, Sarah Milliken, Ranka Junge**

# 8. CELOSTNO OBVLADOVANJE ŠKODLJIVCEV

## 8.1 Koncept celostnega zatiranja škodljivcev (IPM)

Številni nacionalni in medvladni organi so sprejeli odločitev, da je uradno potrjena paradigma za zaščito pridelkov »celostno obvladovanje škodljivcev« (angl. *Integrated Pest Management* – IPM). Direktiva Evropske unije (EU) tako vse poklicne pridelovalce rastlin v EU zavezuje k uporabi splošnih načel IPM od leta 2014 naprej (The European Parliament and the Council of Europe 2009). IPM je ekosistemska strategija, dolgoročnega preprečevanja pojava škodljivcev ali njihove škode s kombinacijo različnih tehnik, kot so biološki nadzor, upravljanje s habitatom, spreminjanje praks in uporaba odpornih sort (Tang *et al.* 2005). Čeprav je akvaponika v primerjavi s konvencionalno hidroponično proizvodnjo odpornejša proti patogenim organizmom (Gravel *et al.* 2015), se je kljub temu nemogoče izogniti škodljivcem in boleznim. Zdravi pridelki so v prvi vrsti posledica dobrih rastnih pogojev in izbire ustrezne rastlinske sorte, ki rastlinam omogoča doseganje visoke proizvodne zmogljivosti in ne rezultat kemične oz. biološke zaščite rastlin. Večja raznolikost mikrobov v rizosferi izboljša odpornost rastlin proti koreninskim boleznim in hkrati omogoči večji vnos hranil. Zato so bistvenega pomena optimalna preskrba rastlin, ustrezni okoljski pogoji gojenja in inteligentne tehnike gojenja. Obvladovanje škodljivcev in povzročiteljev bolezni bi moralo zagotoviti manjšo uporabo bioloških in kemičnih proizvodov.

Po navedbah Organizacije združenih narodov za prehrano in kmetijstvo (angl. *Food and Agriculture Organization* – FAO), je IPM: »*Sistem zatiranja škodljivcev, ki v medsebojno povezanem okolju in populacijski dinamiki vrst škodljivcev uporablja vse primerne tehnike in metode, ki na čim bolj kompatibilen način vzdržujejo populacijo škodljivcev na ravneh, ki so manjše od tistih, ki povzročajo gospodarsko škodo*« (FAO 2018). IPM zajema preventivne ukrepe, uporabo različnih ovir (npr. agrotekstil), biotehnološke metode (npr. žlahtnjenje rastlin), biološki nadzor z naravnimi sovražniki in nadzorovano uporabo kemičnih proizvodov, ki so dovoljeni v ekološkem kmetijstvu. IPM je zato stroškovno učinkovit, okolju prijazen in družbeno sprejemljiv način zatiranja škodljivcev in preprečevanja bolezni.

Tako v običajni hidroponiki kot v akvaponiki morajo upravljavci obvladovati različne biološke nevarnosti. Škodljivci niso nezaželeni samo zaradi neposredne škode, ki jo povzročajo rastlini, temveč tudi zato, ker so pogosto tudi prenašalci (vektorji) bakterijskih ali virusnih bolezni. Tako žuželkam kot povzročiteljem bolezni ugajajo nadzorovane razmere v rastlinjakih, kjer so zaščiteni pred dežjem, vetrom in večjimi temperaturnimi nihanji. Vendar pa ti pogoji omogočajo tudi učinkovito uporabo »koristnih« organizmov v boju proti nezaželenim žuželkam. Različne strategije in pristopi zmanjšujejo uporabo pesticidov in izboljšajo zdravje rastlin. Medtem ko je biološko zatiranje škodljivcev del celostnega zatiranja škodljivcev, obstajajo nekatere razlike med splošnim konceptom IPM in biološkim zatiranjem škodljivcev (angl. *Biological Pest Control* – BPC) (tabela 1).

Tabela 1: Primerjava celostnega zatiranja škodljivcev in ekološkega kmetijstva

<table>
<tr><th></th><th>Celostno zatiranje škodljivcev (IPM)</th><th>Smernice za ekološko kmetovanje</th></tr>
<tr><td>Zaščitini ukrepi</td><td colspan="2"><ul><li>Higiena posevkov (odstranjevanje plevela, dezinfekcija prostora itd.)</li><li>Fizične ovire proti škodljivcem (npr. mreže)</li><li>Uporaba močnih in odpornih sadik</li><li>Higienski ukrepi na vhodu</li><li>Omejevanje števila obiskovalcev</li></ul></td></tr>
<tr><td>Uporaba koristnih žuželk proti škodljivcem<br><br>(Biološko zatiranje škodljivcev)</td><td colspan="2"><ul><li>Ličinka pikapolonice proti listnim ušem</li><li>Parazitoid muhe (Encarsia formosa) proti ščitkarju</li><li>Hržica (Aphidoletes aphidimyza) proti listnim ušem</li><li>Entomopatogene ogorčice</li><li>Entomopatogene bakterije in glive</li></ul></td></tr>
<tr><td>Kemični nadzor</td><td>Uporaba sintetičnih pesticidov, ki niso strupeni za ribe,* se dovoli v nadzorovanih pogojih, vendar le kot skrajni ukrep, kot je npr.:<ul><li>pimetrozin proti listnim ušem, belim mušicam,</li><li>Klofentezin proti pršicam,</li><li>fosetil-aluminij proti škodljivi plesni.</li></ul>Možna je tudi uporaba naravnih pesticidov, naštetih kot del BPC.<br><br>* TER (razmerje izpostavljenosti strupenosti) = akutna $LC_{50}$ (mg agent/liter)/PEC (predvidena koncentracija v okolju) > 100 za ribe in > 10 za vodne nevretenčarje.</td><td>Uporaba naravnih pesticidov, kot so:<ul><li>olja* (koromačevo olje proti praškasti plesni),</li><li>kalijev bikarbonat* proti praškasti plesni (Oidium, Leveillula, Sphaerotheca),</li><li>žveplo* proti praškasti plesni (Oidium, Leveillula, Sphaerotheca),</li><li>lecitin* proti praškasti plesni (Erysiphe).</li></ul></td></tr>
</table>

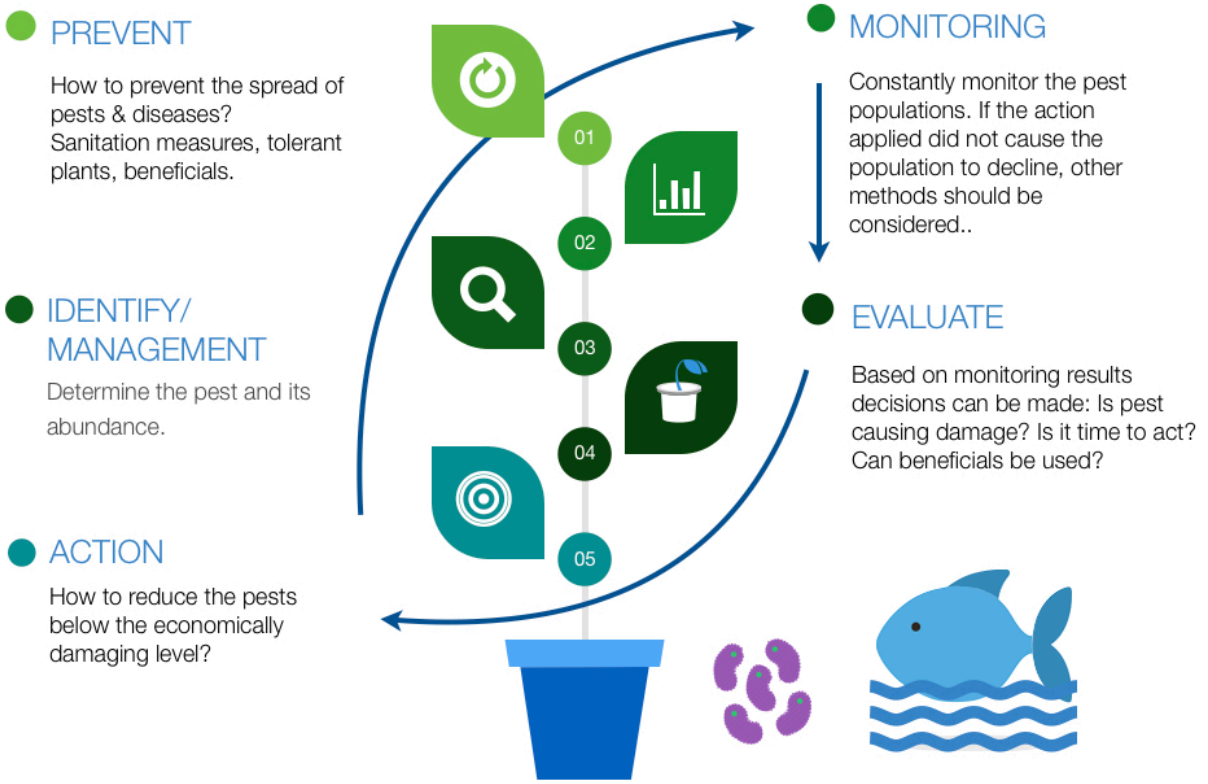
Vir: FiBL – Betriebsmittelliste 2019 für den biologischen Landbau in der Schweiz

Preverite varnost rib, preden uporabite katero koli fitofarmacevtsko sredstvo, biološko sredstvo za nadzor ali rastlinske insekticide in fungicide.

V nasprotju s konvencionalno hidroponiko so akvaponski sistemi neodvisni ekosistemi z različnimi conami. Poleg ciljnih pridelkov (rib in rastlin) sistem gosti tudi širok nabor različnih mikroorganizmov (Schmautz *et al.* 2017) ter majhnih žuželk in pajkov, ki ugodno, nevtralno ali škodljivo vplivajo na končen pridelek. Akvaponski sistemi ponavadi na enem mestu omogočajo visoko gostoto rib in rastlin, kar omogoča hitro širjenje povzročiteljev bolezni po celotnem sistemu. Za razliko od običajnih sistemov gojenja, v katerih je uporaba kemičnih pesticidov del vsakodnevne rutine, takšne metode niso primerne za akvaponiko (Bittsánszky *et al.* 2015). Posledice okužbe z boleznijo ali napada

škodljivcev so zapletene, saj izgube ali odstranjevanje rastlin oz. rib povzroči spremembo v ravnovesju med ribami, rastlinami in kemijski sestavi vode. Pri uporabi kemičnih proizvodov je zato potrebna previdnost. Vnos organskih ali anorganskih kemikalij bi bil lahko usoden za vodne živali in mikrobiološko ravnovesje v sistemu. Zato je bolje, da kemičnih izdelkov ne uporabljamo, kot da tvegamo usodne posledice za celoten sistem.

Odziv na bolezen in/ali škodljivce v akvaponiki zato omejuje: (i) kombinacija rib, rastlin in bakterij, saj so ribe lahko občutljive na zdravljenje rastlin in obratno, bakterije pa so lahko občutljive tako na zdravljenje rib kot rastlin; in (ii) želja po ohranjanju statusa brez kemičnih ali organskih snovi.




Slika 1: Pet korakov IPM v akvaponiki

## 8.2 Zaščitni ukrepi za celovito zatiranje škodljivcev

Dobro zdravje rastlin ne pomeni samo odsotnost bolezni in škodljivcev. Za zdravo rast so potrebne dobre tehnike gojenja z ustrezno prehrano rastlin, kakovostjo vode, ugodnimi podnebnimi razmerami in proizvodno higieno. Da bi dosegli trajnostno upravljanje varstva rastlin, je treba razumeti, kako zmanjšati tveganje za bolezni rastlin. Preprečevanje je najpomembnejši element celostnega zatiranja škodljivcev (tabela 2).

Tabela 2: Ukrepi za preprečevanje bolezni rastlin v akvaponiki

| Nadzorni ukrep | Primeri dejanj |
|---|---|
| Higiena okolja | Spoštovanje sanitarnih pravil, namenska oblačila, ločen prostor za kalitev rastlin, preprečevanje razvoja alg |
| Fizikalne metode priprave vode | Obdelava z UV-svetlobo<br>Toplotna obdelava |
| Fizične ovire proti žuželkam | • Mreže<br>• Vabe in pasti |
| Spoštovanje dobre kmetijske prakse | • Uporaba odpornih sort poljščin<br>• Primerna zaloga hranil<br>• Ustrezen razmik rastlin<br>• Redno spremljanje prametrov rasti |
| Upravljanje okoljskih razmer | Uravnavanje vlažnosti in temperature je ključna pri preprečevanju glivičnih in bakterijskih bolezni na pokritih posevkih. Ogrevanje, prezračevanje, senčenje, dodatne luči, hlajenje in megljenje za zagotavljanje optimalnih pogojev, ki omogočajo tako rastlinsko proizvodnjo kot nadzor nad boleznimi. |
| Podpora naravno prisotnim organizmom, ki zavirajo bolezni | • Koristni mikroorganizmi<br>• Koristne žuželke<br>• Izvlečki komposta |

### 8.2.1 Higiena okolja

Pred začetkom akvaponičnega cikla (ali katere koli druge oblike gojenja rastlin) v rastlinjaku je treba očistiti in razkužiti notranjost in vse orodje. Najprej je treba odstraniti ves rastlinski material, plošče, talne obloge itd. Umazanija na površini rastlinjaka, starejša od 3 do 4 let, zmanjša prosojnost svetlobe. Vsako leto je treba zunanjost rastlinjaka zato očistiti, da se izboljša osvetljenost. Pred razkuževanjem notranjosti rastlinjaka morajo biti vse površine čiste in brez organskih snovi. Trajnostna razkužila so vroča voda, vodna para, alkohol (70-%), peroksid, organske kisline itd. Priporočljivo je tudi razkuževanje delovnih orodij, kot so noži. Čist rastlinjak zagotavlja najboljše izhodiščne pogoje za zdrave in močne sadike. Dezinfekcija pred vstopom v rastlinjak, npr. umivanje rok in razkuževanje obutve, je nujna. Čiščenje praznih rastlinjakov, namakalnih sistemov, posod za rastline in opreme za shranjevanje je prav tako pomembno za zagotavljanje varnosti hrane. Uporabljati je treba tudi zaščitna oblačila in zaščito za obutev.

### 8.2.2 Odporne rastlinske vrste

Odpornost rastlin proti žuželkam je ena od metod zatiranja škodljivcev. Metode nadzora vključujejo uporabo kmetijskih praks, ki zmanjšujejo število škodljivcev in škodo, ki je manjša od tiste, ki bi nastala, če se dobra kmetijska praksa ne bi uporabljala. Odpornost rastlin naj bi se uporabljala v povezavi z drugimi neposrednimi tehnikami nadzora škodljivcev. Razvoj odpornih rastlinskih vrst je zelo dober, vendar je kataloge semen treba natančno preučiti, da bi izbrali sorte, ki so odporne proti boleznim. Pri nekaterih rastlinah, kot so paradižnik, kumare, paprika ali jajčevec (Slika 3 in 4), cepljenje omogoča zelo dobre rezultate. Z nekaj izkušnjami lahko cepljenje opravimo tudi sami. Priročniki in vaje, ki opisujejo tehniko cepljenja, so na voljo na spletu: Kleinhenz *et al.* (2011).

Slika 3: Cepljene paradižnikove sadike (foto: ZHAW)

Slika 4: Okužba z glivo *Botrytis* na steblu solate (foto: ZHAW)

### 8.2.3 Razmik med rastlinami

Ustrezen razmik med rastlinami je pomemben pri vsakem gojenju v rastlinjakih, saj so posevki v začetku zelo majhni, čemur sledi intenzivna rast. Visoka gostota sajenja povzroči tekmovanje za svetlobo, slabi rastline in omogoča škodljivcem, da se naselijo. Občasno obrezovanje rastlin je zato bistvenega pomena.

### 8.2.4. Ustrezna oskrba s hranili

Različni posevki zahtevajo različne načine gnojenja. Znan je primer paradižnika v običajnih hidroponskih sistemih z več kot petimi različnimi načini dodajanja hranil (Raviv & Lieth 2007); vendar pa to zaradi kroženja vode v akvaponiki ni mogoče. Po drugi strani pa rastline s krajšim obdobjem gojenja ter manjšo odvisnostjo od vegetativne in generativne faze običajno dobijo enakomerno oskrbo s hranili v celotnem rastnem ciklu. Nepravilna preskrba s hranilnimi snovmi omogoči okužbo s škodljivci. Npr. previsoka raven dušika naredi rastlinska tkiva sočnejša in škodljivci lažje prodirajo v tkiva. Obstajata dva glavna načina uravnavanja ravni hranil v akvaponiki:

- dodajanje topnega gnojila glede na potrebe po hranilih v rastlini (Resh 2013, glej tudi peto, šesto in deveto poglavje),
- uravnavanje hranil glede na koncentracijo soli v vodi; ta metoda predvideva, da je razmerje med različnimi hranili (solmi) stabilno.

Ravni soli med 0,5 in 1,5 mS/cm so običajno primerne za uporabo v akvaponiki (Vermeulen & Kamstra 2012). Če koncentracija soli presega 2,5 mS/cm, je treba dodati sladko vodo. Previsoke koncentracije soli v vodi povzročajo fiziološke motnje, posledica je nekroza na površini ali na robu listov. Takšna poškodba ustvari pogoje za sekundarne bolezni rastlin. Več informacij je na voljo v petem in šestem poglavju.

### 8.2.5 Monitoring

IPM predvideva spremljanje škodljivcev in njihovo natančno prepoznavo, tako da se lahko sprejmejo ustrezne odločitve v povezavi s t. i. akcijskimi pragovi. Spremljanje in prepoznavanje preprečita uporabo pesticidov, kadar le-ti niso potrebni, oz. uporabo napačnega pesticida. Zato je redno spremljanje škodljivcev zelo pomembno. Vsako razbarvanje ali deformacija listov in pojav plesni/gliv

na listih ali plodu je treba zabeležiti (glej spodaj). Ker je težko diagnosticirati glivične bolezni ali škodljivce, je priporočljivo, da se posvetujete s svetovalcem za varstvo rastlin.

### 8.2.6 Fizična zaščita

Zdravju rastlin lahko pomembno koristi preprečevanje poškodb členonožcev. Strategije fizičnega nadzora vključujejo metode omejevanje dostopa škodljivcev do rastlin, motenje njihovega vedenja ali povzročanje neposredne smrti (Vincent *et al*. 2009). Metode fizičnega nadzora lahko delimo na aktivne in pasivne (Vincent *et al.* 2009). Aktivne metode vključujejo ročno odstranjevanje posameznih škodljivcev, obrezovanje okuženih rastlinskih tkiv in odstranjevanje močno okuženih rastlin. Pasivne metode vključujejo uporabo naprave ali orodja za odstranjevanje škodljivcev z rastlin. Običajno so te naprave kot nekakšne ovire med rastlinami in škodljivci ter tako ščitijo rastline pred poškodbami. Druge pasivne metode vključujejo repelente in pasti. Medtem ko se pasti pogosto uporabljajo za spremljanje številčnosti in razširjenosti škodljivcev, so mnoge zasnovane kot tehnologija za privabljanje in uničevanje. Škodljivce privlačijo z barvo, svetlobo, obliko, teksturo ali vonjem oz. kombinacijo le-teh.

#### Mreže

Uporaba mreže je preprost način, da škodljivci ne pridejo v stik z rastlino. Velikost odprtin mreže je odvisna od velikosti škodljivca, ki mu želimo preprečiti dostop:

- 0,15 mm proti resarjem,
- 0,35 mm proti belim mušicam in listnim ušem,
- 0,8 mm proti žuželkam, ki jedo liste, in hroščem,
- 20 mm proti pticam.

Vendar ima uporaba mrež tudi negativno stran: zmanjšuje osvetljenost in dviguje vlažnost, zato poveča tveganje za glivične bolezni. To še posebej velja za mreže z velikostjo odprtin < 2 mm.

#### Pasti

Pasti se lahko uporabljajo za spremljanje ali odkrivanje škodljivcev, lov in prepoznavanje škodljivca ter zmanjšanje gostote škodljivcev. Na voljo so komercialne pasti za zatiranje ali odkrivanje različnih vrst moljev (feromonske pasti), belih mušic in resarjev (lepljive pasti), muh in os, polžev, stenic, pajkov, ščurkov in številni drugih škodljivcev. Barvne lepljive pasti privabljajo različne škodljivce. Postavljene naj bodo nekoliko nad rastlinami. Modre lepljive površine ujamejo odrasle resarje. Rumene lepljive površine se uporabljajo za bele mušice in škodljive metulje. Pri sočasni uporabi koristnih organizmov za zatiranje škodljivcev je najbolje, da se najprej posvetujemo s strokovnjakom.

### 8.2.7 Podpora naravno prisotnim organizmom

Nadzorovana okolja vključujejo tako tveganja kot priložnosti za celostno zatiranje škodljivcev. Pogoji v rastlinjakih spodbujajo pojav glivičnih bolezni s povečano temperaturo in vlago v zraku. Toda ti pogoji spodbujajo tudi delovanje številnih koristnih žuželke. Uporaba koristnih žuželk je dobro uveljavljena praksa pri gojenju rastlin v rastlinjakih. Škodljivci se lahko pojavijo celo ob najboljši

preventivi. Eno od načel celostnega in ekološkega kmetijstva je, da rastline uspevajo ob prisotnosti škodljivcev. To je mogoče le, če koristni makro- ali mikroorganizmi omogočajo nadzor nad škodljivci in boleznimi.

### Koristni mikroorganizmi

Pomembni koristni organizmi so:

- *Bacillus amyloliquefaciens* ali *Trichoderma harzianum* kot preventiva proti koreninskim boleznim (npr. *Pythium*) v zgodnjih fazah pridelka (npr. v fazi sadik),
- *Bacillus subtilis* proti rodu *Rhizoctonia*,
- *Gliocladium catenulatum* proti rodu *Fusarium, Phytophthora, Pythium, Rhizoctonia* na kumari, paradižniku, papriki in kulinaričnih zeliščih.

Izdelki so na voljo v spletnih trgovinah ali vrtnih centrih.

### Koristne žuželke in podporne rastline

Koristne žuželke oz. naravni sovražniki se običajno uporabljajo v ekološki in običajni pridelavi zelenjave v rastlinjakih. Zelo razširjene in komercialno dostopne vrste so:

- ose *Ichneumon* proti ušem, belim mušicam in podobno,
- plenilska hržica (*Aphidoletes aphidimyza*) proti ušem,
- predatorske pršice proti pajkovim pršicam,
- travniške stenice (*Macrolophus pygmaeus*) proti ščitkarju.

S tovrstnim zatiranjem škodljivcev se je mogoče izogniti uporabi pesticidov in odpornosti, ki jo povzročajo pesticidi, vendar pa je lahko uspešno zatiranje škodljivcev z uporabo koristnih žuželk zahtevno. Vsaka koristna žuželka ima svojevrstne potrebe. Njihov obstoj podpira privlačno cvetje t. i. podpornih rastlin, ki so posajene v bližini ali v samem rastlinjaku (Conte *et al.* 2000). Primeri takih rastlin so ajda (*Fagopyrum esculentum*), koruza (*Centaurea cyanus*) in koruzni plevel (*Agrostemma githago*).

### Izvlečki komposta

Ti so znani tudi kot »kompostni čaj« in vsebujejo veliko koristnih mikroorganizmov. Nastanejo z mešanjem in prezračevanjem komposta v vodi (običajno 24 ur), da se izločijo koristni mikroorganizmi. Kompostni čaj je treba nanesti takoj, neposredno na koreninsko območje ali na liste. Prvi nanos je mogoče izvesti takoj po setvi, drugega pa pred presajenjem. Recepte in načine mešanja najdemo na spletu (npr. www.soilfoodweb.com).

## 8.2.8 Če vse drugo odpove …

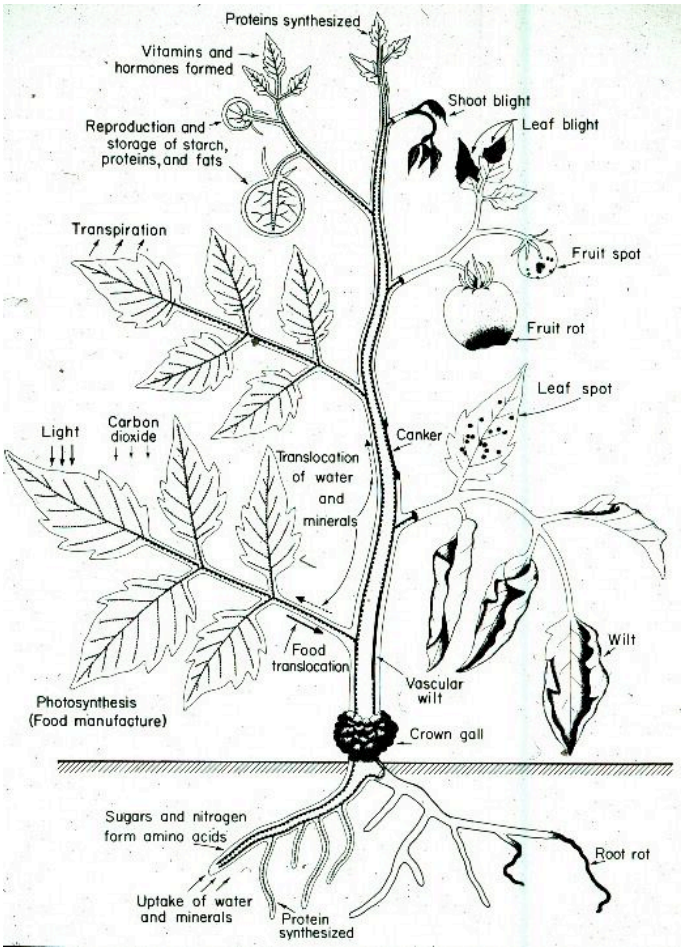
Včasih so posegi s kemičnimi proizvodi lahko upravičeni, vendar pa je v teh primerih treba upoštevati stroge predpise. Kadar koli je mogoče, je treba najprej uporabiti botanične pesticide biološkega izvora. Nekateri izvlečki iz mikroorganizmov so varni za ribe in se lahko uporabljajo tudi v akvaponiki. Eden izmed njih je strup bakterije *Bacillus thuringiensis*, ki se lahko uporablja proti gosenicam, listnim zavijačem ali drugim ličinkam metuljev. Na voljo je tudi gliva *Beauveria bassiana*, ki vstopi v žuželko in je učinkovita proti številnim škodljivcem, kot so termiti, resarji, bele mušice, listne uši in hrošči. Večina kemičnih sintetičnih fungicidov in insekticidov ter nekateri proizvodi, dovoljeni v ekološkem kmetijstvu, so strupeni in lahko škodujejo vodnim organizmom. Nanos je lahko upravičen le pri mladih rastlinah, preden jih presadimo v akvaponski sistem. Če je kemični nadzor zadnja

možnost, je treba natančno preučiti specifično strupenost za ribe. V prilogi 2 z naslovom »Proizvodnje hrane v majhnih akvaponskih sistemih« (Somerville *et al.* 2014) je izbor možnih insekticidov z navedbami njihove relativne strupenosti za ribe. Akvaponika je zapleten ekosistem, sestavljen iz različnih vrst bakterij, gliv in višjih organizmov z veliko možnostmi naravne odpornosti. Pomembno je ohraniti ekološko ravnovesje tega ekosistema z ustreznimi zaščitnimi ukrepi, kot je že bilo opisano. To bi moralo pomagati zmanjšati nujnost uporabe neposrednih metod za zatiranje škodljivcev.

## 8.3 Najpogostejši škodljivci in bolezni

### 8.3.1 Prepoznava škodljivcev in bolezni

Pomembna je pravilna prepoznava škodljivcev in bolezni. Ne glede na to, ali je škodljivec žuželka, glodavec, fitopatogena gliva ali drug organizem, je ob pravilni prepoznavi nadzor lažji in učinkovitejši. Napaka pri prepoznavi lahko vpliva na izbiro napačne metode nadzora, ki ima tako časovne kot finančne posledice. Prav tako lahko povzroči nepotrebna tveganja za ljudi, ribe ali okolje. Za prepoznavanje morebitne bolezni je treba upoštevati postopke, opisane na slikah 5 in 6. Včasih so simptomi bolezni podobni simptomom pomanjkanja rastlinskih hranil. V primeru dvoma se je treba posvetovati s strokovnjakom. Če to ni mogoče, simptome opišemo in fotografiramo in nato podobne opise simptomov bolezni in fotografije poiščimo na spletu.




Slika 5: Simptomi bolezni na rastlini

Slika 6: Postopek, ki ga je treba upoštevati pri ugotavljanju bolezni rastlin

## 8.3.2 Pogoste bolezni rastlin

### 8.3.2.1 Siva plesen (*Botrytis*)

To je najpogostejša glivična bolezen solate, jajčevcev, paradižnika in kumar (slika 7), ki se pojavi, kadar je raven vlage previsoka in pretok zraka slab. Priporočljivo je ohraniti optimalno raven vlage s pomočjo prezračevanja in uravnavanja temperature. Na splošno je 75-% relativna vlažnost dobra za večino pridelkov in ne spodbuja razvoja bolezni. Odstranjevanje spodnjih, porumenelih listov pomaga ohranjati nizko vlažnost v bližini baze in omogoča kroženje zraka. Priporoča se čisti rez listov oz. izrez na listnem peclju (kjer se list stika s steblom). Siva plesen lahko vpliva tudi na plodove, stebla in liste. Plodove se med nabiranjem odreže s škarjami za obrezovanje ali z ostrim nožem, s čimer sprožimo hitro celjenje ran. Po cvetenju se odstrani odmrle cvetove, ki niso obrodili plodov, saj siva plesen pogosto napade ta tkiva.

Slika 7: Simptomi okužbe s sivo plesnijo na solati (A), paradižniku (B), jajčevcih (C) in listih kumare (D)

### 8.3.2.2 Stebelna gniloba (*Sclerotinia*)

Ta gliva okuži steblo jajčevcev, solate (slika 8) in paradižnika. Obravnavamo jo kot *Botrytis*. Ustrezno čiščenje in prezračevanje rastlinjaka pomagata preprečevati to bolezen.

Slika 8: Simptomi stebelne gnilobe na solati

### 8.3.2.3 Praškasta plesen (red *Erysiphales*)

Bolezen praškaste plesni povzročajo različne vrste gliv iz reda *Erysiphales*. Gre za najpogostejšo bolezen na kumarah in solati (slika 9). Praškasta plesen je ena izmed bolezni rastlin, ki jo je lažje prepoznati, saj so njeni simptomi precej izraziti. Na okuženih rastlinah so majhne bele praškaste lise na zgornji površini listov in steblih. Najbolj so prizadeti spodnji listi, vendar se plesen hitro širi na

katerem koli nadzemnem delu rastline. Medtem ko bolezen napreduje, se lise razširijo na celotno listno površino, saj nastane veliko število aseksualnih spor, plesen pa se lahko širi navzgor in navzdol po rastlini. Ustrezno čiščenje in prezračevanje rastlinjaka pomagata preprečevati to bolezen. Najboljša preventiva je izbira odpornih sort.

Slika 9: Simptomi praškaste plesni na solati (levo) in listu kumare (desno)

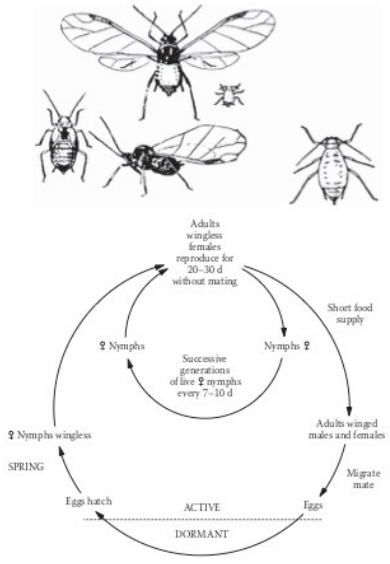
### 8.3.3 Pogosti rastlinski škodljivci

Večina škodljivcev, kot so listne uši, ličinke gosenic in moljev, volnate uši, hmeljev rdeči pajek, resarji in bele mušice, okuži vse pridelke. Vendar pa so nekateri škodljivci na posameznih posevkih trdovratnejši kot na drugih. Rumene lepljive pasti je potrebno namestiti nadzemno na žice ali vrvice približno 30 cm nad vrhom rastline, da se lahko škodljivci ujamejo.

#### 8.3.3.1 Listne uši

Ti škodljivci so skoraj vedno prisotni. Glede na vrsto so listne uši lahko zelene, rjave ali črne (slika 10). Obstajajo krilate in brezkrilne oblike. Značilnost okužbe na rastlinah je prisotnost »medu«, ki se izloča iz njihovih trebuhov, ko sesajo rastline, kar povzroča lepljivost listov in drugih delov rastlin. Pogosto tudi plesni (glive) sekundarno okužijo liste in na njih ustvarijo črni film.

Zgoraj – Slika 10: Zelene listne uši na listu

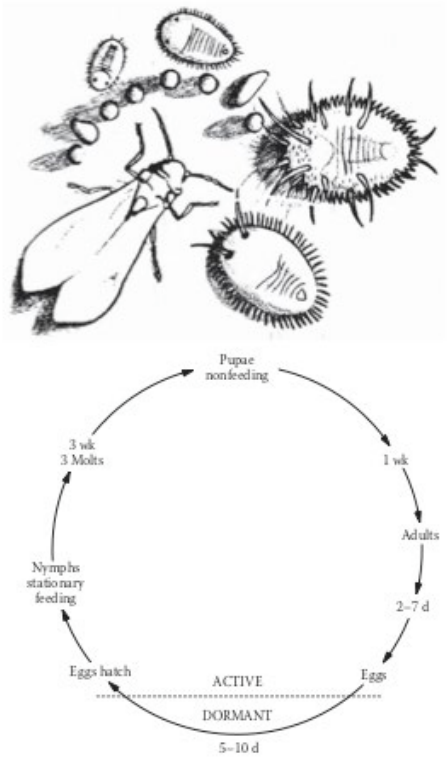



Desno – Slika 11: Življenjski krog listnih uši (J. R. Baker, Severna Karolina, Služba za razširitev kmetijstva)

### 8.3.3.2 Bele mušice (družina *Aleyrodidae*)

Bele mušice se navadno prehranjujejo na spodnji strani rastlinskih listov (slika 12). Opisanih je več kot 1550 vrst. To je eden najbolj nezaželenih škodljivcev na paradižniku. Te žuželke lahko prepoznamo po njihovih belih krilih in telesu. Najpogosteje jih najdemo na spodnji strani listov in hitro zletijo, če jih zmotimo. Za njihovo zatiranje so na voljo koristni žuželke in pesticidi.

Zgoraj – Slika 12: Bele mušice



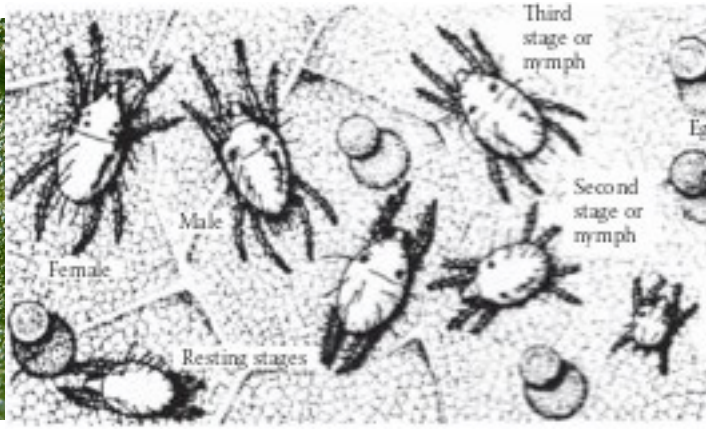

Desno – Slika 13: Življenjski krog belih mušic (J. R. Baker, Severna Karolina, Služba za razširitev kmetijstva)

### 8.3.3.3 Dvokapne pajkaste pršice ali hmeljev rdeči pajek (*Tetranychus urticae*)

Pršice so v sorodu s pajki in klopi (slika 14). Za razliko od žuželk, ki imajo le tri pare nog, imajo pršice štiri pare nog. Dvokapne pajkaste pršice imajo, kot že ime pove, dve temno obarvani piki na telesu. Ko sesajo liste, nastanejo majhne rumene lise, ki se sčasoma združijo, da listi dobijo bronast videz. Prav tako nastajajo pasovi na površini listov, ko se okužba povečuje. Če jih ne odpravimo, ko je število še obvladljivo, bodo povzročile popolno beljenje in odmiraje listov, saj bodo izsesale vso vsebino celic.

Druge pajkove pršice, ki škodujejo tudi rastlinam v rastlinjakih, so karminske pršice (*Tetranychus cinnabarinus*) in široke pršice (*Polyphagotarsonemus latus*). Te pa niso tako razširjene kot dvokapna pajkasta pršica in se razlikujejo po barvi. Karminska pršica je svetlordeča, široka pršica pa je prosojna in jo je mogoče videti le pod lupo. Široke pršice poškodujejo liste in plodove.

Slika 14: Dvokapna pajkova pršica z dvema pikama (odrasla oseba in jajčece)

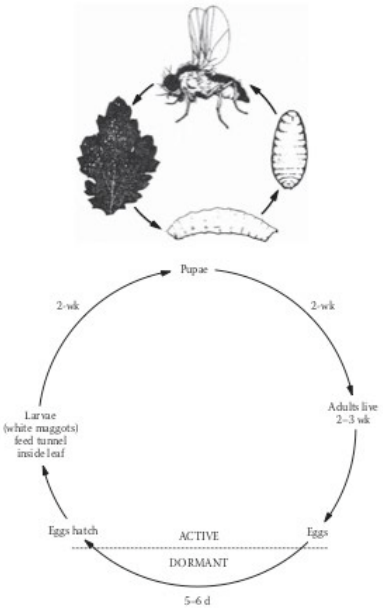



Slika 15: Življenjski krog dvokapnih pajkovih pršic (J. R. Baker, Severna Karolina, Služba za razširitev kmetijstva)

### 8.3.3.4 Žuželke, ki jedo liste (»listni rudarji«)

Listni rudar je ličinka žuželke, ki živi v listnem tkivu rastlin (slika 16). Velika večina žuželk, ki jedo liste, so molji (*Lepidoptera*), rastlinske ose (*Symphyta*, bližnji sorodniki os) in muhe (*Diptera*), čeprav tudi nekateri hrošči lahko jedo liste. Odrasli listni rudar odlaga jajčeca na listih, ki se kažejo kot bele otekline. Ko se ličinke izločijo, pojedo list med zgornjim in spodnjim listom povrhnjice, kar ustvarja »predore«. Ko se okuženost povečuje, se rovi strdijo, kar povzroči površinsko škodo, ki sčasoma povzroči odmiranje lista. Zrele ličinke se v 10 dneh spustijo na tla (površino substrata), kjer se zabubijo. Nato se krog začne znova. Okužbo lahko zmanjšamo z odstranitvijo okuženih listov in morebitnih padlih listov s tal. Če je substrat prekrit z belim polietilenom, da se prepreči vstop ličink, ko padejo z listov, to zmanjša razmnoževanje žuželk. To je še posebej koristno, če rastline rastejo v loncih ali rastnih gredah. Uporaba plastičnih plošč omeji okužbo, saj se prekine življenjski krog.

Zgoraj – Slika 16: Poškodba listov, ki jo povzročijo listni rudarji




Desno – Slika 17: Življenjski krog tipičnega listnega rudarja (J. R. Baker, Severna Karolina, Služba za razširitev kmetijstva)

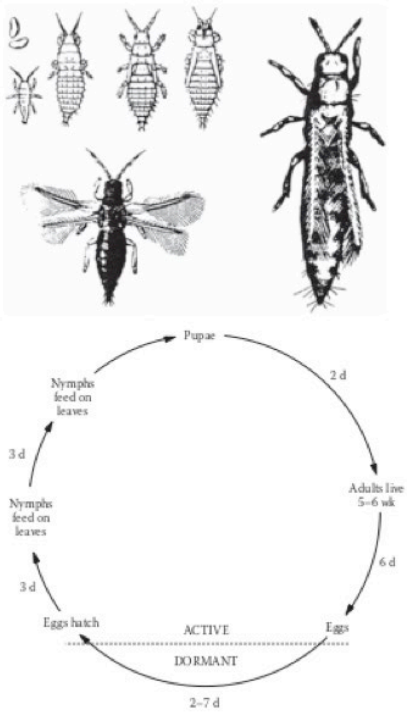
### 8.3.3.5 Resarji (red *Thysanoptera*)

Resarji so drobne žuželke (slika 18) z obrobljenimi krili in edinstvenimi asimetričnimi usti. Obstaja več kot 6000 vrst resarjev, ki sesajo rastline po vsem svetu. Te žuželke še posebej privlačijo cvetovi. Njihova posebnost je prisotnost pernatih kril. Imajo razpršene ustnike, ki strgajo listno površino in sesajo rastlinski sok, kar povzroča bele, srebrnkaste proge na listih. Tudi resarji tako kot bele mušice in listne uši prenašajo viruse. Resarje privlačijo modre lepljive pasti.

a)

b)

Slika 18: Poškodbe na baziliki zaradi resarjev (a) in resarjeva nimfa (b)




Slika 19: Življenjski cikel resarja
(J. R. Baker, Severna Karolina, Služba za razširitev kmetijstva)

## 8.4 Biološki nadzor škodljivcev

Izraz »biološki nadzor« in njegov sinonim »biomonitoring« se uporabljata na različnih področjih biologije, predvsem v entomologiji in patologiji rastlin. V entomologiji se uporabljata za opis živih plenilskih žuželk, entomopatogenih ogorčic ali mikrobnih patogenov, ki zatirajo populacije različnih žuželk. V patologiji rastlin pa se izraza uporabljata za opis antagonistov, ki zavirajo delovanje povzročiteljev bolezni, pa tudi za gostitelje specifičnih patogenov za zatiranje plevela. Na obeh področjih se organizem, ki zatira škodljivca ali patogeni organizem, imenuje biološko sredstvo za nadzor (angl. *Biological Control Agent* – BCA).

### 8.4.1 Naravni sovražniki škodljivcev

Paraziti, patogeni in plenilci se uporabljajo pri biološkem zatiranju žuželk in pršic. Večina zajedavcev in patogenov ter številni plenilci so visoko specializirani in napadajo točno določeno vrsto škodljivcev.

#### 8.4.1.1 Paraziti

Parazit je organizem, ki živi in se prehranjuje v gostitelju ali na njem. Zajedavci žuželk se lahko razvijejo v notranjosti ali zunaj telesa gostitelja. Parazit se pogosto le v nezreli fazi prehranjuje na gostitelju, vendar to počno tudi odrasle samice nekaterih parazitov (npr. ose, ki napadajo žuželke in bele mušice), ki na koncu uničijo svojega gostitelja. Čeprav uporabljamo izraz parazit, pa pravi paraziti (npr. bolhe in klopi) običajno ne uničijo svojih gostiteljev. Vrste, ki so koristne za biološki nadzor in ki uničijo svoje gostitelje (ter o katerih je tukaj govor), natančneje imenujemo parazitoidi. Večina parazitskih žuželk je bodisi muh (red *Diptera*) bodisi os (red *Hymenoptera*). Pomembno je opozoriti, da te majhne do srednje velike ose ljudi ne pičijo. Najpogostejše parazitske muhe so kosmate muhe goseničarke (*Tachinidae*). Odrasle pogosto spominjajo na hišne muhe. Njihove ličinke se prehranjujejo znotraj gostitelja.

#### 8.4.1.2 Patogeni

Naravni patogeni so mikroorganizmi, vključno z nekaterimi bakterijami, glivami, ogorčicami, protozoji in virusi, ki lahko okužijo in uničijo gostitelja. Populacije nekaterih listnih uši, gosenic, pršic in drugih nevretenčarjev se včasih izrazito zmanjšajo zaradi naravno prisotnih patogenov, običajno v pogojih, kot sta dolgotrajna visoka vlažnost ali gosta populacija škodljivcev. Nekateri koristni patogeni so na voljo v prodaji kot biološki ali mikrobni pesticidi. Sem sodijo *Bacillus thuringiensis*, entomopatogene ogorčice in granulozni virusi. Poleg tega se v nekaterih insekticidih uporabljajo nekateri stranski produkti mikroorganizmov, npr. avermektini in spinozini; vendar se ti izdelki ne uporabljajo za biološki nadzor.

#### 8.4.1.3 Plenilci

Plenilci se prehranjujejo z več različnimi žuželkami. Mnoge vrste dvoživk, ptic, sesalcev in plazilcev plenijo pretežno žuželke. Plenilski hrošči, muhe, mrežekrilci, pravi hrošči (red *Hemiptera*) in ose se prehranjujejo z različnimi škodljivci ali pršicami. Večina pajkov se v celoti prehranjuje z žuželkami. Plenilske pršice se hranijo predvsem s pajkovimi pršicami.

#### 8.4.1.4 Razlikovanje med škodljivci in naravnimi sovražniki

Pravilna prepoznava škodljivcev ter razlikovanje med škodljivci in naravnimi sovražniki sta ključnega pomena za učinkovit biološki nadzor. Previdno opazovanje pršic in žuželk na rastlinah, omogoči zaznavano njihove aktivnosti. Npr. nekateri lahko zamenjajo ličinke trepetavke za gosenice. Vendar se ličinke trepetavke prehranjujejo z listnimi uši in ne žvečijo rastline. Če na rastlinah opazimo pršice, jih opazujemo z ročno lupo. Plenilske pršice so bolj aktivne kot rastlinske vrste. V primerjavi s škodljivimi pršicami so plenilske pršice pogosto večje in se ne pojavljajo v velikih skupinah.

Tabela 3: Nekateri škodljivci in njihovi običajni naravni sovražniki.

| | Naravni sovražniki | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Škodljivci** | **Mreže-krilci** | **Hrošči** | **Parazitske muhe** | **Parazitske ose** | **Plenilske pršice** | **Druge skupine in primeri** |
| **Listne uši** | X | X | | X | | Entomopatogene glive, vojni hrošči, ličinke trepetavk |
| **Gosenice** | X | | X | X | | *Bacillus thuringiensis*, ptice, entomopatogene glive in virusi, plenilski hrošči in ose, *Trichogramma* spp. (npr. parazitske ose), pajki |
| **Velike bele mušice** | X | X | | X | | *Encarsia hispida, E. noyesi, Entedononecremnus krauteri*, *Idioporus affinis* (parazitske ose), trepetavke |
| **Mrežaste stenice** | X | X | | X | | Roparske stenice in hrošči, pajki |
| **Volnate uši** | X | X | | X | | Volnate uši, hrošči |
| **Psyllids** | X | X | | X | | Roparski hrošči |
| **Luske** | X | X | | X | X | *Aphytis, Coccophagus, Encarsia,* in *Metaphycus* spp., parazitske ose |
| **Polži in lazarji** | | | X | | | *Rumina decollata* (plenilski polž), plenilski hrošči, ptice, kače, krastače in drugi vretenčarji |
| **Pajkaste pršice** | X | X | | | X | *Feltiella* spp. (predatorska ličinka muhe), špičasti resarji, *Stethorus picipes* (uničevalec pajkove pršice, hrošči) |
| **Resarji** | X | | | X | X | Drobni roparski hrošči, predatorski resarji |
| **Plemenice, korenine ali tla** | | | | X | | *Steinernema carpocapsae, Heterorhabditis bacteriophora* (entomopatogene ogorčice) |
| **Bele mušice** | X | X | | X | | Hrošči z velikimi očmi in drobni roparski hrošči, *Cales, Encarsia,* in *Eretmocerus* spp., parazitske ose, pajki |

### 8.4.2 Primeri bioloških sredstev

Tabela 4 prikazuje izbrana sredstva za biološko zatiranje (BCA), ki so na trgu na voljo proti rastlinskim patogenom. Različne države imajo različne predpise o tem, kdo lahko uporablja te izdelke. Za nakup teh izdelkov bo morda potreben uspešno opravljen izpit. Poleg tega morda vsi ti izdelki niso na voljo v vseh državah.

Tabela 4: Izbrana biološka sredstva za nadzor (BCA)

| Bolezen | BCA | Pridelek |
|---|---|---|
| Praškasta plesen | *Ampelomyces quisqualis* | Jagoda, paradižnik, paprika, kumarica |
| Praškasta plesen, siva plesen in bela plesen (*Sclerotinia*) | *Bacillus amyloliquefaciens* ssp., Plantarum strain D747, *Bacillus subtilis* obremenitev QST 713 | Jagoda, paradižnik, kumara, paprika, bučke, vodna kreša, zelena solata, špinača, aromatična zelišča |
| Bela plesen (*Sclerotinia*) | *Coniothyrium minitans* | Vsak pridelek |
| Siva plesen, maščobna plesen, oveneti (Fusarium), izsuševanje | *Gliocladium catenulatum* | Jagoda, paradižnik, kumarice, paprika, vodna kreša, zelena solata, špinača, aromatična zelišča |
| Zemeljski kriptogam | *Streptomyces* K61 | Vsak pridelek |
| Izsuševanje | *Trichoderma asperellum, Trichoderma harzianum* | Vsak pridelek |

### 8.4.2.1 Navadni zeleni mrežekrilci (*Chrysoperla carnea*)

Ti mrežekrilci so poimenovani po občutljivem odtenku kril odraslih ter po apetitu svojih ličink. *Chrysoperla carnea* je aktivni plenilec številnih mehkih členonožcev in njihovih jajčec. Različne vrste iz rodu *Chrysoperla* se množično gojijo v več državah za uporabo na zunanjih in zaščitenih posevkih. Ličinka tretjega stadija je izredno ješča in lahko zaužije listno uš ali bubo bele mušice v manj kot minuti. Ličinke so kanibali, ki lahko jedo neobdelana jajca, druge ličinke in celo odrasle, če je hrane malo. V prisotnosti mešanega plena zeleni mrežekrilci najprej napadejo listne uši, nato pa resarje in pajkove pršice. Znano je tudi, da se prehranjujejo z mladimi gosenicami in jajčeci moljev, volnatimi ušmi, žuželkami, ličinkami belih mušic in bubami. Rastline z gostim listjem so najprimernejše za te plenilce, zlasti kadar je plen enakomerno razširjen. Ličinke mrežekrilcev so uporabne na ekoloških posevkih, kjer zaradi omejevanja pesticidov ni potreben splošnejši plenilec za zatiranje številnih vrst škodljivcev. *C. carnea* bolje prenašajo nizko vlažnost kot druge vrste mrežekrilcev.

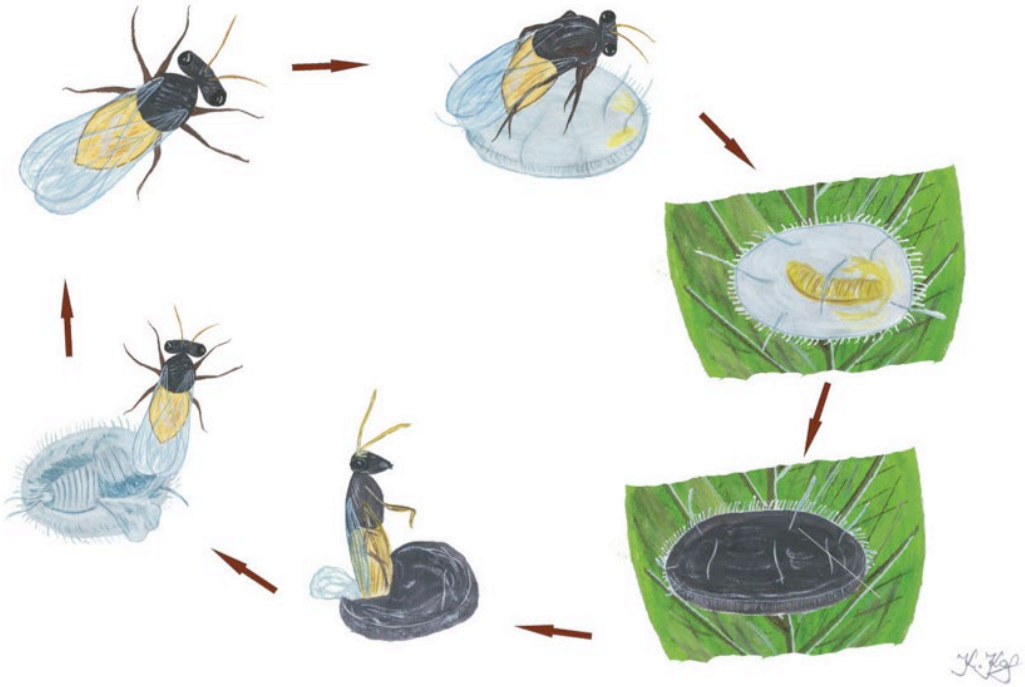
Slika 20: Plenilska ličinka *Chrysoperla carnea* (levo) in odrasel organizem (desno)

Slika 21: Življenjski krog mrežekrilca (K. Kos, z dovoljenjem avtorskih pravic)

### 8.4.2.2 Parazitoid bele mušice *Encarsia formosa*

Vrsto *Encarsia formosa* so odkrili v Veliki Britaniji in jo prvič uporabili leta 1926. V dveh letih je bilo 250.000 parazitoidov vzrejenih za uporabo v drevesnicah po Veliki Britaniji, Franciji in pozneje v Kanadi. Ta vrsta je danes na voljo v številnih državah. Odrasle samice so dolge 0,6 mm, imajo črno glavo in prsnico, rumen trebuh in prosojna krila. Najočitnejši znak aktivnosti *Encarsia spp*. je prisotnost črnih lusk na listih. To so bube parazitoida, ki nastanejo v notranjosti bube bele mušice. Odrasle ose, ki se prehranjujejo z medenim izločkom, privlačijo hlapi spojin, ki se izločijo iz medu belih mušic. Običajno odložijo eno jajčece, ki prehaja skozi tri stopnje ličink. V tem času luske bele mušice ostanejo bele in se normalno razvijajo. Potem ko se parazitoid lupi, se luske spremenijo v črno barvo. Bube ostanejo pritrjene na listu, odrasel organizem pa se približno 10 dni pozneje izvije iz bube, ki se skozi bubo prebije s posebnim »zobom«. *E. formosa* se uvaja v fazi črnih lusk, ki so prilepljene na kartice, s katerih se odrasli organizmi razvijejo nekaj dni kasneje.

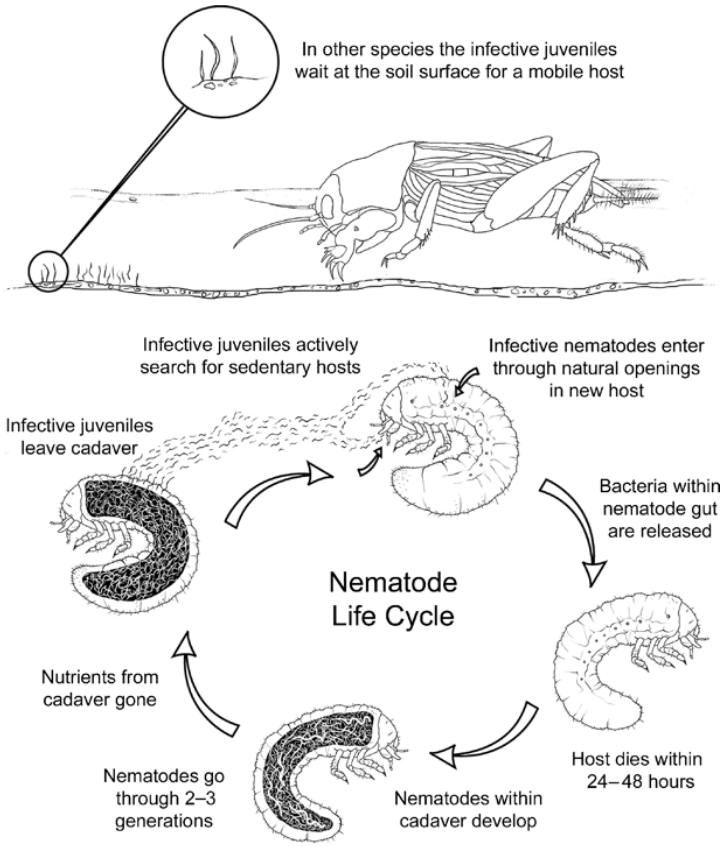
Slika 22: *Encarsia formosa*, ki polaga jajčeca na ščitkarja (levo), in prisotnost črnih lusk (desno)



Slika 23: Življenjski krog *Encarsia formosa*, usklajen z življenjskim krogom bele mušice (K. Kos, z dovoljenjem avtorskih pravic)

### 8.4.2.3 Entomopatogene ogorčice

Entomopatogene ogorčice imenujemo tudi okrogle gliste. Ti drobni organizmi so sorazmerno preprosti: dvostransko simetrični, podolgovati in koničasti na obeh koncih. Tu opisane vrste so fakultativni parazitoidi (to pomeni, da lahko živijo kot saprofiti in parazitoidi). Čeprav jih najdemo v naravi, jih je mogoče masovno gojiti z umetnimi dietami s postopkom fermentacije in jih komercialno uporabljati kot biološka sredstva za nadzor škodljivcev. Za razliko od rastlinskih patogenih ogorčic imajo te entomopatogene vrste v svojih prebavnih poteh simbiotske bakterije. Te proizvajajo toksin, ki je smrtonosno sredstvo. Ko ogorčica vstopi v gostitelja in se hrani s svojo hemolimfo (tekočino, ki je analogna krvi v vretenčarjih in kroži po notranjosti členonožca), izloči majhno kroglico s patogenimi bakterijami, ki pod pravimi temperaturnimi pogoj gostitelja uničijo v samo 2–3 dneh. Nematode se nato razmnožujejo v hemolimfi gostitelja skupaj z bakterijami. Odmrli organizem postane infektivna ličinka tretje stopnje. Te so zelo odporne na neugodne okoljske razmere in lahko preživijo več mesecev.




Slika 24: Življenjski krog ogorčice (risba A. E. Burke)

### 8.4.2.4 Plenilske pršice

To so majhne, hitro premikajoče se pršice, ki so lahko specifični plenilci za npr. *Phytoseiulus persimilis*, ali bolj splošni v svoji prehrani, kot so številne vrste *Amblyseius*. Vsa odložena jajčeca blizu plena preidejo skozi dve levitvi in se nato razvijejo kot osemkraki odrasli organizmi. Plen zaznajo preko kairomonov, ki se sproščajo z iztrebki plena, ob poškodbo rastlin ali v primeru pajkove pršice iz njihove mreže. Kairomoni v pršici vzbudijo odziv, ki jih zadrži v bližini svojega plena. Večina plenilskih pršic lahko preživi s sorazmerno majhno gostoto plena in se lahko hitro razmnoži, da zagotovi ustrezno raven nadzora, preden pride do večjega izbruha.

Plenilske pršice najdemo po vsem svetu, nekaj pa jih je v komercialni proizvodnji, zlasti za zaščitene rastline. Vendar se njihova uporaba na rastlinah na prostem povečuje, zlasti na užitnih pridelkih, kjer predvideni intervali uporabe pesticidov omejujejo ali celo preprečujejo kemično posredovanje. Mnoge od vrst *Amblyseius* je mogoče množično gojiti na dieti z otrobi, njihovo hrano je mogoče pakirati skupaj s pršicami v papirnatih vrečkah za lažjo distribucijo.

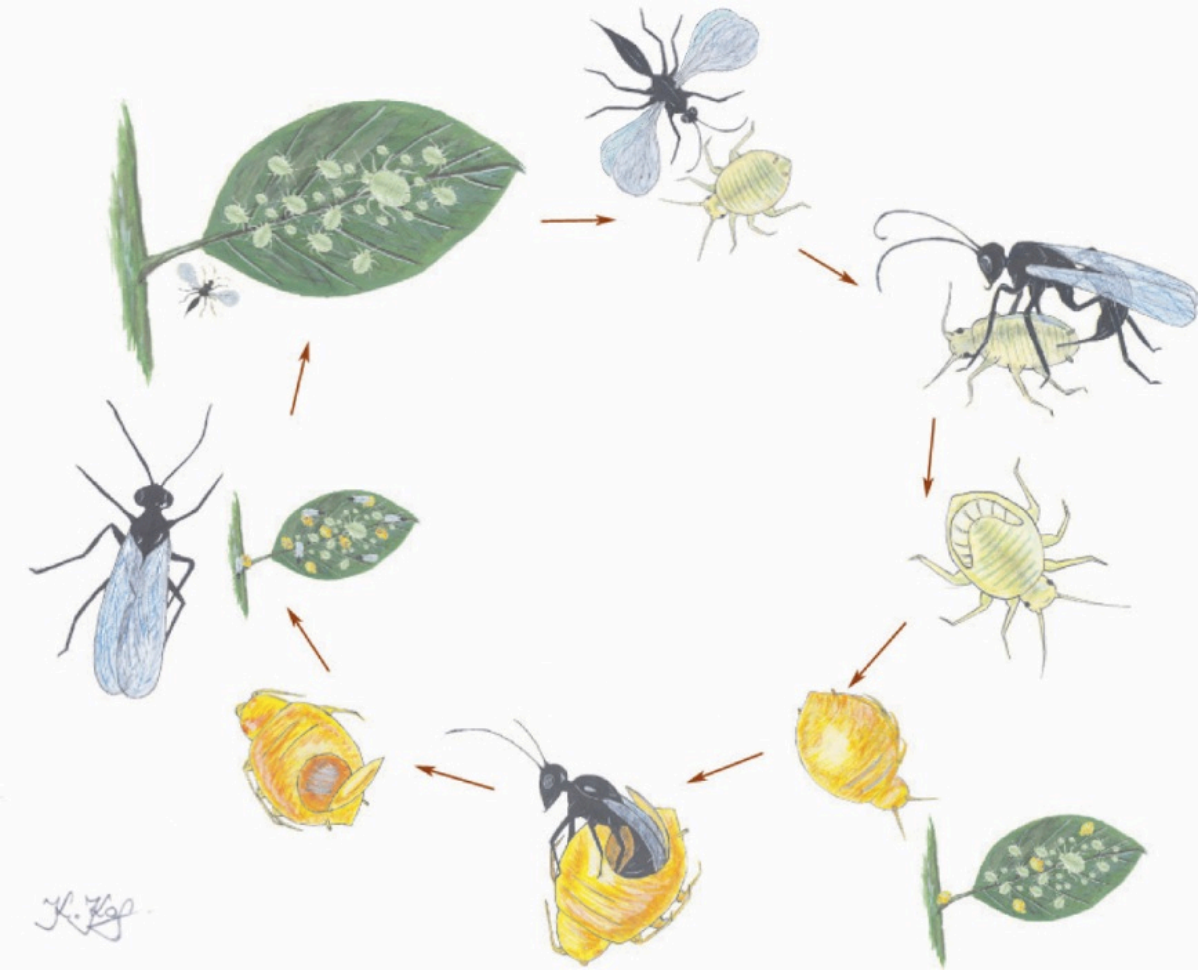
Slika 25: Odrasla plenilska pršica, ki se hrani s fitofagno pršico (levo), in vrečka s sistemom z nadzorovanim sproščanjem plenilske pršice (desno)

Slika 26: Življenjski krog plenilskih pršic družine *Phytoseiidae* (K. Kos, z dovoljenjem avtorskih pravic)

### 8.4.2.5 Parazitoidna osa (*Aphidius colemani*)

*Aphidius colemani* je majhna črna osa, dolga 4–5 mm, ki vtakne eno jajce v gostiteljsko listno uš. Vse druge življenjske stopnje se odvijejo znotraj uši. Videz zlatorjave mumije kaže na prisotnost teh parazitoidov na pridelku. Na splošno ta parazitoid napada manjše vrste uši. Ta vrsta je na voljo v mnogih državah. *Aphidius spp*. lahko zagotovijo razumno raven nadzora, če jih uvedemo zgodaj, ko je število škodljivcev majhno. Če pa se v kolonijah pojavijo listne uši, bo *A. colemani* potrebovala nekaj časa, da lahko vpliva na populacijo škodljivcev, zato je treba razmisliti o dodatnih plenilcih ali selektivnem pesticidu. Stadij mumije je odporen na večino kratkotrajnih pesticidov, vendar imajo nekateri, npr. sintetični piretroidi dolgo rezidualno aktivnost in lahko ubijejo odrasel organizem, ko se ta razvije iz predhodne stopnje. Podporne rastline, okužene s posebno listno ušjo, so lahko v primerih, kjer je potrebna stalna oskrba s parazitoidi, zelo koristne.

Slika 27: Parazitoidna odrasla osa (*Aphidius colemani*), ki odlaga jajčeca v listno uš (levo); listne uši, okužene z *Aphidius colemani* – stadij mumije (desno)



Slika 28: Parazitoidna osa (*Aphelinus mali*) za biološki nadzor listnih uši (*Eriosoma lanigerum*) (K. Kos, z dovoljenjem avtorskih pravic)

## 8.5 Literatura


Bittsánszky, A., Gyulai, G., Junge, R., Schmautz, Z. & Komives, T. 2015. Plant protection in ecocycle-based agricultural systems: Aquaponics as an example. In *Proceedings of the International Plant Protection Congress (IPPC)*, Berlin, Germany Vol. 2427.

Conte, L., Chiarini, F., Zancanaro, A., & Monta, L.D. 2000. Biological control of *Aphis gossypii* Glover (Rhynchota, Aphididae) in organic greenhouse cucumbers using 'banker plants' as open rearing units of beneficials: two years of trials. In *IFOAM 2000: The World Grows Organic. Proceedings 13th International IFOAM Scientific Conference*, Basel, Switzerland. vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zurich.

FAO 2018. *Pest and Pesticide Management*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.

FiBL 2019. *Betriebsmittelliste 2019 für den biologischen Landbau in der Schweiz*.

Gravel, V., Dorais, M., Dey, D. & Vandenberg, G. 2015. Fish effluents promote root growth and suppress fungal diseases in tomato transplants. *Canadian Journal of Plant Science* 95: 427-436.

Kleinhenz, M.D., Waiganjo, M., Erbaugh M.J. & Miller, S.A. 2011. *Tomato grafting guide. Preparing Grafted Tomato Plants using the Cleft Graft Method.*

Raviv, M. & Lieth, J.H. 2007. *Soilless Culture: Theory and Practice*. Elsevier.

Resh, H.M. 2013. *Hydroponic Food Production: A Definitive Guidebook for the Advanced Home Gardener and the Commercial Hydroponic Grower* (7th edition). CRC Press, Boca Raton.

Schmautz, Z., Graber, A., Jaenicke, S., Goesmann, A., Junge, R. & Smits, T.H. 2017. Microbial diversity in different compartments of an aquaponics system. *Archives of Microbiology* 199 (4): 613-620.

Somerville et al. 2014. Appendix 2 – Plant pests and disease control In Somerville, C., Cohen, M., Pantanella, E., Stankus, A. & Lovatelli, A. *Small-scale Aquaponic Food Production: Integrated Fish and Plant Farming*, pp. 183-186. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper No. 589. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome

Tang, S., Xiao, Y., Chen, L. & Cheke, R.A. 2005. Integrated pest management models and their dynamical behaviour. *Bulletin of Mathematical Biology* 67: 115-135.

The European Parliament and the Council of the European Union 2009. Directive 2009/128/EC of the European Parliament and of the Council of 21 October 2009 establishing a framework for Community action to achieve the sustainable use of pesticides. *Official Journal of the European Union* L 309/71.

Vermeulen, T. & Kamstra, A. 2012. The need for systems design for robust aquaponic systems in the urban environment. In *International Symposium on Soilless Cultivation* 1004: 71-77.

Vincent, C., Weintraub, P. & Hallman, G. 2009. Physical control of insect pests. In V.H. Resh & R.T. Cardé (eds.) *Encyclopedia of Insects* (2nd edition), pp. 794-798. Academic Press, San Diego.

**Franja Prosenc, Tjaša Griessler Bulc**

# 9. MONITORING PARAMETROV

## 9.1 Uvod v monitoring

### 9.1.1 Znanstveni parametri

**Znanstveni parameter** je določljiva ali merljiva značilnost ali vrednost, izbrana iz nabora podatkov. **Spremenljivka** je kateri koli dejavnik, lastnost ali stanje, ki lahko obstaja v različnih količinah ali vrstah. V eksperimentalni znanosti običajno obstajajo tri vrste spremenljivk: neodvisne, odvisne in konstante. **Neodvisna spremenljivka** je tista, ki jo spremenimo, da bi izmerili ali opazili odziv ali učinek. **Odvisna spremenljivka** je izmerjeni odziv na spremembe v neodvisni spremenljivki. Drugi parametri, ki jih v poskusu ne spreminjamo, so **konstante**.

Te spremenljivke lahko ponazorimo z namišljenim poskusom v akvaponskem sistemu. Zanima nas, kako skupna masa rib vpliva na proizvodnjo amonijaka v bazenu za ribe, povezanim s hidroponsko enoto. Koncentracijo amonijaka v g/L bomo izmerili tako v bazenu za ribe kot tudi v hidroponski enoti. Količina in pogostost krmljenja bosta ostali nespremenjeni, medtem ko se bo skupna masa rib spreminjala glede na povečanje števila rib. V tem namišljenem poskusu je skupna masa rib neodvisna spremenljivka (to je tisto, kar spreminjamo), koncentracija amonijaka pa je odvisna spremenljivka (to nas zanima – to je tisto, kar merimo kot odziv na spreminjanje mase rib). Parametri, kot so količina krme, hitrost hranjenja, časovni intervali med hranjenjem, časovni intervali med spreminjanjem skupne mase rib, temperatura vode v bazenu za ribe, temperatura vode v hidroponski enoti, površina biofiltra, število rastlin v hidroponski enoti itd., bodo nespremenjeni, da bomo lahko izmerili le učinek spreminjanja skupne mase rib na proizvodnjo amonijaka. Zato so to konstante v poskusu.

Pomembno je opozoriti, da se znanstveni poskusi (ali meritve parametrov pri monitoringu) izvajajo v ponovitvah, običajno v treh, da lahko empirične podatke ali opažene rezultate validiramo. Običajno so dovolj tri ponovitve, da izključimo morebitna odstopanja (če se drugi dve meritvi ujemata). Nato se izračuna povprečje (v statistiki t. i. aritmetična sredina) takih meritev, da se izboljša natančnost rezultata. Da dobimo podatek o variabilnosti meritev, je treba izračunati tudi standardni odklon treh ponovitev. Zaželen je nizek standardni odklon. V rezultate moramo vključiti tudi enote. Spodaj sta prikazani enačbi za izračun aritmetične sredine in standardnega odklona.

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \cdots + x_n}{n}$$

$\overline{x}$ = aritmetična sredina

$x_1, x_2, x_3, x_n$ = posamezne vrednosti v nizu podatkov

$n$ = število vnosov v niz podatkov (število vrednosti x)

$$SD = \sqrt{\frac{\sum(x - \overline{x})^2}{n - 1}}$$

$SD$ = standardna deviacija
$\Sigma$ = vsota
$x$ = posamezna vrednost v nizu podatkov
$\overline{x}$ = aritmetična sredina
$n$ = število vnosov v niz podatkov (število vrednosti x)

### 9.1.2 Zakaj izvajati monitoring?

Potreba po monitoringu v akvaponiki izhaja iz dveh stališč: **zakonodaje** in **upravljanja**. Ker zajema več področij, akvaponika spada v več različnih kategorij zakonodaje na ravni EU. Zakonodaji, ki veljata za posamezna področja akvaponike, sta Skupna ribiška politika (CFP) in Skupna kmetijska politika (CAP). Glede na operativne značilnosti akvaponskega sistema se lahko uporabljajo tudi politike o varnosti hrane, zdravstvenem varstvu in dobrem počutju živali, varstvu rastlin in okoljska zakonodaja. Zakonodaja in predpisi, ki jih je treba upoštevati v pridelavi v akvaponiki, vključujejo tudi naslednje, vendar niso omejeni nanje:

- Krovna vodna direktiva (2000/60/EC) (KVD): ta med drugim določa pravila za monitoring, vzorčenje in analizo izpustov odpadnih voda v vodotoke. Od držav članic zahteva tudi, da v svoji državi vzpostavijo sisteme monitoringa, ki pogosto vključujejo inšpekcijske preglede iztokov.
- Nitratna Direktiva (91/676/EEC) določa mejne vrednosti parametrov v iztokih odpadnih vod.
- Predpisi o varnosti hrane (podrobneje opisani v 10. poglavju).
- Predpisi o zdravstvenem varstvu živali in rib, kot je Direktiva 91/496/EEC, ki določa načela, ki urejajo organizacijo veterinarskih pregledov živali, ki vstopajo v EU iz tretjih držav.

V večini držav bo akvaponskim kmetom na voljo pomoč pri upoštevanju zakonodaje, ki jim jo bodo zagotovile vladne agencije, zato morajo pri pristojnih organih poiskati izčrpne informacije o svojem specifičnem položaju (Joly 2018).

Redni monitoring parametrov je nepogrešljiv del upravljanja, delovanja in vzdrževanja akvaponskega sistema. Monitoring kakovosti vode ter zdravja rib in rastlin bo pokazal, kako dobro sistem deluje in ali je rentabilen. Ustrezno vodenje meritvenih evidenc lahko močno pripomore k opazovanju gibanj in odkrivanju težav, zato je pomembno zabeležiti vse odčitke. Parametri, kot so amonijak, nitrit, raztopljeni kisik in pH, lahko pokažejo, ali sistem deluje slabo. Prepoznavanje spornega parametra (tj. zunaj želenega obsega) pomaga upravljavcu hitro odpraviti težavo in normalizirati delovanje akvaponskega sistema, kar bo povečalo donos rib in rastlin.

### 9.1.3 Različni pristopi k monitoringu

Monitoring kakovosti vode v akvaponskem sistemu lahko izvajamo z zelo preprostimi in poceni pripomočki, lahko pa tudi z zahtevnejšimi, ki zahtevajo drago analitsko opremo. Najenostavnejša in najcenejša je uporaba testnih trakov, ki se jih potopi v vodo in nato primerja nastalo barvo z barvno lestvico, ki je priložena kompletu. Ti kompleti so pogosto poceni in preprosti za uporabo, čeprav je treba zaloge nenehno dopolnjevati saj gre za potrošni material. Komplet takšnih testnih trakov lahko

stane od 2 do 20 EUR in vsebuje več (> 50) testnih trakov. Ti se običajno uporabljajo le za omejen obseg določenega parametra, npr. nekateri testni trakovi za pH delujejo le v območju od 5 do 8. Če je pH v akvaponskem sistemu zunaj tega območja (pod 5 ali nad 8), lahko testni trakovi dajejo napačne rezultate.

Naslednja stopnja monitoringa po zahtevnosti in ceni so testi s kemičnimi reagenti in barvno lestvico. Vzeti vzorec damo v majhno epruveto in v skladu z navodili dodamo kapljice reagentov. V epruveti poteče reakcija in barva raztopine se spremeni. Le-to nato primerjamo z barvno lestvico, ki je priložena kompletu. Takšni kompleti lahko za en parameter stanejo od približno 9 EUR do nekaj 100 EUR za več parametrov. Natančnejša in naprednejša različica teh testov pa zajema merjenje spremembe barve s spektrofotometrom.

Spektrometrija je kvantitativna metoda analize, ki izkorišča absorbcijo svetlobe. Običajno vzorec vode centrifugiramo, da odstranimo suspendirane trdne snovi in dodamo reagent, značilen za posamezen test. Ta se nato namesti v spektrofotometer. Odčitki, ki jih daje spektrofotometer, se lahko nato povežejo z znanimi umeritvenimi krivuljami za določen kemijski parameter, da izračunamo koncentracijo. Nekateri proizvajalci ponujajo tudi komplete za hitrejšo analizo, ne da bi morali uporabiti umeritvene krivulje, ki so na voljo za širok razpon parametrov kakovosti vode.

Najnaprednejši in najdražji monitoring vključuje uporabo sond in elektronskih števcev. Te obstajajo v različicah z enim parametrom ali v različici z več sondami z enim merilnim instrumentom. Sonde pri merjenju parametrov povežemo z digitalnim elektronskim števcem in jih potopimo v vodo. Za kontinuirno merjenje parametrov obstajajo merilni instrumenti, ki se jih namesti v bazen za ribe, tako da je sonda v stalnem stiku z vodo. Stanejo od približno 100 EUR do nekaj več 100 evrov, so najnatančnejši instrumenti za spremljanje parametrov in imajo največje merilno območje (Klinger-Bowen *et al.* 2011).

Izbrani pristop k monitoringu je običajno povezan z velikostjo akvaponskega sistema oz. produktivnostjo. Profesionalni sistemi običajno uporabljajo online meritve za raztopljeni kisik, nivo vode in oskrbo z električno energijo. Po drugi strani se hobi sistemi pogosto opirajo na najpreprostejše in najcenejše pristope, kot so testni trakovi ali celo samo vizualni nadzor motnosti vode, oksigenacije v biofiltru, zdravje rastlin in rib.

### 9.1.4 Razvrstitev parametrov za monitoring

Parametri, ki jih je treba spremljati v akvaponskem sistemu, so kakovost vode, zdravje rib in zdravje rastlin. Razvrstimo jih v naslednje kategorije: kemijski, fizikalni in biološki. Kemijski parametri so povezani s kakovostjo vode in vključujejo pH, raztopljeni kisik (DO), amonijak, nitrit, nitrat, vsebnost fosforja in trdoto vode. Fizikalni parametri vključujejo temperaturo vode in zraka, relativno vlažnost zraka in jakost UV-svetlobe. Biološki parametri omogočajo neposreden vpogled v delovanje sistema in vključujejo vse od mase in zdravja rib, mase in zdravja rastlin, pomanjkanja hranil v rastlinah in okužbo z algami do drugih mikrobioloških parametrov. Vsak organizem v akvaponski enoti (ribe, rastline in bakterije v biofiltru) ima za vsak fizikalno-kemijski parameter določeno območje tolerance (tabela 1). Razpon toleranc je za vse tri organizme sorazmerno enak, vendar je potreben kompromis, zato nekateri organizmi morda ne bodo delovali optimalno (Somerville *et al.* 2014a).

Tabela 1: Optimalni razponi fizikalno-kemijskih parametrov za ribe (toplovodne in hladnovodne), rastline in nitrifikacijske bakterije

| Tip organizma | Temperatura (°C) | pH | Amonijak (mg/L) | Nitrit (mg/L) | Nitrat (mg/L) | DO (mg/L) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Toplovodne ribe | 22–32 | 6–8,5 | < 3 | < 1 | < 300 | 4–6 |
| Hladnovodne ribe | 10–18 | 6–8,5 | < 1 | < 0,2 | < 300 | 6–8 |
| Rastline | 16–30 | 5,5–6,5 | < 30 | < 1 | - | > 3 |
| Bakterije | 14–34 | 6–8,5 | < 3 | < 1 | - | 4–8 |

Cilj je ohraniti zdrav ekosistem s fizikalno-kemijskimi in drugimi parametri, ki izpolnjujejo zahteve za gojenje rib, zelenjave in bakterij hkrati. Za ohranjanje pravilnega delovanja sistema je v nekaterih primerih treba parametre kakovosti vode prilagajati optimalnim območjem.

### 9.1.5 Pogostost monitoringa

Pogostost monitoringa je od odvisna od parametra, ki ga merimo. Praviloma je treba na novo zagnane sisteme (ob začetnem skladiščenju rastlin in živali) testirati dnevno, da se po potrebi parametre hitro prilagodi, če so ti izven optimalnega območja. Npr., če so vrednosti amonijaka visoke, lahko zmanjšamo hranjenje rib, pogosteje prezračujemo ali pa razredčimo vodo v sistemu. Ko sistem postane uravnotežen (po najmanj 4 tednih brez večjih nihanj parametrov), je izvajanje tedenskega monitoringa običajno dovolj za ohranitev dobre kakovosti vode. Če sumimo, da je kaj narobe (sprememba videza ali obnašanja rib, kazalniki pomanjkanja hranil na rastlinah), je treba nadaljevati s pogostejšim nadziranjem kakovosti vode. Vsakodnevna skrb za zdravje rib in rastlin je zato ključnega pomena za zgodnje odkrivanje morebitnih težav. Prav tako je zelo pomembno voditi dobro evidenco parametrov monitoringa, npr. videz in obnašanje rib (normalno/nenavadno), videz rastlin (normalen/nezdrav videz) in kemijskih parametrov kakovosti vode (pH, DO, amonijak, nitriti, nitrati). Tako je možno lažje ugotoviti vzrok morebitne težave, in če se težava ponovno pojavi, hitro uvesti ukrep, ki je težave odpravil že v preteklosti (Sallenave 2016; Somerville *et al.* 2014a). Primer evidenčnega lista za monitoring je prikazan na Sliki 1. VM v tabeli pomeni »vzorčno mesto«.

| Podrobnosti monitoringa | | FIZIKALNI PARAMETRI | | | | | | | | | | | | KEMIJSKI PARAMETRI | | | | | | | | | | | | BIOLOŠKI PARAMETRI | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Datum | Čas vzorčenja (ure:min) | pH | | | Temperatura vode [°C] | | | Električna prevodnost [µS/cm] | | | Raztopljen kisik [mg/L] | | | Amonijak [mg/L] | | | Nitrat [mg/L] | | | Nitrit [mg/L] | | | Fosfat [mg/L] | | | Masa rib [g] | Videz in obnašanje rib | Izgled rastlin |
| | | VM1 | VM2 | VM3 | VM1 | VM2 | VM3 | VM1 | VM2 | VM3 | VM1 | VM2 | VM3 | VM1 | VM2 | VM3 | VM1 | VM2 | VM3 | VM1 | VM2 | VM3 | VM1 | VM2 | VM3 | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Slika 1: Primer evidenčnega lista za vpisovanje podatkov

## 9.2 Pomembni parametri v akvaponiki

Poleg monitoringa splošnih fizikalno-kemijskih parametrov, ki so pomembni za vzdrževanje kakovosti vode v akvaponskih sistemih, in bioloških parametrov, ki kažejo na delovanje sistema in razkrivajo morebitne težave s kakovostjo vode, je treba izvajati tudi reden monitoring delovanja tehnologije (filtri, vodne in zračne črpalke itd.).

### 9.2.1 Tehnologija

#### Odstranjevanje trdnih snovi

POSTOPEK DELOVANJA: V akvaponiki je pomembno iz sistema odstranjevati velike delce in zmanjšati zadrževalni čas le-teh. Ti delci vključujejo nezaužito hrano, ribje izločke, rastlinske delce in druge vire biološkega materiala. Ti lahko negativno vplivajo na kemijske parametre, kot sta pH in DO. Monitoring mehanske filtracije (rešetke in pregrade) je prvi pomemben korak pri učinkovitem odstranjevanju trdnih delcev. Vizualni pregled rešetk in filtrov je pogosto najboljša metoda preverjanja, ali postopek odstranjevanja velikih delcev poteka ustrezno. Pomembno je hitro odstraniti delce; tako se prepreči razpad na manjše koščke, ki se lahko dalj časa zadržijo v sistemu, zaradi večje obremenitve s hranili pa se lahko poveča potrebo po kisiku (Thorarinsdottir *et al.* 2015). Rešetke in filtre je treba zato pogosto preverjati in čistiti.

MONITORING: Uporaben kazalnik za odstranjevanje trdnih snovi je bistrost oz. turbidnost vode. Ta je sicer lahko subjektiven, odvisno od uporabljene metode za določanje vode. Turbidnost se določa glede na to, kako dobro svetloba prehaja medij oz. vodo. Glavni vzrok za turbidnost so pogosto suspendirane trdne snovi, definirane kot celokupna suspendirana snov (angl. *total suspended solids* – TSS). Te lahko natančno izmerimo tako, da stehtamo njihovo suho težo. Najprej iz sistema vzamemo določeno količino vode. Ta mora biti določena glede na motnost vode, pogosto pa bo zadostovala količina 1 L. Za vodo z večjo turbidnostjo lahko količino odvzetega vzorca zmanjšamo ali povečamo, če je voda bistra. Vzorec vode nato filtriramo skozi predhodno stehtani filter papir z določeno velikostjo por. Trdne snovi bodo ostale na filter papirju, ki ga nato popolnoma posušimo (tj. do konstantne teže) in ponovno stehtamo. Povečana teža filter papirja je merilo prisotnih delcev, ki jih lahko izrazimo v mg/L ali kg/m$^3$ (Rice *et al.* 2012) (tabela 2).

Tabela 2: Postopek merjenja suspendiranih trdnih snovi

| Št. | Postopek | Opombe |
|---|---|---|
| 1 | Filter papir stehtajte na 0,1 mg natančno. | Maso zapišite kot Masa 1. |
| 2 | Filter papir vstavite v filtrirno napravo in z vakuumsko črpalko zagotovite vakuum, da vodo potegne skozi filter. | |
| 3 | Filter papir navlažite z majhno količino deionizirane (DI) vode. | |
| 4 | Močno pretresite vzorec in nato s pomočjo merilnega valja izmerite vnaprej določeno prostornino vzorca. | Zabeležite filtrirano količino. |
| 5 | Merilni valj in filter papir trikrat sperite z 20 mL DI vode. Med spiranji počakajte, da se sfiltrira celotna količina vode. | |
| 6 | Vakuumsko črpalko pustite prižgano tri minute po končani filtraciji. | |
| 7 | Previdno prenesite filter papir na aluminijasto posodico in jo položite na pladenj ali podoben pripomoček. | |
| 8 | Filter papir postavite v pečico na 104 ± 1 °C in sušite najmanj eno uro. | |

| | | |
|---|---|---|
| 9 | Filter papir vzemite iz pečice in ga prestavite v eksikator, da se ohladi na sobno temperaturo. Filtre z vzorci stehtajte na 0,1 mg natančno. | Zapišite maso kot Masa 2 in uporabite naslednjo enačbo: TSS (mg/L) = (Masa 1 – Masa 2)/Volumen vzorca |

POSTOPEK ODPRAVLJANJA NAPAK: Če se na filtrih nabira veliko snovi, ki zmanjšajo možnost filtracije, je treba filtre čistiti pogosteje, da se zagotovi zadostno odstranjevanje ostankov. Če se motnost vode povečuje, je to lahko znak za težavo v filtracijskem sistemu. Da se prepreči zamašitev, je treba filtre redno preverjati ali, če je mogoče, odprtine rešetk zmanjšati, da zajamemo tudi manjše delce.

### Biofiltracija

POSTOPEK DELOVANJA: Pri biofiltru je treba preverjati mehansko delovanje filtra. Vsakodnevno je priporočljivo preverjati tudi pravilno delovanje sistema za prezračevanje in ali so vidni zračni mehurčki; to bo zagotovilo ustrezen dovod zraka za razrast in delovanje bakterij. Biofilter je treba zaščititi pred svetlobo, saj lahko le-ta spodbudi rast fotosinteznih alg. Tedensko je treba pregledovati blato, ki se lahko kopiči na nosilcih v biofiltru. Nastajanje le-tega ne sme biti preveliko, sicer lahko ogrozi učinkovitost sistema.

MONITORING: Najboljši način za nadziranje delovanja biofiltra je preko analize vsebnosti amonijaka, nitrita in nitrata v vodi. Poskrbeti je treba, da se ti parametri ohranjajo v optimalnem območju za ciljne vrste organizmov, tudi zaradi skladnosti z lokalno zakonodajo in zakonodajo EU. Koncentracije amonijaka, nitrita in nitrata običajno merimo s pomočjo posebnih elektronskih sond, saj specifične koncentracije teh parametrov v vodi ustvarjajo značilno prevodnost vode. Drug način merjenja je z uporabo kemijskih testov, ki jih merimo spektrofotometrično. Izmerjene vrednosti lahko nato primerjamo z optimalnimi območji posameznega parametra.

POSTOPEK ODPRAVLJANJA NAPAK: Če zaznamo visoke vsebnosti amonijaka ali nitrita, je potrebnih več nujnih ukrepov. Najprej preverimo, ali ima biofilter zadosten dovod kisika in ali ni v njem nakopičeno blato. Ribe nato za nekaj dni prenehamo hraniti, da preprečimo dodajanje dodatnega amonijaka v sistem v obliki ribjih izločkov. To bo zmanjšalo razpoložljivost amonijaka, omejilo rast bakterij rodu *Nitrosomonas* in omogočilo bakterijam rodu *Nitrobacter* pretvorbo odvečnih nitritov v nitrate. Če je stanje za ribe kritično, je treba hitro zmanjšati vsebnosti teh spojin ter vodo v sistemu nadomestiti s svežo vodo (Thorarinsdottir *et al.* 2015).

### Črpalke za vodo in zrak

POSTOPEK DELOVANJA: Črpalke, ki skrbijo za dovod kisika in ustvarjajo tok vode, je treba pogosto preverjati (tabela 3) in zagotoviti njihovo pravilno delovanje. Vodne črpalke ustvarjajo pretok vode v akvaponskih sistemih, s katerim se hranila in kisik prenašajo po sistemu. Proti filtrom premikajo tudi odpadke, ki se nato na filtrih odstranijo. Če je zmanjšana njihova učinkovitost ali če prenehajo delovati, to ovira pretok hranil in odstranjevanje odpadkov, kar zmanjša proizvodnjo. Treba je zagotoviti, da zračne črpalke delujejo pravilno, saj bodo brez zadostnega prezračevanja ribe poginile. To lahko pogosto storimo vizualno; preverimo, ali se iz aeratorjev kontinuirno sproščajo mehurčki. Zmanjšanje raztopljenega kisika lahko pomeni nepravilnost. Če se pojavijo težave, jih je treba rešiti z ustrezno usposobljenim inženirjem.

Tabela 3: Naloge, povezane z recirkulacijskim sistemom

| | |
|---|---|
| Dnevno | • Opazujte pretok vode; voda mora stalno krožiti.<br>• Preverite interval vodne črpalke; krajši interval pomeni boljši pretok vode.<br>• Zagotovite, da je vodna črpalka sinhronizirana z ventili, skozi katere voda vstopa v bazen za ribe. |
| Sezonsko | • Preverite delovanje vodne črpalke in prezračevalnega sistema.<br>• Očistite črpalko, prezračevalni sistem in cevi.<br>• Preverite stanje cevi in ventilov. |

### Rešetke

Rešetke so fizična prepreka med črpalkami, filtri in ponekod zunanjim svetom. Ribe, ki pobegnejo iz bazenov, lahko poškodujejo opremo, filtre, v skrajnem primeru pa lahko povzročijo, da tujerodne vrste vstopijo v naravni ekosistem. Pomembno je, da za namestitev rešetk določimo ustrezne lokacije. Sem spadajo črpalke, vhodni tokovi filtrov in cevi, kjer voda v sistem vstopa in izstopa.

POSTOPEK DELOVANJA: Rešetke je treba vsak dan preverjati. Če so le-te poškodovane ali obrabljene, jih je treba zamenjati.

## 9.2.2 Kakovost vode

Izraz kakovost vode vključuje vse, kar negativno vpliva na pogoje, potrebne za zdravje rib in rastlin. Ohranjanje dobre kakovosti vode v akvaponskem sistemu je zelo pomembno. Voda je medij, s katerim se vsa bistvena makro- in mikrohranila prenašajo v rastline, in medij, prek katerega ribe prejemajo kisik, zato neposredno vpliva na produktivnost sistema in njegovo delovanje. Obstaja pet parametrov kakovosti vode, ki so ključni za monitoring akvaponskega sistema: raztopljeni kisik (DO), kislost vode (pH), temperatura vode, dušikove spojine (amonijak, nitrit in nitrat) in trdota vode. Za ohranjanje zdravega uravnoteženega sistema je treba nadzorovati tudi druge parametre, kot so fosfor in druga hranila, kontaminacija z algami, suspendirana snov, koncentracija ogljikovega dioksida itd., vendar pa te parametre v dobro uravnoteženem sistemu lahko nadziramo redkeje (Somerville *et al.* 2014a; Thorarinsdottir *et al.* 2015).

### Raztopljeni kisik

Raztopljeni kisik (angl. *dissolved oxygen* – DO) je definiran kot količina molekulskega kisika v vodi in se običajno meri v miligramih na liter (mg/L). Če raven DO ni dovolj visoka, so ribe pod stresom, kar se kaže v počasni rasti, nastopi lahko tudi pogin. Zahteve po DO so za toplovodne in hladnovodne ribe različne: toplovodne vrste, npr. ostriž in som, potrebujejo približno 5 mg/L za optimalno rast, hladnovodne ribe, npr. postrvi, pa potrebujejo približno 6,5 mg/L DO. Visoko raven DO potrebujejo tudi nitrifikacijske bakterije v biofiltru, ki imajo ključno vlogo pri pretvorbi ribjih izločkov v rastlinska hranila. DO torej posredno vpliva tudi na rast rastlin. Priporočljivo je, da se v akvaponskem sistemu ohranja raven DO pri 5 mg/L ali več.

MONITORING: Količine kisika je v novem sistemu treba pogosto meriti, vendar ko sistem postane ustaljen (npr. ko dosežemo ustrezno razmerje med številom rib in količino krmljenja ter zagotovimo

zadostno prezračevanje), DO ni več treba meriti tako pogosto. Merjenje DO je lahko zahtevno, saj so merilne naprave lahko zelo drage. Na voljo je nekaj akvarijskih kompletov, ki vključujejo reagente za testiranje vsebnosti DO, najzanesljivejša pa je uporaba kisikovih sond z elektronskimi števci ali merilci, ki stalno merijo najpomembnejše parametre v bazenu za ribe. V manjšem akvaponskem sistemu zadostuje pogosto opazovanje obnašanja rib, gibanja vode in delovanja zračnih črpalk. Če ribe po zrak prihajajo na površje vode, to kaže na to, da so ravni DO v sistemu prenizke. Poskrbite, da črpalke za vodo in zrak stalno krožijo in prezračujejo vodo.

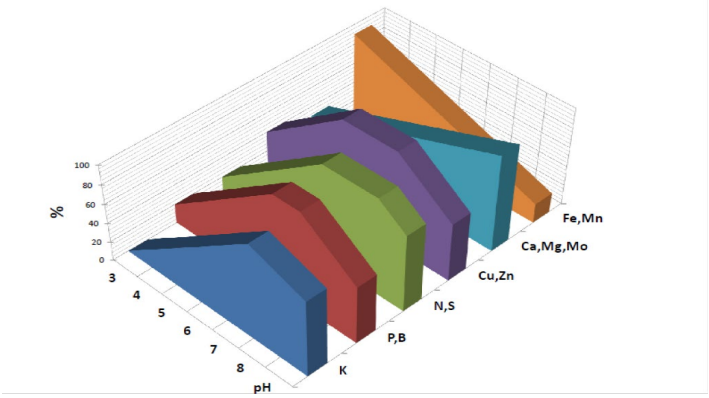
POSTOPEK ODPRAVLJANJA NAPAK: Nizke ravni DO običajno niso vprašljive pri pridelovalcih, ki se s tem ukvarjajo v prostem času, saj ti pogosto v njhovih bazenih gojijo manj rib. Težave se pogosteje pojavijo v sistemih z visoko gostoto rib. Če so ravni DO v posameznem sistemu prenizke, je treba povečati zračenje z dodajanjem razpršilcev zraka ali črpalko nadomestiti z večjo. Tveganje, da bi dodali preveč kisika, ne obstaja. Ko voda postane nasičena s kisikom, odvečni kisik preprosto preide v atmosfero. Upoštevajte, da so ravni DO tesno povezane s temperaturo vode. Hladna voda lahko zadrži več kisika kot topla voda, zato je v primeru toplejšega vremena nujno potrebno merjenje DO ali preventivno pogostejše prezračevanje. Poraba kisika je povezana tudi z velikostjo rib: manjše ribe porabijo precej več kisika kot večje ribe. To dejstvo je treba upoštevati pri vzpostavljanju sistema z majhnimi ribami (Sallenave 2016; Somerville *et al.* 2014a).

## pH

pH raztopine je merilo, kako kisel ali alkalen je medij, na lestvici od 1 do 14. pH 7,0 je nevtralen, pH < 7,0 je kisel, pH > 7,0 pa alkalen. pH je opredeljen kot količina ali aktivnost vodikovih ionov ($H^+$) v raztopini:

$$pH = -log(H^+)$$

Enačba kaže, da se pH znižuje, ko aktivnost vodikovih ionov narašča. To pomeni, da ima kisla voda visoke vrednosti $H^+$ in s tem nizek pH. pH vode je še posebej pomemben parameter za rastline in bakterije. V vodi, iz katere rastline črpajo hranila, pH nadzoruje razpoložljivost le-teh. Pri pH 5,5–6,5 so vsa hranila za rastline lahko dostopna, toda zunaj tega območja postanejo težko dostopna (slika 2). Že majhno odstopanje pH na 7,5 ali več lahko vpliva na zmanjšano količino železa, fosforja in mangana v rastlinah.




Slika 2: Vpliv pH na razpoložljivost hranil za rastline

(vir: F. Moeckel, Wikimedia Commons)

Nitrifikacijske bakterije pri pH 6,0 ali manj ne morejo pretvoriti amonijaka v nitrat. Biofiltracija je zato manj uspešna, raven amonijaka pa se lahko poveča. Ribe imajo pH-toleranco od približno 6,0 do 8,5.

Za zadovoljevanje potreb vseh treh organizmov (rastlin, rib in bakterij) je treba pH v akvaponskem sistemu ohranjati med 6,0 in 7,0.

Določeni dogodki ali procesi v akvaponskem sistemu vplivajo na pH, zato le-ta ne bo ostal konstanten in ga bo treba redno nadzirati. Ti procesi so nitrifikacija, gostota rib in kontaminacija s fitoplanktonom. V procesu nitrifikacije bakterije proizvajajo majhne koncentracije dušikove kisline, zato se pH akvaponskega sistema zniža. Gostota rib vpliva tudi na pH sistema. Ko ribe dihajo, proizvajajo $CO_2$, ki se sprosti v vodo. Ob stiku z vodo se $CO_2$ pretvori v ogljikovo kislino ($H_2CO_3$), ki zniža pH vode. Ta učinek je večji pri večji gostoti rib. V akvaponskem sistemu je na splošno vedno prisoten tudi fitoplankton; velike količine le-tega so nezaželene, saj rastlinam jemlje hranila. Ker fitoplankton fotosintetizira in s tem porablja $CO_2$ iz vode, pH vode naraste. Ta pojav je še posebej precejšen podnevi, ko je fotosinteza najintenzivnejša. V akvaponskem sistemu pH vode v povprečju pada, zato ga je treba redno nadzirati in uravnavati (Somerville *et al.* 2014a; Thorarinsdottir *et al.* 2015).

MONITORING: Obstaja več metod za merjenje pH. Najenostavnejša je uporaba testnih pH-lističev, ki jih potopimo v vodo in primerjamo z barvno lestvico na škatli. To je najcenejša metoda, vendar le zmerno natančna. Naslednja raven natančnosti vključuje uporabo kompletov za testiranje vode z reagenti in primerjalno barvno lestvico. Priporočena in tudi natančnejša metoda je uporaba digitalnih merilnikov s pH-sondami in monitorji za stalno merjenje. pH je priporočljivo nadzirati nenehno ali vsaj dnevno. Ker se voda iz akvaponske kisline pogosto zakisa zaradi nitrifikacije in dihanja, je treba pH redno uravnavati.

POSTOPEK ODPRAVLJANJA NAPAK: Obstaja več načinov za dvig pH v sistemu. Najpogostejše metode so:

- dodajanje $NaHCO_3$, kadar koli je potrebno. $NaHCO_3$ raztopite v nekaj vode, mešanico postopoma dodajte v bazen in izmerite pH. Morda boste potrebovali do 20 g na 100 L $NaHCO_3$. Ne dodajte preveč naenkrat, ker lahko ribe poginejo.
- Dodajanje močnih baz, kot sta kalcijev hidroksid ($Ca(OH)_2$) ali kalijev hidroksid (KOH). Pelete ali prašek ločeno raztopimo v vodi in raztopino postopoma dodajamo v bazen za ribe.

V nekaterih primerih je voda, ki je na voljo, trda z visokim pH. To je običajno v regijah, ki v sestavi tal vsebujejo apnenec. pH se v sistemu lahko zviša tudi, če je stopnja evapotranspiracije visoka ali če je gostota rib nezadostna in ne nastane dovolj izločkov za potek nitrifikacije v biofiltru. V teh primerih je treba pH znižati z dodajanjem kisline. Najpriporočljivejše je znižanje pH v bazenu za založno vodo namesto v bazenu za ribe. Fosforjevo kislino ($H_3PO_4$), ki je sorazmerno blaga kislina, raztopimo v vodi v bazenu (nikoli neposredno v bazenu za ribe!) (Thorarinsdottir *et al.* 2015).

### Temperatura vode

Temperatura vode vpliva na vse vidike akvaponskih sistemov. Vsak organizem v sistemu ima svoje optimalno temperaturno območje, kar je treba upoštevati pri izbiri vrste rib in vrste rastlin. Poleg tega je treba izbrati kombinacijo rib in rastlin, ki ustreza temperaturi okolja, v katerem je sistem, saj je spreminjanje temperature vode lahko energetsko potratno. Temperatura vpliva na DO in na

strupenost (ionizacijo) amonijaka; visoke temperature imajo manj DO in več neioniziranega (strupenega) amonijaka. Visoke temperature lahko tudi omejijo absorbcijo kalcija v rastlinah.

MONITORING: Temperaturo vode lahko merimo z analognimi ali digitalnimi termometri ali s temperaturnimi sondami. Če uporabljamo kontinuirno merilno napravo, je običajno v sistem meritev vključeno tudi merjenje temperature.

POSTOPEK ODPRAVLJANJA NAPAK: Z nekaj tehnikami upravljanja bomo zmanjšali temperaturna nihanja vode v akvaponskem sistemu. Vodne površine na bazenih za ribe, hidroponskih enotah in biofiltrih je treba zaščititi pred soncem z uporabo senčil. Podobno lahko enoto toplotno zaščitimo pred npr. hladnimi nočnimi temperaturami z uporabo izolacije. Lahko pa akvaponske enote pasivno ogrevamo z uporabo rastlinjakov ali sončne energije z zavitimi cevmi, ki so najbolj uporabne pri temperaturah, nižjih od 15 °C (Somerville *et al.* 2014a).

### Celokupni dušik (amonijak, nitrit, nitrat)

Dušik je ključni parameter kakovosti vode. Vsota neionizirane strupene oblike in nestrupene ionske oblike amonijaka se imenuje celokupni dušik v obliki amonijaka (angl. *total ammonia nitrogen* – TAN). Večina komercialnih kompletov za testiranje amonijaka meri TAN. V optimalno delujoči akvaponski enoti z ustrezno biofiltracijo bi bile vrednosti amonijaka in nitrita blizu nič ali največ od 0,25 do 1,0 mg/L (glejte 5. poglavje).

POSTOPEK DELOVANJA: Analizo vode na dušikove spojine (TAN, $NO_2^-$, $NO_3^-$) je treba izvajati vsak dan ali vsaj tedensko.

Tabela 4: Parametri s ciljnimi, maksimalnimi in minimalnimi vrednostmi dušikovih spojin v vodi akvaponskega sistema

| Parameter | Okr | Enota | Ciljna vrednost | Spodnji prag | Zgornji prag |
|---|---|---|---|---|---|
| Celokupni dušik v obliki amonijaka | TAN | mg/L | 0,0 | / | 1,0 |
| Nitrit | $NO_2^-$ | mg/L | 0,0 | / | 0,2 |
| Nitrat | $NO_3^-$ | mg/L | 0,0 | / | 300 |

MONITORING: Akvarijski kompleti za merjenje amonijaka, nitrita in nitrata so precej natančni in poceni. Za natančnejše meritve se uporabljajo spektrofotometri proizvajalcev, kot so Hach, Hanna Instruments ali Macherey-Nagel, v kombinaciji z laboratorijsko kemijsko analizo. Macherey-Nagel ponuja testne komplete Nanocolor®, ki so združljivi z njihovim spektrofotometrom ter se lahko uporabljajo za več parametrov kakovosti vode, vključno z amonijakom, nitritom in nitratom.

POSTOPEK ODPRAVLJANJA NAPAK: Če koncentracija nitrita ali amonijaka narašča, prenehajte hraniti ribe za več dni. Če so ravni kritične, vodo v sistemu takoj zamenjajte s svežo vodo (Klinger-Bowen *et al.* 2011).

## Fosfor in druga hranila

Hranila pomembno vplivajo na zdravje rastlin. Ali imajo te dovolj hranil, lahko preverimo z opazovanjem stanja rastlinskih tkiv in splošnega stanja rastlin. Sprememba oblike in barve listov ter venenje rastline sta lahko znak pomankanja nekaterih hranil, zato je za ohranitev pridelka potrebno hitro posredovanje. Spodaj so opisani nekateri znaki, na podlagi katerih lahko preverimo, ali je količina najpomembnejših hranil, pomembnih za zdravje rastlin, zadostna. Optimalni razpon hranilnih snovi se razlikuje glede na vrsto pridelka, zato je pomembno, da upravljavec pozna optimalni razpon hranil za izbrani pridelek (Thorarinsdottir *et al.* 2015).

**Fosfor (P)**

Posledice pomanjkanja fosforja so: slaba rast korenin, pordelost listov, temnozeleni listi in zapoznela zrelost. Tudi konice rastlinskih listov so lahko ožgane (Thorarinsdottir *et al.* 2015).

**Kalij (K)**

Pomanjkanje kalija povzroči manjši vnos vode in poslabša odpornost na bolezni. Indikacije pomanjkanja kalija so: ožganine na starejših listih, venenje ter nezadostno razvijanje cvetov in plodov (Thorarinsdottir *et al.* 2015).

**Kalcij (Ca)**

Pomanjkanje kalcija je v akvaponiki precej pogosto, znaki pa so: ožganine konic na listnatih rastlinah, gniloba na spodnji strani plodov, kjer je bil prej cvet, in nepravilna rast paradižnika (Thorarinsdottir *et al.* 2015).

**Magnezij (Mg)**

Običajni znaki pomanjkanja magnezija so: sprememba barve starih listov, porumenelost območja med žilami, ki posledično postane trdo in krhko, preden listi odpadejo. Pomanjkanje magnezija v akvaponiki je redko (Thorarinsdottir *et al.* 2015).

**Žveplo (S)**

Znaki pomanjkanja žvepla so: sprememba barve novih listov, porumenelost območja med žilami, ki posledično postane trdo in krhko, preden listi odpadejo. Pomanjkanje žvepla v akvaponiki je redko (Thorarinsdottir *et al.* 2015).

**Železo (Fe)**

Pomanjkanje železa v sistemu se kaže s porumenelostjo konic rastlin in celotnih listov mladih rastlin. Ti se sčasoma pobelijo in dobijo nekrotične pege. Posledice pomanjkanja so spremembe na novih listih (v primerjavi s starimi listi). Novi listi rastejo in postanejo beli, stari listi pa ostanejo zeleni. Rastlini lahko železo dodajamo v kelatni obliki v koncentracijah do 2 mg/L. Železo lahko z razpršilom nanesemo tudi neposredno na liste. Ob pomanjkanju železa je treba meriti tudi pH, ker se pri pH pod 8 železo obori iz vode in prepreči, da bi ga rastline lahko vsrkale. Pravilo, ki se ga je priporočljivo držati, določa, da se na 1 $m^2$ gojenih rastlin dodaja 5 mL železa. Visoka koncentracija železa ne bo škodila akvaponskemu sistemu, čeprav se lahko voda obarva svetlo rdeče (Roosta & Hamidpour 2011; Thorarinsdottir *et al.* 2015).

**Cink (Zn)**

Rast rastlin se zaradi pomanjkanja cinka lahko zaustavi, kar se kaže v skrajšanih internodijih in manjših listih. Na splošno pa je težava v akvaponiki toksičnost cinka. Rastline sicer lahko prestajajo presežek cinka, vendar so nanj občutljive ribe, ki v skrajnem primeru lahko tudi poginejo. Cink se uporablja kot del procesa galvanizacije bazenov za ribe, matic in vijakov itd., zato ga pogosto najdemo v ribjih izločkih. Pomanjkanje cinka ni tvegano. Ravni cinka naj bi v akvaponiki bile med 0,03 in 0,05 mg/L, saj je večina rib pri 0,1 do 1 mg/L pod stresom ter pri koncentraciji od 4 do 8 mg/L lahko pogine. Ker se cink v sistem vnaša predvsem s prevleko na opremi, je najboljši način za ohranjanje optimalne ravni cinka uporaba alternativ pocinkane opreme, npr. iz nerjavnega jekla ali plastike (Storey 2018).

MONITORING: Čeprav nam opazovanje rastlinskih tkiv pokaže stanje hranil v vodi, se pomanjkanja razkrijejo šele po tem, ko se je v pridelku že pojavila težava, zato je najboljša rešitev dosledno nadzorovanje vode. Vrednost vseh že navedenih hranil lahko merimo s testnimi trakovi, ki vsebujejo reagent, ki v stiku z vodo spremeni barvo. Intenzivnost te reakcije je mogoče primerjati z barvno lestvico, ki je priložena kompletu. Ti kompleti so pogosto poceni in preprosti za uporabo, vendar je treba zaloge nenehno dopolnjevati, saj so kompleti potrošni material. Nekatere od teh parametrov je mogoče preveriti tudi s spektrometrijo. To je metoda kvantitativne analize, ki uporablja absorbcijo svetlobe. Običajno vzorec vode centrifugiramo, da odstranimo suspendirane trdne snovi, in dodamo reagent, značilen za želeni test. Vzorec nato vstavimo v spektrofotometer in izmerimo absorbanco. Navedene vrednosti lahko z uporabo znanih umeritvenih krivulj za določeno spojino pretvorimo v koncentracijo.

## Trdota vode

Za akvaponiko sta še posebej pomembni dve vrsti trdote vode: splošna trdota (angl. *general hardness* – GH) in karbonatna trdota (angl. *carbonate hardness* – KH). GH lahko opišemo kot količino kalcijevih ($Ca^{+}$), magnezijevih ($Mg^{+}$) in v manjši meri železovih ($Fe^{+}$) ionov, prisotnih v vodi. GH se običajno pojavlja na območjih, kjer vodni tokovi tečejo skozi območja z visokimi koncentracijami apnenčastih nahajališč. GH je pomemben za rastline in ribe v akvaponskem sistemu, saj sta $Ca^{+}$ in $Mg^{+}$ bistveni hranili za rastline in zato potrebni za uspešno pridelavo rastlin. GH je lahko tudi koristen vir mikrohranil za ribe v sistemu. Npr.: $Ca^{+}$ v vodi lahko prepreči izgubo drugih soli v ribah in s tem poveča splošno produktivnost sistema.

KH je pomemben predvsem, ker ima lastnosti pufra. KH lahko opišemo kot skupno količino karbonatov ($CO_3^{2-}$) in bikarbonatov ($HCO_3^{-}$) v sistemu, ki daje vodi alkalnost. KH vpliva na raven pH in deluje kot pufer za povečano kislost, ki lahko nastane zaradi določenih fizioloških procesov. Npr.: kot je že bilo omenjeno, se amonijak v postopku nitrifikacije iz ribjih izločkov pretvori v nitrat, pri tem kot stranski produkt nastaja dušikova kislina. Ta se lahko v vodi kopiči in zniža pH, dokler organizmom ne povzroči stresa. Ioni $H^{+}$ iz kisline se vežejo na karbonate ($CO_3^{2-}$) in bikarbonate ($HCO_3^{-}$), ki preprečijo zakisanje (Sallenave 2016; Somerville *et al.* 2014a; Thorarinsdottir *et al.* 2015).

MONITORING: Če ima uporabljeni vodni vir ustrezno raven GH za zagotavljanje zdravja rastlin in rib ter dovolj KH za nevtralizacijo dušikove kisline, ki je nastala med nitrifikacijo, v pretočnih sistemih ni treba stalno meriti trdote vode. Optimalna stopnja trdote za akvaponske sisteme je 60–120 mg/L

(zmerno trda). V sistemih RAS pa je priporočljivo meriti trdoto enkrat tedensko. Trdoto vode lahko razvrstimo na naslednji način:

Tabela 5: Razvrstitev trdote vode na podlagi koncentracij kalcijevega karbonata

| **Razvrstitev trdote vode** | **Koncentracija** |
|---|---|
| Mehka | 0–60 mg/L |
| Zmerno trda | 60–120 mg/L |
| Trda | 120–180 mg/L |
| Zelo trda | > 180 mg/L |

Trdoto vode lahko izmerimo s preprostimi testnimi trakovi, ki spremenijo barvo glede na stopnjo trdote in so na voljo v spletnih trgovinah. Skupna trdota se meri v mg/L. Po navodilih proizvajalca se testne trakove pomoči v vodo in se jih nato za odčitavanje stopnje trdote primerja z barvno lestvico. Tudi pH da neko merilo trdote, saj je bolj alkalna voda trša.

POSTOPEK ODPRAVLJANJA NAPAK: Če ugotovimo, da voda nima ustrezne trdote, je to možno popraviti z dodatki. Za povečanje trdote lahko v vodo dodamo apnenec ali zdrobljene korale (Sallenave 2016; Somerville *et al.* 2014a; Thorarinsdottir *et al.* 2015).

### Kontaminacija z algami, usedljive trdne snovi

Rast alg v akvaponskem sistemu lahko negativno vpliva na njegovo delovanje. Alge so fotosintezni organizmi, ki na svetlobi hitro in enostavno rastejo v vodi. Ker se naravno pojavljajo v vseh vodnih virih, se pogosto pojavijo tudi v akvaponskem sistemu. Fiziologija alg pri enoceličnih vrstah (fitoplanktonu) je drugačna kot pri večceličnih vrstah (makroalgah), vsi pa povzročajo težave v akvaponskem sistemu. Fitoplankton se hitro razmnožuje, zato voda postane zelena, medtem ko makroalge tvorijo dolge nitaste strukture, ki se lahko pritrdijo na dno bazenov. Rast alg vpliva na kemične lastnosti vode in lahko ovira delovanje filtrov in črpalk. Alge v akvaponskem sistemu z rastlinami tekmujejo za hranila. Ker so fotosintezne, tudi dovajajo DO, kisik proizvajajo podnevi in ga porabljajo ponoči. Če alge ponoči porabijo preveč kisika, lahko voda v skrajnih primerih postane anoksična in ribe posledično poginejo. Nitaste alge so lahko precej velike, zato jih je pogosto težko odstraniti. To pomeni, da lahko kopičenje alg poškoduje filtre in črpalke, katerih popravila so draga, zato lahko ogrozijo delovanje sistema.

MONITORING: Na srečo je spremljanje rasti alg ponavadi preprosto. Običajno lahko le pregledamo akvaponski sistem, predvsem stene bazenov za ribe ter okolico črpalk, filtrov in rastlinskih korenin.

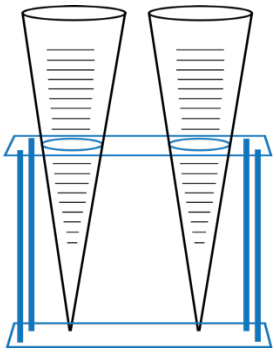
POSTOPEK ODPRAVLJANJA NAPAK: Preprečevanje rasti alg je razmeroma enostavno: njihovo rast prepreči že zasenčenje delov sistema (Somerville *et al.* 2014a).

Suspendirane trdne snovi lahko razvrstimo v usedljive in neusedljive trdne snovi. Usedljive trdne snovi se kopičijo na dnu bazena za ribe in so večinoma iz trdnih ribjih odpadkov; to so iztrebki, nezaužita hrana in preostali biološki material. Ocenjujejo, da 0,45 kg krme za ribe ustvari 0,11–0,13 kg trdnih odpadkov (Sallenave 2016). Nabiranje prekomernih usedlin lahko negativno vpliva na akvaponski sistem iz dveh razlogov: prvič, prevelika količina hranil zmanjša raven DO v vodi, ko se leti razkrajajo, kar vpliva na druge organizme v sistemu, npr. nitrifikacijske bakterije, ki za pretvorbo

amonija v nitrate potrebujejo kisik; drugič, delci se lahko lepijo na korenine rastlin, kar zmanjšuje njihovo sposobnost za absorbcijo hranil.

MONITORING: Za merjenje usedljivih trdnih snovi vzamemo 1 L dobro premešanega vzorca vode, ga damo v Imhoffov stožec (slika 3) in počakamo 1 uro, da se usede. Stožec ima milimetrsko skalo, da lahko z višine usedenega materiala neposredno odčitamo vrednost v mm/L (MadeCivilEasy 2016).

POSTOPEK ODPRAVLJANJA NAPAK: Tako kot druge suspendirane trdne snovi se tudi usedljive trdne snovi odstranijo s filtracijo, zato je treba uporabiti ustrezno velikost filtrov in preveriti, da delujejo.



Slika 3: Imhoffov stožci za merjenje usedljivih trdnih snovi

### 9.2.3 Zdravje rastlin

Neugodni pogoji (npr. neustrezna temperatura, nezadostna jakost svetlobe, pomanjkanje hranil ali škodljivci in bolezni) bodo upočasnili rast pridelkov.

MONITORING: Najpomembneje je, da parametre vzdržujemo v optimalnem območju za izbrane vrste in sorte, ki jih gojimo v akvaponskem sistemu. Manj očitne težave so pogosto odraz pomanjkanja hranil.

POSTOPEK ODPRAVLJANJA NAPAK: Da lahko odkrijemo osnovni vzrok za slabo stanje rastlin, je potrebno natančno spremljanje videza rastlin (Somerville *et al.* 2014b).

#### Bolezni

Ena glavnih prednosti akvaponskih sistemov je precejšnja odpornost rastlin na bolezni. Koreninska gniloba je bolezen, ki okuži številne vrste rastlin v hidroponskih sistemih. Pokazalo pa se je, da so pridelki, gojeni v akvaponskih sistemih, bolj odporni na povzročitelje bolezni, kot je *Pythium aphanidermatum* (Stouvenakers *et al.* 2018).

POSTOPEK DELOVANJA: Lastniki in upravljavci akvaponskih sistemov morajo biti pri odkrivanju bolezni skrbni. Dobro poznavanje sistema je ključnega pomena za opazovanje sprememb. Najpomembnejši je nadzor kakovosti vode in fizikalnih parametrov. Akvaponika je zaprt sistem z nadzorovanimi pogoji, zato je v njem mogoče nadzorovati in spreminjati parametre tako, da sta vnos in širjenje bolezni čim manjša.

MONITORING: Primer: koreninska gniloba je virulentna le pri temperaturi med 20 in 30 °C. Nadzor temperature je zato učinkovit ukrep proti širjenju koreninske gnilobe (Grosch & Kofoet 2003; Sirakov *et al*. 2016). Za zdravje rastlin je pomembna mikrobna flora (koristne bakterije in drugi mikrobi), zato je priporočljivo v območje korenin inokulirati koristne mikrobe in občasno preveriti njihovo prisotnost. Vendar pa to ni enostavno in zahteva strokovno znanje.

POSTOPEK ODPRAVLJANJA NAPAK: Vsakodnevno je treba skrbeti za zdravje rastlin in opazovati barvo listov. Na podlagi oblike listov lahko ugotovimo tudi, ali rastlina dobro uspeva. Venenje in znaki stresa so znak zdravstvenih težav rastlin (korenine, vaskularne težave) in neravnovesja hranil.

### Relativna vlažnost

Relativno vlažnost lahko opišemo kot razmerje med absolutno vlažnostjo in največjo mogočo absolutno vlažnostjo pri določeni temperaturi. Npr.: 75-% relativna vlaga je enaka 75 % celotne vsebnosti vode, ki bi lahko bila prisotna v zraku. Količina vode, ki jo zrak lahko zadržuje, je odvisna od temperature, zato ima lahko zrak pri temperaturi 30 °C precej več vode kot zrak pri 25 °C. Točka, pri kateri relativna vlaga doseže 100 %, je točka rosišča.

POSTOPEK DELOVANJA: Ta parameter je pomemben dejavnik pri akvaponiki, saj lahko nadziranje vlažnosti v želenem območju prepreči bolezen in odžene parazite. Tako kot večina organizmov tudi paraziti lahko učinkovito preživijo v optimalnem razponu relativne vlažnosti. Npr.: pajkove pršice lahko povzročijo škodo na rastlinah z naluknjanjem rastlinskih celic pri hranjenju. Ker ne morejo prenašati mokrih in vlažnih razmer, se pršila pogosto uporabljajo za povečanje vlažnosti, kar prepreči naselitev pajkovih pršic. Mikroorganizmom, kot so plesni in glive, ki lahko povzročijo težave v akvaponskih sistemih, ustrezajo vlažne razmere. Z zmanjševanjem relativne vlažnosti, lahko omejimo njihov razrast (Brown 2006; Storey 2016). Tropske rastlinske vrste lažje preživijo v vlažnih razmerah, tiste iz regij z zmernim podnebjem pa težje, zato je pomembno, da vemo, kateri pogoji so najustreznejši za izbrane rastline.

MONITORING: Ko dosežemo optimalno relativno vlažnost za izbrani pridelek, jo je priporočljivo pogosto nadzorovati, da preprečimo daljše neoptimalno stanje. Merjenje vlažnosti z uporabo higrometra je preprosto. Z njega relativno vlažnost zraka odčitamo v odstotkih.

POSTOPEK ODPRAVLJANJA NAPAK: Če je relativna vlaga zunaj želenega območja, lahko storimo več stvari. Najprej lahko spremenimo temperaturo. Relativna vlaga je odvisna od temperature, in če je relativna vlaga prenizka, bo višja temperatura spodbudila izhlapevanje kondenzirane vode. Če pa je vlaga previsoka, znižanje temperature zmanjša vlago v zraku. Tako lahko uravnavamo tudi zračni tok. Prezračevanje npr. razredči vodno paro v zraku in s tem zmanjša vlažnost. Obstajajo tudi naprave, imenovane razvlažilniki zraka, ki jih lahko nastavimo tako, da se ob določeni vrednosti relativne vlažnosti vklopijo in zrak izsušijo. Še posebej so lahko koristni pri avtomatizaciji postopka, tako zmanjšujemo operativne stroške (delovna sila) (Brown 2006; Somerville *et al.* 2014b; Storey 2016).

### Temperatura zraka

Temperatura zraka vpliva na dobro rast rastlin. Večina zelenjave uspeva med 18 in 30 °C, čeprav obstajajo nekatere vrste, ki so prilagojene bodisi višjim bodisi nižjim temperaturam. Npr.: švicarska

blitva in kumare dobro uspevajo med 8 in 20 °C, tropske vrste, kot je okra, pa med 17 in 30 °C. Neoptimalna temperatura lahko pri rastlinah povzroča stres, kar vpliva na sposobnost rastline, da se brani pred boleznimi. Še en dejavnik je fiziološki odziv rastline na temperaturo. Npr.: listnata zelenjava pri višjih temperaturah začne cveteti in osemeni, kar vpliva na njen okus (postane grenka in neprijetna za uživanje).

POSTOPEK DELOVANJA: Pomembno je dosledno meriti temperaturo akvaponske enote, meritve pa je treba opraviti v različnih delih rastlinjaka.

MONITORING: Lahko ga izvedemo z digitalnim ali analognim termometrom. Morebitne spremembe temperature je treba beležiti v dnevnik vodenja.

POSTOPEK ODPRAVLJANJA NAPAK: Če se temperatura spusti pod želeno območje, se jo lahko spremeni z uporabo posebne opreme (npr. grelniki zraka, klimatske enote). Najboljši način za ohranjanje optimalne temperature skozi vse leto je izbira pridelkov, ki so prilagojeni lokalnemu podnebju (Leaffin 2017).

### Jakost svetlobe

V normalnih razmerah za rast rastline od sonca prejemajo svetlobo, potrebno za fotosintezo. Kot druge spremenljivke v naravi je tudi jakost svetlobe odvisna od geografske lege, časa v dnevu in lokalnih okoljskih razmer. Svetloba je temeljna za rast rastlin, zato je nujno, da se za maksimalni donos izbranega pridelka zagotovijo ustrezne ravni jakosti svetlobe (Chen Lopez 2018). Svetlobo lahko merimo preko njene jakosti, to je število fotonov, ki doseže površino določene velikosti. Metrična enota svetlobne jakosti je lumen (lm), luks (lx) pa je enak enemu lm na kvadratni meter. V akvaponiki je pomembno število fotonov, ki doseže površino lista. Fotoni so vrsta elementarnih delcev, ki tvorijo tok svetlobe; so paketki energije. Število fotonov, ki ga list rastline prestreže, je odločilno vpliva na hitrost rasti rastlin (Badgery-Parker 1999).

POSTOPEK DELOVANJA: Brez ustrezne jakosti svetlobe rastline ne morejo rasti ali optimalno uspevati. Točka, pri kateri je stopnja fotosinteze enaka stopnji celičnega dihanja, je kompenzacijska točka. Pri tej jakosti svetlobe bodo rastline preživele, ne bodo pa rastle, vendar pa je to odvisno od vrste rastlin. Npr.: v krizantemah je ta točka 4000 lx. Točka, pri kateri jakost svetlobe ne poveča fotosinteze in zato ustavi rast, je točka nasičenja. Na splošno bodo zgornji listi nasičeni pri približno 32 000 lx. Spodnji listi zaradi senčenja ne bodo dobili toliko svetlobe kot zgornji. Da bi celotna rastlina postala nasičena, mora biti raven svetlobe približno 100 000 lx. Fotosintezno aktivno sevanje (angl. *photosynthetically active radiation* – PAR) je del svetlobnega spektra, ki ga rastline uporabljajo za fotosintezo, in vključuje valovne dolžine od 400 do 700 nm, kar predstavlja skoraj vso vidno svetlobo (Badgery-Parker 1999; Chen Lopez 2018).

MONITORING: Obstaja več načinov merjenja svetlobe. Obstajajo celo aplikacije za pametne telefone (čeprav je treba skrbno preveriti njihove ocene, saj so včasih lahko zelo nenatančne). Ker jakost svetlobe temelji na moči, lahko energijo, uporabljeno za napajanje lučk, ekstrapoliramo, da dobimo merilo svetilnosti v vatih ali v vatih na kvadratni meter ($Wm^{-2}$). Podobno lahko izmerimo količino energije, ki jo oddaja vir, npr. žarnica. Radiometer je naprava, ki meri jakost svetlobnega vira,

piranometer pa se lahko uporablja za merjenje celotne količine kratkega valovanja. Kratkovalovno sevanje vključuje fotosintezno svetlobo ter energijo iz UV- in bližnje infrardeče (IR) svetlobe. Rastline in ljudje doživljajo IR-svetlobo kot toploto. Ti merilniki so lahko relativno poceni in so enostavni za uporabo, čeprav imajo svoje omejitve. Npr.: njihova uporaba pod električnimi lučmi lahko pokaže napačno vrednost, zlasti kadar ima svetlobni vir visoke vrednosti v modrem ali rdečem spektru. Kvantni senzorji so natančnejši način merjenja svetlobe, vendar so dražji. To so ponavadi ročne naprave na baterijo, ki merijo PAR. Vrednosti pokažejo digitalno, nekateri pa imajo tudi možnosti beleženja podatkov, ki omogočajo preprost prenos podatkov v računalnik. Jakost svetlobe lahko merimo tudi z instrumenti za merjenje toka sevanja, ki merijo količino energije na enoto časa.

POSTOPEK ODPRAVLJANJA NAPAK: Ker rast rastlin ni enakomerna, je treba jakost svetlobe odčitavati na različnih lokacijah (temnih in svetlih), da ne bi bile posamezne lokacije preveč pod ali nad optimalnimi vrednostmi. Če npr. jakost svetlobe v spodnjem delu rastlin pade pod optimalno raven, se bo produktivnost zmanjšala (Runkle 2009; Runkle 2012). Dvig jakosti svetlobe je običajno precej preprost postopek. Če pride do težav, kot so npr. razbite žarnice, jih je treba zamenjati. Na temnejša območja lahko dodamo več luči, položaj svetil pa lahko spremenimo, da zagotovimo optimalno raven svetlobe vsem rastlinam.

### 9.2.4 Zdravje rib

Skrb za zdravje rib je osrednji vidik ohranjanja zdravega akvaponskega sistema.

POSTOPEK DELOVANJA: Zdravje rib lahko zagotovimo z opazovanjem njihovega vedenja in izgleda. Poznati moramo kakšen izgled in vzorec vedenja je značilen za vrsto, ki jo gojimo, da lahko nenavadnosti. Za zdravje rib je pomembna kakovost vode. Dosledno vzdrževanje kakovosti vode zagotavlja, da ribe bivajo v nestresnih pogojih. To ohranja zdrav imunski sistem rib in odpravlja zaplete, ki nastanejo zaradi vnosa zajedavcev in bolezni v sistem.

MONITORING: Na splošno je treba ribe opazovati vsak dan, pri čemer si je treba zabeležiti njihovo stanje in vse morebitne spremembe. Da lažje razumemo klinične znake stresa, bolezni ali parazitske okužbe, se moramo za to usposobiti.

POSTOPEK ODPRAVLJANJA NAPAK: Pozorni moramo biti na gostoto naselitve rib in na pogostost krmljenja. Morebitnemu stresu in boleznim v sistemu se je mogoče izogniti tako, da vzdržujemo krmo na tisti ravni, ki ustreza gostoti rib v sistemu (Somerville *et al.* 2014c).

#### Pogostost in količina hranjenja

Pogostost in količino hranjena je pomembno nadzorovati iz več razlogov. Preveč hrane lahko povzroči prekomerno preskrbo hranljivih snovi v vodi, kar povzroča zaplete v kemijskih in mikrobioloških parametrih. Preveč hrane lahko tudi spodbudi rast bakterij, zato se lahko posledično razmnožijo povzročitelji bolezni. Preveč hrane lahko poveča potrebe po biokemičnem kisiku in spremembe drugih kemijskih parametrov, npr. pH.

POSTOPEK DELOVANJA: Nezadostno hranjenje rib lahko upočasni rast. To zmanjša produktivnost v sistemu ter poveča stres in agresijo med ribami. Ribe lahko napadejo druga drugo in se pri tem ranijo, rane pa se lahko okužijo.

MONITORING: Količino krme običajno stehtamo. Ocenimo jo lahko tudi vizualno tako, da opazujemo, kdaj so ribe site. V nekaterih sistemih to poteka s pomočjo podvodnih kamer. Številna podjetja, ki proizvajajo krmo za ribe, dajo priporočila o pogostosti krmljenja in količini krme. Da omogočimo monitoring, si pri vsakem krmljenju zapišemo čas hranjena in količino hrane.

POSTOPEK ODPRAVLJANJA NAPAK: Če se ribam zmanjša tek, to lahko pomeni, da je treba v sistemu nekaj spremeniti, npr. poklicati veterinarja, da jih pregleda. Če se ribe zelo intenzivno hranijo, to lahko pomeni, da rib ne hranimo dovolj. V tem primeru je treba ribe pogosteje hraniti (Masser *et al.* 2000).

### Rast

Rast je pomembno merilo uspešnega gojenja rib v sistemu. Proizvajalci krme pogosto nudijo grafikone rasti, ki ocenjujejo pričakovane stopnje rasti rib pri določeni stopnji prehranjevanja.

MONITORING: Rast merimo fizično. Najprej stehtamo mrežo z ustrezno velikimi odprtinami, vanjo ujamemo ribe in jih nato stehtamo. Drug način tehtanja rib je, da ribe damo v vedra z vodo, ki jih nato postavimo na tehtnico; to je praktično, če so ribe majhne. Na ta način je možno hkrati stehtati več rib, a je pri tem treba biti previden. Ribe so pri tem postopku v stresu. Večje lahko močno udarjajo po straneh vedra in se ob tem poškodujejo. Pri merjenju dolžine rib je na splošno priporočljivo, da jih anesteziramo z ustreznim anestetikom, kot je trikain metansulfonat. V ločeni, primerno veliki posodi z vodo raztopimo ustrezno količino trikain metansulfonata. Ribe damo v vodo za toliko časa, da postanejo mehke in varne za rokovanje. Nato jih lahko postavimo na ravno površino, zmerimo z ravnilom in izpustimo. Te meritve je treba izvajati enkrat na teden in jih zabeležiti. Vsako nepričakovano spremembo velikosti in teže moramo raziskati.

### Kazalniki za oceno staleža rib

Najpomembnejša kazalca zdravih ribjih staležev sta vedenje in fizično stanje. Kar koli nenavadnega lahko označimo kot klinične znake bolezni ali stresa.
MONITORING: Običajno je treba ribe opazovati med hranjenjem in neposredno po njem, pri čemer je treba upoštevati spremembe v količini zaužite hrane. Zdrave ribe bodo pokazale naslednje vedenje (OIE 2018):

- plavajo na običajen, namenski način,
- čiste, nepoškodovane plavuti, ki se pravilno podaljšajo in uporabljajo,
- jasna, čista koža, z nepoškodovanimi luskami,
- ne dihajo na površini vode.

Nenormalno vedenje in klinični znaki težav so povsem splošni, zato ni mogoče določiti vzroka težave samo na podlagi le-teh. Pozorni moramo biti na znake vedenja in klinične znake (Bruno *et al.* 2013).
Znaki vedenja:

- spremembe hranjenja,

- omotičnost in slabotnost,
- spremembe v plavalnih vzorcih, kot so utripajoče, spiralno plavanje ali nezmožnost ohranjanja plovnosti,
- zadrževanje v bližini odprtin za vodo,
- zadrževanje na mestih, kjer se vpihuje zrak,
- dihanje blizu površine.

Klinični znaki:

- skrajšan ali razgaljen škržni poklopec,
- krvavitve,
- eksoftalmija (dvignjene, izbuljene oči),
- enoftalmija (udrte oči),
- blede, pegaste ali nekrotične škrge,
- razjede,
- bele pege,
- vneta urogenitalna odprtina.

Priporočljiv način merjenja in beleženja teh znakov je uporaba preglednic za oceno kliničnega stanja (primer je prikazan v tabeli 6). V klinični pregledni razpredelnici lahko zabeležimo zaznane klinične in vedenjske znake glede na stopnjo, npr. šibek, blag in hud.

Tabela 6: Primer klinične pregledne razpredelnice za beleženje kliničnih in vedenjskih znakov pri ribah

| | | Hudi | Blagi | Šibki | Brez znaka |
|---|---|---|---|---|---|
| **Vedenje** | Umirajoče | | | | |
| | Zaspano | | | | |
| | Navpično plavanje | | | | |
| | Spiralno plavanje | | | | |
| | Utripajoče plavanje | | | | |
| | Izguba ravnotežja | | | | |
| **Telo** | Temno | | | | |
| | Napihnjen trebuh | | | | |
| | Anoreksično | | | | |
| **Oči** | Eksoftalmične | | | | |
| | Enoftalmične | | | | |
| **Škrge** | Blede | | | | |
| | Pegaste | | | | |
| | Nekrotične | | | | |
| **Razjede** | Na boku | | | | |
| | Drugje | | | | |

## Stres

Stres je lahko za ribe v akvaponiki eden najbolj škodljivih dejavnikov. Načeloma ni tako škodljiv, da bi ribe zaradi njega poginile, vendar lahko povzroči druge dejavnike, npr. oslabitev imunskega sistema. Ribe z oslabljenim imunskim sistemom so pogosteje žrtve povzročiteljev okužb, kot so bakterije,

virusi in glive ter tudi paraziti. Oslabljen imunski sistem lahko zmanjša sposobnost rib, da se prilagodijo nenadnim spremembam v okolju, kar lahko povzroči pogin.

MONITORING: Stres je možno spremljati neposredno v organizmu, in sicer z detekcijo sproščenih stresnih hormonov, npr. kortizola, vendar pa je za to potrebna usposobljenost, da ribam z analizo ne povzročamo dodatnega stresa. Takšne meritve spadajo tudi v kategorijo eksperimentiranja na živalih in je zato treba upoštevati lokalne zakone o zaščiti živali. Najboljša vsakdanja praksa je, da preprečimo stresne situacije za ribe. To je mogoče doseči s tem, da je gostota rib v sistemu ustrezna, da ribe zadostno hranimo in da fizikalne lastnosti vode (temperatura, pH, DO itd.) vzdržujemo znotraj optimalnih vrednostih za izbrano vrsto rib. Priporočljivo je nenehno merjenje teh parametrov in tudi opazovanje rib, da ob morebitnih spremembah njihovega vedenja ali telesnega videza ustrezno ukrepamo (Rottmann *et al.* 1992; Somerville *et al.* 2014c).

### Bolezni

Bolezen je pomemben dejavnik v katerem koli sistemu, kjer se živali gojijo v večjih gostotah, kot bi jih sicer našli v naravi, in to velja tudi za akvaponski sistem. Slabe razmere, kot so nizke vsebnost DO, lahko povzročijo okužbo z oportunističnimi patogeni in bolezen.

POSTOPEK DELOVANJA: Na splošno so zaprti recirkulacijski sistemi nekoliko zaščiteni pred vnosom povzročiteljev bolezni. To je lahko dvorezen meč, saj če pride do okužbe, je le-to težko izkoreniniti; čim prej bomo težavo odkrili, tem učinkovitejše bosta zdravljenje in sanacija. V pretočnih sistemih lahko filtracija preko peščenega filtra ali obdelava vode z UV-svetlobo zmanjša verjetnost vnosa bolezni. V obeh primerih je potreben skrben in dosleden monitoring. Tudi s skrbnim preprečevanjem je včasih nemogoče bolezni zaustaviti, zato je v takih primerih najbolje to reševati s pomočjo veterinarskih nasvetov.

MONITORING: Za ustrezno spremljanje staležev je pomembno, da se izvajalci seznanijo z možnimi kliničnimi in vedenjskimi znaki rib, ki so opisani zgoraj. V sistemu z veliko gostoto rib je zelo verjetno, da bodo nekatere ribe v slabšem stanju, in čeprav to morda ni bolezensko stanje, je priporočljivo, da se izvajajo vsakodnevni pregledi vedenja rib in kliničnih znakov bolezni, morebitne spremembe pa si zabeležimo. Preverimo tudi smrtnost: mrtve ribe moramo odstraniti iz sistema na varen način. Če se pogostost kliničnih znakov ali smrtnosti povečuje, je pomembno, da najprej odkrijemo težavo in nato izvedemo sanacijske ukrepe.

POSTOPEK ODPRAVLJANJA NAPAK: Lastniki in upravljavci akvaponskih sistemov naj bi vedeli, kdaj je traba na pomoč poklicati veterinarskega specialista za zdravje rib (Martins *et al.* 2010; Somerville *et al.* 2014c).

## 9.2.5 Drugi parametri

Nestandardni parametri kakovosti vode v akvaponskem sistemu so lahko pomembni zlasti pri izbiri vira vode. Uporabimo lahko vodo iz okolja (deževnica, rečna ali jezerska voda itd.) ali komunalno obdelano vodo iz pipe. Voda se lahko razlikuje glede na vsebnost kisika, prisotnost ali odsotnost težkih kovin in drugih mikroonesnaževal, kemikalij v sledovih in razkužil, lahko je ali ni onesnažena s

koliformnimi bakterijami. Voda, ki se doda v sistem, je lahko zelo različne kakovosti, kar je odvisno od:

- lokacije izvirne vode,
- nedavnega vremena (če uporabljamo vodo iz okolja) in
- komunalnih postopkov čiščenja vode (če uporabljamo vodo iz pipe).

POSTOPKI DELOVANJA: Pri pripravi pitne vode se pogosto dodaja razkužila, kot so klor in kloramini. Ti morajo imeti rezidualni učinek, kar pomeni, da ostanejo aktivni v vodi tudi po vnosu razkužila. V akvaponskem sistemu je to lahko vprašljivo, saj je sistem močno odvisen od mikrobne skupnosti v biofiltru. Po drugi strani pa ima lahko voda, vzeta neposredno iz okolja, tudi druge negativne lastnosti: lahko je onesnažena z mikrobi, kot so koliformne bakterije, ali drugimi onesnaževali, kot so endokrini motilci in težke kovine (Godfrey 2018).

MONITORING: Nadziranje teh nestandardnih parametrov je nemogoče brez dostopa do analitičnih tehnik, kot so visoko zmogljiva tekočinska kromatografija (HPLC), induktivno sklopljena plazemska masna spektrometrija (ICP-MS) in atomska absorbcijska spektroskopija (AAS). Treba je imeti tudi opremo in materiale za mikrobiološki laboratorij, kot so inkubator, brezprašna komora, avtoklav, aparat za vakuumsko filtracijo in mikrobiološki rastni medij. Ker je ta oprema zelo draga (> 50 000 EUR), se je ob težavah z izvirno vodo najbolje posvetovati z nacionalnim laboratorijem, ki lahko opravi posebne meritve.

POSTOPEK ODPRAVLJANJA NAPAK: Da bi se izognili težavam z izvorno vodo, je najbolj ekonomično in praktično namestiti ogljikov filter, ki odstrani vse ostanke razkužil in morebitnih onesnaževal, in UV-filter, ki v izvirni vodi uniči vse neželene mikrobe.

## 9.3 Literatura


Badgery-Parker, J. 1999. Light in the greenhouse. *Agnote* DPI/254, 1-2.

Brown, J.W. 2006. *Relative Relative Humidity*. Cropking Incorporated.

Bruno, D., Noguera, P.A. & Poppe, T.T. 2013. *A Colour Atlas of Salmonid Diseases* (2nd edition) Springer Netherlands, Dordrecht.

Chen Lopez, J. 2018. *Influence of Light on Crop Growth*. Promix Training Centre.

Godfrey, M. 2018. *How to Evaluate the Quality of Your Aquaponic Source Water.* Upstart University.

Grosch, R. & Kofoet, A. 2003. Influence of temperature, pH and inoculum density on bottom rot on lettuce caused by *Rhizoctonia solani*. *Journal of Plant Diseases and Protection* 110 (4), 366-378.

Joly, A. 2018. *Aquaponics in EU – Basic regulation you need to know.* EU Aquaponics Hub.

Klinger-Bowen, R.C., Tamaru, C.S., Fox, B.K., McGovern-Hopkins, K. & Howerton, R. 2011. *Testing your Aquaponic System Water: A Comparison of Commercial Water Chemistry Methods.* Center for Tropical and Subtropical Aquaculture, Honolulu.

Leaffin 2017. *What is the Optimum Range of Temperature or Aquaponics*.

MadeCivilEasy 2016. *Measurement of Settleable Solids*.

Martins, C.I.M., Eding, E.H., Verdegem, M.C., Heinsbroek, L.T., Schneider, O., Blancheton, J.P., d'Orbcastel, E.R. & Verreth, J.A.J. 2010. New developments in recirculating aquaculture systems in Europe: A perspective on environmental sustainability. *Aquacultural Engineering* 43 (3), 83-93.

Masser, M.P., Rakocy, J. & Losordo, T.M. 2000. *Recirculating Aquaculture Tank Production Systems: Management of Recirculating Systems*. Southern Regional Aquaculture Center, SRAC Publication No. 452.

OIE 2018. *Manual of Diagnostic Tests for Aquatic Animals* (8th edition) Office International des Epizooties, World Organisation for Animal Health, Paris.

Rakocy, J.E., Masser, M.P. & Losordo, T.M. 2006. *Recirculating Aquaculture Tank Production Systems: Aquaponics — Integrating Fish and Plant Culture*. Southern Regional Aquaculture Center, SRAC Publication No. 454.

Rice E.W., Baird, R.B., Eaton, A.D. & Clesceri, L.S. 2012. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (22nd edition). American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation, Denver.

Roosta, H.R. and Hamidpour, M., 2011. Effects of foliar application of some macro-and micro-nutrients on tomato plants in aquaponic and hydroponic systems. *Scientia Horticulturae* 129 (3), 396-402.

Rottmann, R.W., Francis-Floyd, R. & Durborow, R. 1992. *The Role of Stress in Fish Disease*. Southern Regional Aquaculture Center, SRAC Publication No. 474.

Runkle, E. 2009. Tips for Using Light Sensors. *GPN Magazine* January 2009, 66.

Runkle, E. 2012. Which Light Sensor Should I Use? *GPN Magazine* September 2012, 62.

Sallenave, R. 2016. *Important Water Quality Parameters in Aquaponics Systems*. New Mexico State University Circular 680.

Sirakov, I., Lutz, M., Graber, A., Mathis, A., Staykov, Y., Smits, T.H. & Junge, R., 2016. Potential for combined biocontrol activity against fungal fish and plant pathogens by bacterial isolates from a model aquaponic system. *Water* 8 (11), 518.

Somerville, C., et al. 2014a. Water quality in aquaponics. In Somerville, C., Cohen, M., Pantanella, E., Stankus, A. & Lovatelli, A. *Small-Scale Aquaponic Food Production – Integrated Fish and Plant Farming*. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper No. 589. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, pp. 21-34.

Somerville, C. et al. 2014b. Plants in aquaponics. In Somerville, C., Cohen, M., Pantanella, E., Stankus, A. & Lovatelli, A. *Small-Scale Aquaponic Food Production – Integrated Fish and Plant Farming*. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper No. 589. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, pp. 83-102.

Somerville, C. et al. 2014c. Fish in aquaponics. In Somerville, C., Cohen, M., Pantanella, E., Stankus, A. & Lovatelli, A. *Small-Scale Aquaponic Food Production – Integrated Fish and Plant Farming*. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper No. 589. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, pp. 103-121.

Storey, A. 2016. *The True Costs of Greenhouse Humidity Control.* Upstart University.

Storey, N. 2018. *Why You Need to Be Careful About Zinc in Aquaponics*. Upstart University.

Stouvenakers, G., Massart, S. & Jijakli, H. 2018. *Suppresive effect of aquaponic water in the development of root rot caused by Pythium aphanidermatum in lettuce.* Abstract at the XV Meeting of the Working Group 'Biological and integrated control of plant pathogens': Biocontrol products: from lab testing to product development, Lleida.

Thorarinsdottir, R.I. et al. 2015. System control and optimization. In Thorainsdottir, R.I., Kledal, P.R., Gangenes Skar, S.L., Sustaeta, F., Ragnarsdottir, K.V., Mankasingh, U., Pantanella, E., van de Ven, R. & Shultz, R.C. *Aquaponics Guidelines*. EU Lifelong Learning Programme, Reykjavik, pp. 33-41.

**Andrej Ovca, Tjaša Griessler Bulc**

# 10. VARNOST HRANE

Varnosti in kakovosti hrane potrošniki pripisujejo velik pomen. Še posebej so pozorni na negativne novice o hrani, ki se v medijih velikokrat pojavljajo, zato so bolj kot kdaj koli prej zaskrbljeni glede načina pridelave varne hrane. Načela zagotavljanja varnosti hrane so povezna z ravnanjem, shranjevanjem in pripravo hrane z namenom preprečevanja bolezni. Tako tudi zagotovimo, da hrana z vidika zdrave prehrane zadrži dovolj hranilnih snovi. Varnost hrane je ***zagotovilo, da hrana ne bo škodovala zdravju potrošnika, kadar je ta pripravljena in/ali zaužita v skladu s predvideno uporabo*** (WHO & FAO 2009). Zanemarjanje načel varnosti hrane pomeni, da se bo dobra hrana pokvarila. Izogibanje preventivnim ukrepom, ki zagotavljajo varno hrano, lahko negativno vpliva na zdravje ali celo ogrozi življenje ljudi.

Kdor koli prodaja hrano, ne glede na količino, ima tako etično kot zakonsko obveznost, da zagotovi vse, kar je potrebno, da bo hrana varna za uživanje. Na vseh stopnjah živilsko-prehransko-oskrbovalne verige (*od vil do vilic*, v primeru akvaponike pa *od splava do krožnika*), vključno s pospravljanjem pridelka rastlin in ulovom rib, je treba ravnati na način, ki zagotavlja, da je hrana varna in primerna za predvideno uporabo (WHO & FAO 2009). Primarni proizvod (proizvod primarne proizvodnje oz. naravna surovina) je treba zaščititi tudi pred različnimi dejavniki tveganja. Nevarnost predstavljajo (mikro)biološki, kemijski ali fizikalni dejavniki tveganja, ki imajo lahko negativne vplive na zdravje. Na splošno ločimo štiri skupine dejavnikov tveganja, ki so povezani s hrano (tabela 1), pri čemer je največji poudarek v akvaponiki na (mikro)bioloških dejavnikih, vedno bolj pa se razvija tudi področje nadzora nad alergeni. V EU na tem področju veljajo zelo podrobne zahteve o tem, kako jih označevati. Ribe in njihovi proizvodi so le eden od 14 alergenov, ki so navedeni v Prilogi II Uredbe (EU) št. 1169/2011 o zagotavljanju informacij o živilih potrošnikom.

Tabela 1: Glavni dejavniki tveganja, povezani s pridelavo hrane v akvaponiki

| |
|---|
| (MIKRO)BIOLOŠKI |
| Patogene bakterije, virusi, ribji zajedavci, plesni, glive |
| KEMIJSKI |
| Ostanki fitofarmacevtskih sredstev, veterinarskih zdravil, čistil, čistilnih sredstev, reagentov za kontrolo posameznih parametrov, maziva |
| FIZIKALNI |
| Tujki (kovina, steklo, les, deli embalažnega materiala, prah, kamni, delci plastike ali stekla, igle itd.) |
| ALERGENI |
| Žita, ki vsebujejo gluten, raki in proizvodi iz njih, jajca in proizvodi iz njih, ribe in proizvodi iz njih, arašidi in proizvodi iz njih, zrnje soje in proizvodi iz njega, mleko in mlečni proizvodi (ki vsebujejo laktozo), oreški, in sicer mandlji (*Amygdalus communis L.*), lešniki (*Corylus avellana*), orehi (*Juglans regia*), indijski oreščki (*Anacardium occidentale*), ameriški orehi (*Carya illinoinensis* (Wangenh.) K. Koch), brazilski oreščki (Bertholletia excelsa), pistacija (*Pistacia vera*), makadamija ali orehi Queensland *(Macadamia ternifolia*) ter proizvodi iz njih, listna zelena in proizvodi iz njega, gorčično seme, sezamovo seme in proizvodi iz njega, žveplov dioksid in sulfiti, volčji bob in proizvodi iz njega, mehkužci in proizvodi iz njih.<br>**Opomba:** za izjeme glej Prilogo II Uredbe (EU) št. 1169/2011. |

Glavni cilj tega poglavja je opozoriti na dejavnike tveganja in njihovo preprečevanje oz. obvladovanje pri pridelavi hrane na prvi stopnji živilsko-prehransko-oskrbovalne verige. V okviru obvladovanja dejavnikov tveganja bosta v nadaljevanju podrobneje opisani dobra kmetijska praksa (DKP) in dobra higienska praksa (DHP). Primarni proizvod, ki ni onesnažen, manj verjetno povzroči tveganje za zdravje, ki je posledica neustreznega ravnanja v kasnejših fazah priprave hrane.

## 10.1 Zakonodaja

Cilj politike EU o varnosti hrane je zagotoviti varno in biološko polnovredno hrano pripravljeno iz zdravih živali in rastlin, hkrati pa podpirati živilsko industrijo (EC 2014). Celostna politika zagotavljanja varnosti hrane upošteva tudi dobrobit živali in zdravje rastlin. V strategijo za dobrobit živali je vključena tudi dobrobit gojenih rib, čeprav glede tega ni posebnih pravil (EC 2012). Zaradi raznolikosti pridelkov pa norme glede varnosti hrane za proizvodnjo hrane iz akvaponskih sistemov niso izrecne oz. ni posebnih predpisov EU (Joly *et al.* 2015). Glede na zakonodajo je akvaponika del kmetijstva, ribištva, varne hrane in okolja. Ker akvaponika vključuje ribe in rastline, mora upoštevati različno zakonodajo. Tako kot ribogojci tudi pridelovalci v akvaponiki uporabljajo skupni primarni vir (voda) in proizvajajo odpadno vodo, ki jo prav tako urejajo številni predpisi (Hoevenaars *et al.* 2018; Joly *et al.* 2015). Tabela 2 navaja ključne predpise EU glede zagotavljanja varnosti hrane.

Tabela 2: Ključni predpisi EU glede zagotavljanja varnosti hrane

| Uredba | Opis |
|---|---|
| Uredba (EC) 178/2002 | Splošna načela in zahteve živilske zakonodaje in varnosti hrane |
| Uredba (EC) 852/2004 | Higiena živil |
| Uredba (EC) 853/2004 | Higiena živil živalskega izvora |
| Uredba (EC) 2073/2005 | Mikrobiološka merila za živila |
| Uredba (EC) 1169/2011 | Zagotavljanje informacij o živilih potrošnikom |

## 10.2 Tveganja za varnost hrane v akvaponiki

Pomembna okoliščina zagotavljanja varnosti hrane v akvaponiki je gojenje rastlin v vodi, ki vsebuje ribje iztrebke in druge organske snovi, vključno s trdnimi ostanki rib in rastlinskih delcev. Patogene bakterije lahko v sistem vstopijo prek vode, živalskih iztrebkov, rastlinskih sadik, orodja ali ljudi. Glavni dejavnik tveganja, povezan s toplokrvnimi živalmi, je vnos bakterije *Escherichia coli*, medtem ko ptice lahko prenašajo bakterijo *Salmonella* spp. (FAO 2014). *E. coli* O157:H7, *Salmonella* spp. in *Listeria monocytogenes* so patogeni mikroorganizmi, najpogosteje povezani s hrano, ki se prideluje v recirkulacijskem sistemu in za katere je dokazano, da v teh razmerah preživijo. Fekalno onesnaženje akvaponskih sistemov je bila večinoma zaznana ob uporabi neustreznega vodnega vira in ob prisotnosti domačih ali prostoživečih živali (Fox *et al.* 2012). Kljub objavljenim raziskavam, ki kažejo na internalizacijo[2] patogenih bakterij, ki se prenašajo s hrano (*E. coli* O157:H7 in *Salmonella* spp.) v zelenjavo. Izsledki raziskave, ki so jo opravili Moriarty *et al.* (2018), ni pokazala bakterijske

[2] Bakterije vstopajo skozi naravne odprtine na rastlinski površini in/ali skozi mesta poškodbe, lahko pa vstopajo v notranja tkiva skupaj z vodo (Deering *et al.* 2012).

internalizacije. Internalizacija se lahko pojavi le v posebnih okoliščinah, kot so visoka koncentracija bakterij in poškodbe rastlin (zlasti poškodbe korenin).

Poleg tega lahko ribe neznanega porekla v sistem vnašajo viruse, ki se prenašajo s hrano (npr. *Vibrio* spp.), in ki niso pogosto povezani s sadjem in zelenjavo (Fox *et al.* 2012). Paraziti, npr. *Cryptosporidium* in *Giardia lamblia*, v sistem lahko vstopijo tudi z vodo, zato je vir vode, ki se uporablja v akvaponiki, zelo pomemben za zagotavljanje varnosti živilskih pridelkov (Ljubojević *et al.* 2017). Glavna pot bakterijskega onesnaženja pridelkov je odlaganje bakterij na površini rastlin.

Pogoji v akvaponskih sistemih (toplota, vlažnost, nizka raven kisika in veliko organskega materiala) ugodno vplivajo na patogene mikroorganizme, ki se prenašajo s hrano in ki so hkrati nevarni tudi za ribe in rastline. Prisotnost usedline naj bi bila eden od glavnih dejavnikov, ki vplivajo na obstoj patogenov v akvaponskem sistemu (Aquaponics Association 2015). Akvaponski proizvajalci zato tudi zaradi tehnoloških razlogov ne bi smeli dovoliti, da se ti pogoji vzpostavijo v njihovih sistemih. Študije kažejo, da lahko ribe, če so jim izpostavljene, za kratek čas prenašajo povzročitelje okužb s hrano. V primerih, ko so ribe v bazenu z dobrim zračenjem in je poskrbljeno za odstranjevanje trdnih snovi, je verjetnost, da bi v ribah patogeni preživeli, zelo majhna. Kadar pa so ribe v bazenu, v katerem se nabirajo usedline, zračenje pa je slabo, so patogeni v ribah prisotni dalj časa in v večjem številu (Aquaponics Association 2015).

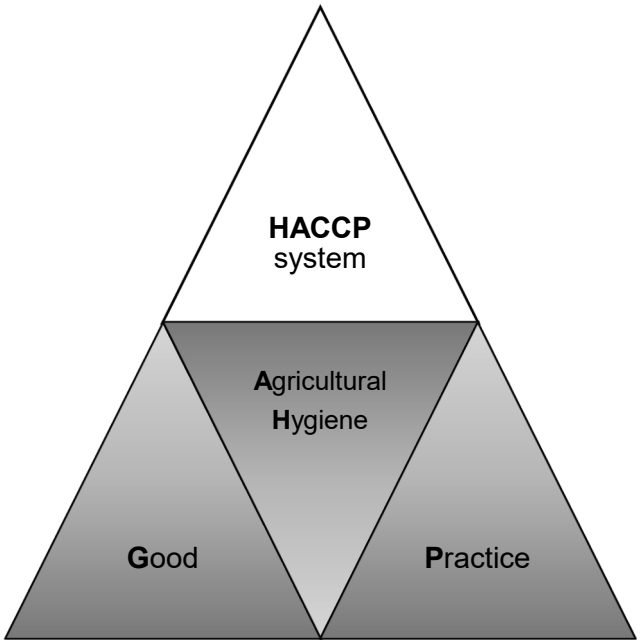
Večina rib ne predstavlja mikrobiološkega tveganja za razvoj bolezni pri človeku. Če se ribe pred uživanjem toplotno obdela, se predhodno mikrobiološko onesnaženje hitro odpravi (Lee *et al.* 2015). Posebna previdnost je potrebna pri uživanju surovih rib (npr. suši, karpačo ali ceviche). Tudi listnata in druga surova zelenjava je lahko tvegano živilo: 13,9 % izbruhov, povezanih s hrano v EU, povzročata sadje in zelenjava (EFSA & ECDC 2017). Listnata zelenjava je tvegano živilo, ker:

- jo pogosto jemo surovo,
- raste blizu površine in ker
- ima zelo veliko površino glede na maso.

Z uživanjem onesnažene listnate zelenjave lahko v telo vnesemo bistveno več patogenih mikroorganizmov kot z uživanjem katere koli druge vrste zelenjave (Aquaponics Association 2015). Zelišča, npr. bazilika ali meta, predstavljajo manjše tveganje, ker jih zaužijemo v manjših količinah v primerjavi s solato (Lee *et al.* 2015). Raziskava Barnhart *et al.* (2015) ni pokazala pomembne razlike v onesnaženju nepakirane listnate zelenjave v trgovinah z živili glede na način pridelave (akvaponika, hidroponika, pridelano na zemlji).

Skrb vzbuja tudi kemično onesnaževanje, vendar lahko nadzorovano okolje v akvaponskih sistemih bistveno bolj omeji ta vir nevarnosti v primerjavi z drugimi oblikami kmetijske pridelave. Pridelovalec v akvaponiki se mora zavedati, da lahko kateri koli kemični izdelek, ki se uporablja za rastline, vpliva tudi na ribe ter da kateri koli izdelek, ki se uporablja za ribe, lahko vpliva tudi na rastline in potrošnike. Posledice za javno zdravje zaradi onesnaženja s fizikalnimi dejavniki tveganja so v primarni pridelavi razmeroma redke.

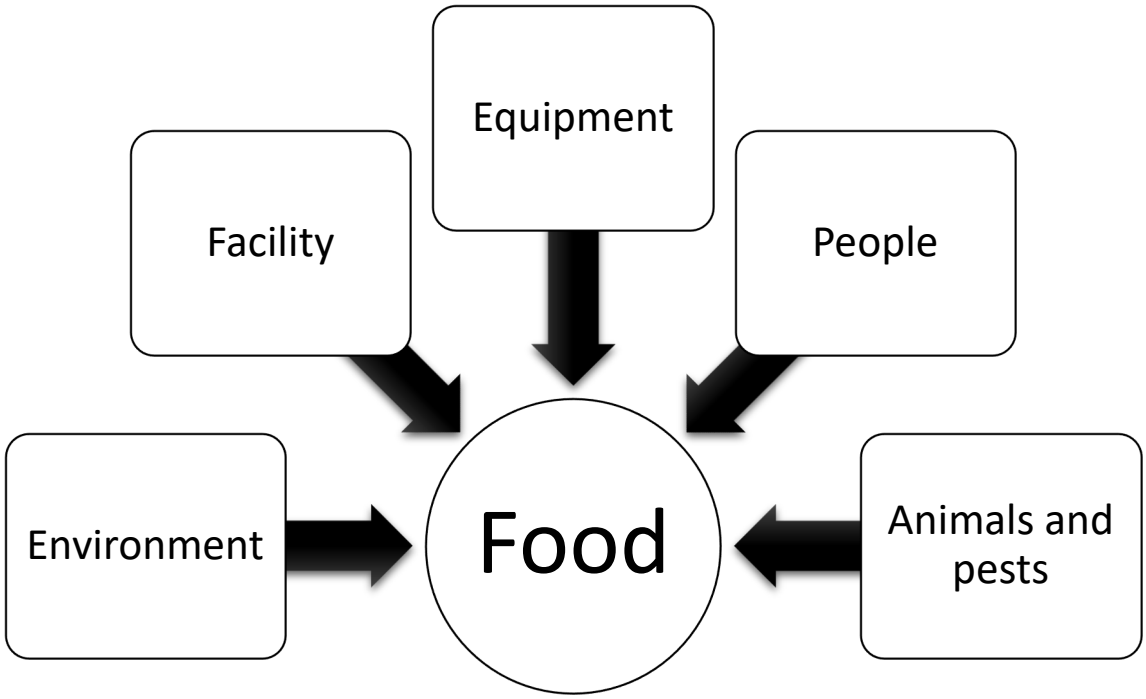
Da bi odpravili ali zmanjšali tveganja na sprejemljivo raven, morajo pridelovalci v akvaponiki izvajati preventivne ukrepe, kot sta DKP in DHP. Sistemski preventivni pristop za analizo dejavnikov tveganja in kritičnih kontrolnih točk (angl. *Hazard Analysis and Critical Control Points* – HACCP) pa se izvaja kot nadgradnja DKP in DHP (slika 1).




Slika 1: DKP in DHP kot pomembna predpogoja sistema HACCP

## 10.3 Dobra kmetijska in dobra higienska praksa

Na splošno dobra praksa pomeni zagotovilo, da so živilski proizvodi in procesi v zvezi s hrano dosledno izvedeni in nadzorovani, oz. zagotovilo kakovostne izvedbe delovnih postopkov v živilskih procesih (Raspor & Jevšnik 2008), preprosteje pa je opredeljena kot *dosledno izvajanje dela in zagotavljanje, da je res tako* (FAO 2006). DKP obsega nabor metod, s katerim lahko najbolj optimalno dosežemo cilje agronomske in okoljske trajnosti v primarni proizvodnji hrane. DHP pa obsega praktične postopke dela, ki i) proizvodno ali predelovalno okolje vedno znova vračajo v prvotno stanje (program čiščenja); ii) zagotovijo, da stavbe in oprema delujejo učinkovito (program vzdrževanja); in iii) omogočajo nadzor nad navzkrižnim onesnaženjem (običajno povezano z ljudmi, površinami in ločevanjem čistih in nečistih poti) (Raspor & Jevšnik 2008). Ob dosledni izvedbi DKP in DHP lahko v največji možni meri zmanjšamo kateri koli vir onesnaženja (slika 2).




Slika 2: Potencialni viri onesnaženja živilskih proizvodov, ki jih obravnavata DKP in DHP

### 10.3.1 Lokacija, zasnova in postavitev rastlinjaka

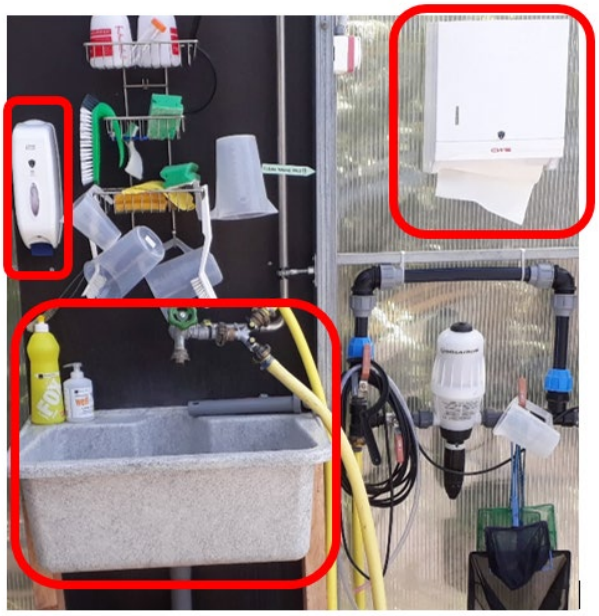
Akvaponika v večini podnebij zahteva rastlinjak. Pri odločanju o lokaciji akvaponske enote mora lastnik upoštevati nekatere dejavnike, npr. izogibanje bližini industrijskih obratov ali krajev, ki privabljajo škodljivce (npr. sežigalnice, rastline, ki sproščajo težke kovine, ceste s težkim motornim prometom, odlagališča za smeti na prostem itd.) (Copa – Cogeca 2018). Akvaponični pridelovalec mora upoštevati tudi potencialno tveganje zaradi naravnih nesreč (poplave, vročinski valovi itd.). Zrak in prah lahko delujeta kot prenašalca dejavnikov tveganja, kar je mogoče omejiti z nadzorovanim prezračevanjem. Priporoča se dodatna zaščita pred vetrom predvsem za sisteme gojenja v globoki vodi (angl. *Deep Water Culture* – DWC), saj veter povzroči nenadzorovano gibanje splavov in brizganje vode skozi luknje, kar posledično vodi v stik sistemske vode z listi rastlin (Aquaponics Association 2015). Če je v okolici akvaponske enote oz. rastlinjaka rastlinje, ga je treba redno kositi/obrezovati, da se zmanjša nevarnost zadrževanja glodavcev in drugih škodljivcev, ki bi lahko prišli v rastlinjak. Dejavnik tveganja predstavljajo tudi veliki metljaj in drugih zajedavci, ki jih prenašajo polži v akvaponskih sistemih, vendar pa so polži le vmesni gostitelj v življenjskem krogu velikega metljaja, ki potrebuje govedo, da svoj krog lahko konča. Če v neposredni bližini akvaponske enote ni goveda ali drugih prežvekovalcev, je tveganje zmanjšano ali celo odpravljeno (Aquaponics Association 2015).

Izogibati se je treba uporabi gradbenih materialov, ki so lahko potencialni vir onesnaženja (npr. barve na osnovi svinca). Ker so škodljivci lahko zelo majhni (npr. ščitkarji in resarji), jim vstop v rastlinjak preprečimo z gostimi mrežami. Te lahko zmanjšajo možnost naravnega prezračevanja, zato je priporočljiva uporaba mreže z večjo površino (npr. z uporabo mreže v obliki harmonike).

Delavcem akvaponskega sistema mora biti na voljo območje za umivanje rok. To območje je treba povezati z učinkovitim odvodnim sistemom. Umivalniki za umivanje rok (lahko tudi v bližini stranišč) morajo biti opremljeni s:

- koritom,
- tekočo pitno vodo,
- tekočim milom,
- papirnatimi brisačami za enkratno uporabo in
- pokritim zabojnikom za odpadke (glej primer na sliki 3).

Območje za pranje pridelkov po obiranju naj bo ločeno od območja za umivanje rok. Za shranjevanje osebnih predmetov mora biti na razpolago čisto namensko območje, dvignjeno od tal, npr. namenska polica (Aquaponics Association 2015).



Slika 3: Primer območja za umivanje rok na ZHAW (na fotografiji pokrit zaboj za odpadke ni viden) (foto: Andrej Ovca)

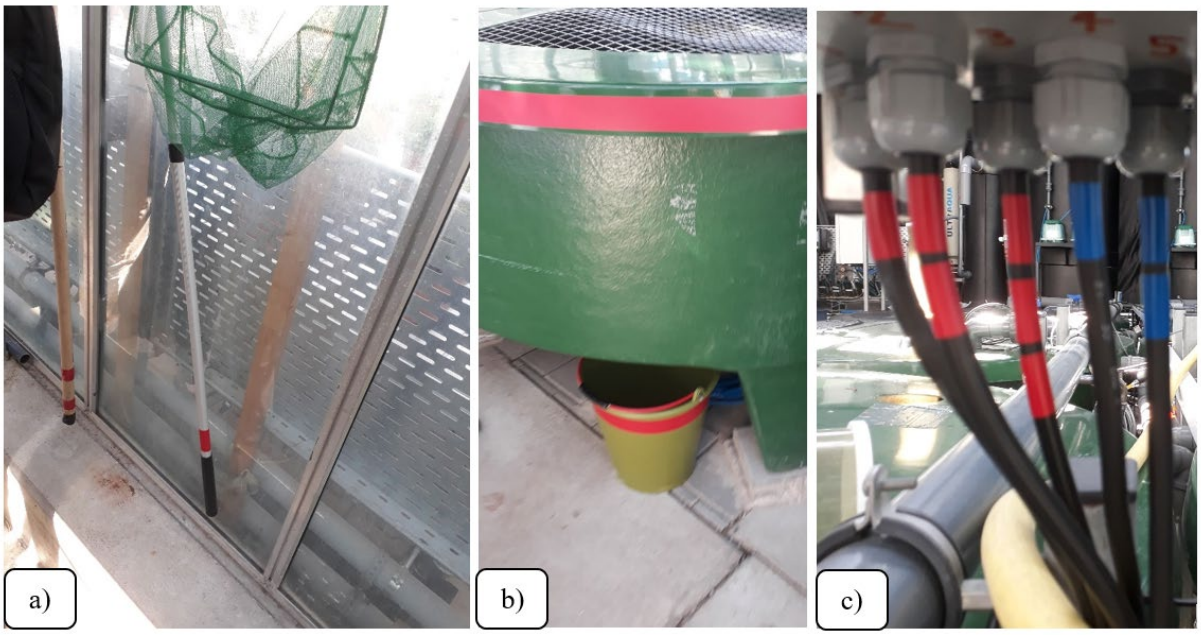
### 10.3.2 Oprema

Pridelek bo med obiranjem in predelavo v neposrednem stiku z različnimi površinami. Med temi je tudi oprema, del katere so posode za shranjevanje, posode za prevoz, noži, mize za sortiranje in pakiranje ter skladiščne površine. Oprema, s katero pride živilo v stik, mora biti:

- izdelana iz materialov, kot so nerjavno jeklo, plastika za uporabo v živilstvu, aluminij, keramika, in mora biti v dobrem stanju, da se zmanjša tveganje za onesnaženje,
- po potrebi opremljena s kontrolnimi napravami (npr. termometer v hladilniku) in
- dobro očiščena.

Kadar koli je mogoče, je treba uporabiti namensko opremo (slika 4). Oprema za ribe (mreže, zabojniki za prevoz, stroj za zakol rib) mora biti čista. Oprema se ne sme odlagati na tla (slika 4a). Vso

opremo za tehtanje je treba redno umerjati. Oprema za shranjevanje pokvarljivih živil mora biti opremljena z napravami, ki omogočajo stalno spremljanje temperature, da se zagotovi hladno verigo (Copa – Cogeca 2018).




Slika 4: Sistem barvnega označevanja, ki preprečuje navzkrižno onesnaženje na ZHAW (foto: Andrej Ovca)

### 10.3.3 Osebna higiena

Vsak, ki dela v akvaponski enoti, naj upošteva preprosto pravilo: ***bodite vedno zdravi in čisti***. Priporočljiva je tudi uporaba namenskih delovnih oblačil. Večino povzročiteljev bolezni, ki prizadenejo ljudi, lahko v akvaponski sistem vnesejo delavci ali obiskovalci. Eno največjih tveganj za varnost svežih proizvodov so ***ljudje in njihove roke***, ki so v stalnem stiku z okoljem. Bolni delavci in tisti z odprtimi ranami, urezninami, rumeno kožo ali očmi, vnetim grlom, vročino, bruhanjem ali drisko ne smejo rokovati z rastlinami, ribami ali opremo, dokler znaki bolezni niso odsotni vsaj 48 ur (Lee *et al.* 2015).

Kajenje, žvečenje žvečilnih gumijev ali prehranjevanje na delu mora biti prepovedano. Roke si je treba umivati vsakič po uporabi stranišča, stisku roke z drugimi, rokovanju z ribami, stiku rok z vodo v akvaponskem sistemu, dotikanju ust, nosu, las in seveda pred rokovanjem (obiranjem) z rastlinami. Pri umivanju rok je treba vedno uporabljati tekoče milo. Za učinkovito umivanje se priporoča posebno tehniko umivanja rok (slika 5). Roke je treba sprati s pitno vodo in posušiti s papirnatimi brisačami za enkratno uporabo.

Slika 5: Tehnika umivanja rok
(vir: WHO/http://www.who.int/gpsc/clean_hands_protection/en/)

Število osebnih predmetov (prenosni telefon, nakit, lak za nohte, podaljški las itd.), ki se lahko uporabljajo med delom, naj se čim bolj omeji, saj lahko zaidejo med pridelke. Če med ravnanjem z ribami ali delom v vodi pride do poškodbe, je treba ranjeno površino takoj sprati s čisto vodo in razkužiti. Če mora nekdo nositi obliž, mora biti le ta drugačne barve kot živilo (npr. modre), pravilno pritrjen in prekrit z rokavico.

Vstop v rastlinjak je ena pomembnejših poti vnosa dejavnikov tveganja v rastlinjak. Tveganje je mogoče zmanjšati s higienskimi ovirami, kot so območje za razkuževanje obutve in umivanje rok, če to ni mogoče, naj bo razkuževanje omogočeno na vhodu v rastlinjak (slika 6). Delavci lahko uporabljajo tudi čevlje ali škornje, ki so namenjeni zgolj delu v rastlinjaku, ali prevleko za čevlje za enkratno uporabo. To lahko uporabljajo tudi obiskovalci (Aquaponics Association 2015). Območje za razkuževanje obutve mora biti vedno vlažno in vsebovati aktivno razkužilo. Če je to območje suho, potem ni učinkovito. Razkužilo v teh območjih je treba redno menjavati.

Slika 6: Območje za razkuževanje rok in obutve na vhodu v rastlinjak na ZHAW (foto: Andrej Ovca)

### Preprečevanje navzkrižnega onesnaženja

Koncept navzkrižnega onesnaženja se običajno nanaša na preprečevanje navzkrižnega onesnaženja z mikroorganizmi, v zadnjem času pa tudi z alergeni.

**POTI NAVZKRIŽNEGA ONESNAŽENJA**

- S pridelka na pridelek
- Preko opreme in pripomočkov
- Preko oseb
- S postopki čiščenja
- Drugo (glodavci, žuželke)

Navzkrižno onesnaženje s pridelka na pridelek je v akvaponiki manj verjetno. Navzkrižno onesnaženje preko opreme je poleg učinkovitega čiščenja možno učinkovito preprečevati z barvnim označevanjem namembnosti (slika 4). Različne vrste opravil je treba izvajati ločeno, npr.: delavec, ki reže solatne glave ali sortira solatne glave v zaboje, naj izvaja samo to in naj ne premika splavov oz. izvaja drugih opravil, pri katerih bi njegovo roke prišle v stik s sistemsko vodo. Prav tako pa delavec, ki opravlja naloge, ki zahtevajo stik rok s sistemsko vodo, ne sme rokovati z rastlinami, ne da bi si najprej umil roke (Aquaponics Association 2015). Z ribami in rastlinami oz. nosilnim medijem naj se ne rokuje z golimi rokami, ampak z rokavicami za enkratno uporabo. Vendar si je treba roke pred nameščanjem in po uporabi rokavic umiti. Priporočljiva je uporaba nitrilnih rokavice za enkratno

uporabo. Gre za preprečevanje zoonoz, ki prizadenejo kožo, vključno s tistimi, ki jih povzročajo bakterijske vrste *Mycobacterium*, *Streptococcus (iniae)* in *Vibrio* spp. (Gauthier, 2015). Čeprav ima večina ljudi ustrezno naravno odpornost proti okužbam z bakterijami, kot je *Mycobacterium*, so hujše posledice pogosteje prisotne pri globokih ranah, pri visoko virulentnih sevih bakterij ter pri imunsko oslabljenih posameznikih. Te okužbe se navadno pojavijo kot posledica poškodb z bodicami rib ali zaradi onesnaženja odprtih ran.

Pomembno je preprečiti, da bi sistemska voda med obiranjem prišla v stik s pridelkom. Hrana in pijača naj ostaneta zunaj akvaponske enote. Poleg neželenih bakterij lahko zunanja hrana in pijača v sistem nehote vneseta alergene, ki lahko prav tako predstavljajo tveganje za posamezne potrošnike.

#### Usposabljanje

Delavci v akvaponiki morajo imeti ustrezne veščine in znanje glede na zahtevnost dela, ki ga opravljajo (ravnanje z živalmi/rastlinami, zdravstvena tveganja, varnost in zdravje na delovnem mestu, delovanje opreme, uporaba kemikalij itd.). Lastnik oz. odgovorna oseba mora zagotoviti, da so vsi delavci ustrezno usposobljeni.

**OBVEZNI ELEMENTI USPOSABLJANJA DELAVCEV**

- Pomen lastnega zdravja pri rokovanju z ribami, opremo in pridelki
- Pravilna tehnika umivanja rok
- Pravilna uporaba rokavic
- Uporaba delovne obleke in obutve
- Postopki prve pomoči pri urezninah in poškodbah

#### Obiskovalci

Vir vnosa škodljivcev in bolezni v akvaponski sistem so lahko tudi obiskovalci, zato je vedno treba predvidevati, da so ti »okuženi«. Obiskovalci morajo upoštevati pravila umivanje ali razkuževanja rok, preden se dotaknejo površin v rastlinjaku, ter dosledno uporabljati postaje za razkuževanje obutve in shranjevanje osebnih predmetov na mestu, ki je za to določeno. Priporočljivo je, da obiskovalce spremlja nekdo, ki nadzira izvedbo zahtevanih opravil (Aquaponics Association 2015).

### 10.3.4 Oskrba z vodo

Z vidika varnosti hrane lahko vir vode, ki se uporablja v akvaponskih sistemih, pomembno vpliva na kakovost in varnost končnih proizvodov, ne glede na to, ali gre za ribe ali rastline (Chalmers 2004).

- **Komunalna pitna voda** ima je praviloma najboljše kakovosti zaradi zahtev, ki jih mora izpolnjevati upravljavec vodovnega sistema. Ta vir je še posebej priporočljiv za recirkulacijski akvaponski sistem.
- **Podzemna voda ali voda iz vodnjakov** vsebuje manj patogenov kot površinska voda (npr. ribniki, potoki ali reke) zaradi manjše možnosti onesnaženja.
- **Površinska voda** je lahko onesnažena z iztrebki živali.
- Pomembno je, da **ne uporabljamo deževnice, zbrane s streh**, saj vodo lahko onesnažijo ptičji iztrebki. Pri uporabi deževnice je treba zagotoviti, da se ptice ne zadržujejo na območju

zbiranja vode. V nasprotnem primeru je treba razmisliti o predhodni obdelavi vode, preden se doda v akvaponski sistem.

### 10.3.5 Ribja krma

Ribja krma je poleg vode eden glavnih vnosov v akvaponski sistem. Krmo je treba kupiti pri preverjenem dobavitelju ter jo vedno hraniti na suhem in zavarovanem območju, kjer je ptice, glodavci in drugi škodljivci ne morejo onesnažiti. Onesnažena krma je ena od možnih poti vnosa patogenih bakterij, kot je *Salmonella*, v sistem (Lee *et al*. 2015). Ribjo krmo in drug vhodni material je vedno treba preveriti zaradi:

- prisotnosti škodljivcev,
- roka uporabnosti in
- stanja embalaže (nedotaknjeno/nepoškodovano).

Poleg tega je treba tudi neposredno pred krmljenjem krmo pregledati, da se prepričamo, da ni prisotna vlaga ali plesen.

### 10.3.6 Obiranje in predelava pridelka

Pridelek se lahko med obiranjem in predelavo onesnaži. Če je mogoče, se priporoča sistem pridelave »*all-in-all-out*«, pri katerem so vse ribe in rastline dodane v sistem in vzete iz njega naenkrat in hkrati, s čimer se zmanjša možnost onesnaženja. Predelava zajema preproste postopke, npr. pranje in sortiranje, obrezovanje in/ali rezanje. Za ribe je prvi korak predelave zakol. Če se načrtuje predelava pridelka in/ali rib na lokaciji, je treba zagotoviti posebno območje/prostor, ki je ločen od preostalega dela rastlinjaka in namenjen le predelavi.

#### Rastline

Ključnega pomena je preprečiti, da bi sistemska voda prišla v stik z listi rastlin. Namesto da se znašamo le na delavce, da ravnajo skladno z DHP, naj bo sistem, če je le mogoče, zasnovan tako, da fizično preprečuje stik vode z užitnimi deli rastlin (Aquaponics Association 2015). Zelenjavo (pridelano v akvaponskem sistemu ali kako drugače) je treba pred uživanjem vedno oprati (FAO 2014). Bolne rastline in kompost je treba hraniti ločeno od sistema, da se prepreči onesnaženje.

Pri sistemu s hranilnimi filmi (angl. *Nutrient Film Technique* – NFT) in gojenju v globoki vodi lahko delavci pri obiranju dosežejo celotno površino (rezanje rastlin neposredno na splavi, ki je še na vodi). S takim načinom dela zmanjšajo pljuskanje sistemske vode. Odstranjevanje splavov pred obiranjem pa predstavlja večjo nevarnost kapljanja na rastline, ki so še na splavih v vodi (Aquaponics Association 2015).

Skrbno je treba paziti na majhne polže in lazarje, ki bi lahko obtičali v rastlini. Pridelkov, ki imajo poškodbe zaradi različnih škodljivcev, se ne sme nabirati, ker praviloma vsebujejo tudi patogene. Vsak izdelek, na katerem so polži, lazarji ali njihova sluz, je treba zavreči (zbrati kot odpadek). Pridelke je treba razrezati in jih sprati v čisti in hladni pitni vodi (nikoli pa v vodi iz akvaponskega sistema) (Hollyer *et al.* 2009).

### Ribe

Bolne ali poškodovane ribe je treba predhodno identificirati in ločiti od zdravih, da se prepreči navzkrižno onesnaženje. Po zakolu je treba ribe takoj ohladiti. Temperatura rib naj čim hitreje doseže 4 °C ali manj. Temperaturo je nato treba vzdrževati ves čas shranjevanja in distribucije. Led, ki se uporablja za hlajenje proizvodov iz ribogojstva, mora biti narejen iz pitne vode. Predelava rib vključuje določena dodatna tveganja, ki jih pri rastlinski predelavi ni. Če se na kraju samem predvideva zakol in predelava rib, je treba upoštevati vse zakonske zahteve pristojnih organov.

### Shranjevanje zelenjave in rib

Če se obiranje ali izlov opravi pred prodajo, je treba zagotoviti hladno skladiščenje. Če se ribe skladišči, morajo biti skladiščene v namenskem objektu, ki ustreza minimalnim higienskim standardom za skladiščenje in predelavo rib. 4 °C je najvišja temperatura skladiščenja za sveže ribe. Skladiščenje svežih rib med –1 °C in 2 °C bo ohranilo boljšo kakovost rib in podaljšalo njihov rok uporabe. –18 °C je najnižja zahtevana temperatura skladiščenja zamrznjenih rib. Skladiščenje pri –27 °C ali hladnejši temperaturi ohranja kakovost rib 1–2 leti (CDC 2014). Temperatura mora biti vzdrževana ves čas skladiščenja. Za različne vrste izdelkov so potrebni različni temperaturni režimi. »Hladna veriga« se začne ob izlovu in konča pri potrošniku (Lee *et al.* 2015). Embalažo za živila je treba hraniti ločeno od kemikalij, čistil, razkužil in fitofarmacevtskih sredstev.

### Sledljivost

Dosledno vodenje evidenc omogoča možnost sledenja (tako za naprej kot za nazaj) vseh virov potencialnega onesnaženja. Pridelovalec v akvaponiki bi zato moral vzpostaviti sistemi vodenja evidenc, s čimer zagotovi sledljivost (Copa – Cogeca 2018).

| **EVIDENCE O PRIDELAVI RASTLIN** | **EVIDENCE O GOJENJU ŽIVALI** |
|---|---|
| • Uporaba vseh fitofarmacevtskih sredstev in biocidov (izdelek, datum uporabe, količina, način nanašanja)<br>• Vsi potrjeni primeri škodljivcev ali bolezni, ki lahko vplivajo na varnost proizvodov rastlinskega izvora (vrsta škodljivca ali bolezni, datum, sprejeti ukrepi)<br>• Rezultati analiz na vzorcih, odvzetih iz rastlin, ali na drugih vzorcih, ki so pomembni za zdravje ljudi (rezultati, vrsta vzorca, lokacija, laboratorij, datum) | • Vrsta in izvor krme (krma, količina, datum)<br>• Zdravila za uporabo v veterinarski medicini ali druga zdravljenja, ki se izvajajo na živalih (uporabljeni izdelek, datum dajanja, karenca[3])<br>• Primeri bolezni, ki lahko vplivajo na varnost proizvodov živalskega izvora (vrsta bolezni, datum, sprejeti ukrepi)<br>• Rezultati analiz, opravljenih na vzorcih, ki so bili odvzeti na živalih, ali na drugih vzorcih, odvzetih za diagnostične namene, ki so pomembni za zdravje ljudi (rezultati, vrsta vzorca, lokacija, laboratorij, datum)<br>• Poročila o pregledih na živalih ali izdelkih živalskega izvora |

Če so proizvodi prodani nosilcu živilske dejavnosti (NŽD) in/ali končnim potrošnikom, jih je treba tudi ustrezno označiti. Kadar so živila ponujena za prodajo brez predpakiranja, pripravljena za neposredno prodajo že v akvaponski enoti, so obvezni naslednji podatki:

[3] Karenca se nanaša na obdobje od zadnjega odmerka zdravila do trenutka, ko je žival ponovno primerna za prehrano ljudi.

- ime (za ribe mora biti navedeno komercialno in znanstveno ime),
- prisotni alergeni (katera koli sestavina, navedena v Prilogi II Uredbe (ES) št. 1169/2011, ki povzroča alergije ali intoleranco, se uporablja v proizvodnji in je prisotna v končnem izdelku); **opomba:** ta podatek ni potreben, če se že ime jasno nanaša na alergen, npr. ribe,
- na vseh nepredpakiranih izdelkih naj bo rok uporabe oz. datum minimalne trajnosti (»uporabno najmanj do« ali »porabiti do«),
- datum ulova/obiranja (neobvezna informacija), ki se lahko šteje za serijo ali lot; »serija« oz. »lot« sta uporabna pri sledljivosti v primeru, da je potreben odpoklic izdelka,
- za rastlinske pridelke je priporočljivo tudi navodilo potrošniku, naj pridelke opere pred uporabo (neobvezna informacija).

Obvezni informaciji za gojene ribe (ribogojstvo) sta tudi:

- način proizvodnje,
- država proizvodnje.

### Kako označiti izdelek?

- *Na izdelku.* Če je mogoče, je treba informacije podati na etiketi, pritrjeni na embalažo, ali vidno skozi embalažo.
- *Kot pisno obvestilo*. Informacije se lahko podajo kot obvestilo v neposredni bližini izdelka.

Uredba komisije (EC) št. 710/2009 (Uredba o ekološkem gojenju živali iz ribogojstva) določa podrobna pravila, ki urejajo prakse pri ribogojstvu, ki jih je mogoče označiti kot ekološke.

### Materiali za stik z živili

Materiali za stik z živili so namenjeni stiku z živili oz. se smiselno predvideva, da bodo ob običajni ali predvideni uporabi prišli v stik z živili. Primeri v akvponiki zajemajo:

- zabojnike za prevoz,
- stroje za predelavo,
- embalažne materiale,
- opremo in pripomočke.

Varnost materialov za stik z živili testirajo nosilci dejavnosti, ki materiale dajo na trg, in pristojni nadzorni organi. Vsak material ali izdelek, namenjen stiku z živili, mora biti dovolj inerten, da preprečuje prenos snovi v živilo v količinah, ki ogrožajo zdravje ljudi ali povzročijo nesprejemljivo spremembo sestave oz. poslabšanje organoleptičnih lastnosti živila. Najpogostejši materiali so:

- keramika,
- pluta,
- steklo,
- kovina in zlitine,
- papir in karton,

- regenerirana celuloza,
- guma,
- silikon,
- les.

Mednarodni simbol, ki označuje materiale, primerne za stik z živili (slika 7), zagotavlja, da na površini materiala ni zdravju škodljivih onesnaževal in da material z uporabo ne more postati vir onesnaženja.

Slika 7: Mednarodni simbol za materiale, namenjene za stik z živili
(vir: http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2004:338:0004:0017:DE:PDF)

### 10.3.7 Čiščenje in razkuževanje

Čistoča osebja, objekta in opreme je eden ključnih predpogojev za zagotavljanje varnosti hrane. Opremo in pripomočke ter kontaktne površine je treba redno čistiti.

**ZDRAVJE LJUDI**

Če ne ohranjamo čistega okolja (zlasti površin, ki pridejo v stik z rastlinami in ribami po obiranju oz. izlovu), omogočamo prodajo onesnaženih proizvodov.

**ZDRAVJE RASTLIN**

Če ne ohranjamo čistega območja za rast rastnih, omogočamo pojav rastlinskih bolezni.

**ZDRAVJE RIB**

Če ne ohranjamo čistih bazenov za ribe, omogočamo pojav bolezni rib.

**Kemikalije** za čiščenje je treba uporabiti v skladu z njihovimi navodili in jih je treba vedno hraniti zunaj območij, kjer se rokuje ali skladišči hrano oz. krmo. Kemikalije v originalni embalaži in tiste, ki se prenesejo v manjše enote, morajo biti vedno označene (čitljivo, nedvoumno, neizbrisno) z vsaj naslednjimi podatki: ime, datum, koncentracija.

Pridelovalec v akvaponiki mora poskrbeti za čiščenje **orodja** pred vsako uporabo in po njej ter zagotoviti, da se vsi pripomočki za čiščenje, kot so metle in krpe, namensko uporabljajo samo za akvaponsko enoto. Če obstaja več sistemov, je treba čistilne pripomočke (krtače, gobice, krpe itd.) ločiti za vsak sistem (slika 8a).

Slika 8: Čistilni pripomočki, barvno ločeni za vsak sistem (a) in shranjeni ločeno od akvaponskega sistema s čistili v zaprti omari (b) na ZHAW (foto: Andrej Ovca)

**POMEMBNO!**

- Prepričajte se, da uporabljate kemikalije za živilsko dejavnost.
- - Pri rokovanju z agresivnimi kemikalijami uporabite zaščito za oči in rokavice.

### Postopek čiščenja

Čiščenje površin naj obsega hidroponske kanale, bazene za ribe, površine rastlinjaka, prehodne poti itd. Priporočljivo je, da se izdela načrt čiščenja, v katerem je opredeljeno:

- kaj je treba očistiti,
- kako,
- kdaj,
- kdo čisti.

### Kaj očistiti?

Površine, ki jih je treba očistiti/čistiti, delimo na več območij (Bihn *et al.* 2014).

- Območje 1: površine, s katerimi lahko pridejo živila v neposreden stik (mize za sortiranje, stojala, pripomočki, posode za shranjevanje/skladiščenje).
- Območje 2: površine, ki niso v neposrednem stiku z živili, so pa ta v njihovi neposredni bližini (notranji in zunanji deli opreme za pranje ali predelavo, ohišja, okvirji ipd.).
- Območje 3: območja znotraj akvaponske enote, kot so zabojniki za odpadke, tla, odtoki, sanitarije, viličarji.
- Območje 4: območja zunaj akvaponske enote.

### Kako čistiti?

Postopek čiščenja je vedno treba začeti v območju 1 in končati v območju 4. Poleg tega mora čiščenje vedno potekati od zgoraj navzdol, na koncu sledi pometanje in brisanje tal.

- 1. korak: površino je treba sprati, da se odstrani vso vidno umazanijo. Pred nadaljnjim čiščenjem je treba odstraniti vso organsko snov (rastline, alge itd.).
- 2. korak: nanos detergenta/čistilnega sredstva in čiščenje.
- 3. korak: spiranje s čisto (pitno) vodo.
- 4. korak: po potrebi se uporabi ustrezno razkužilno sredstvo. Če navodilo za razkuževanje predvideva spiranje, bo za to potreben dodaten korak.
- 5. korak: površina se posuši na zraku.

Po odstranitvi rib iz sistema je treba bazene izprazniti in pravilno očistiti s pomočjo visokotlačnih sistemov. Uporaba visokotlačne enote s toplo vodo in detergentom je tudi sicer učinkovit način za čiščenje površin. Vso opremo (mreže, vedra itd.), ki so v stiku s sistemsko vodo, je treba razkužiti. **Opomba:** po pobiranju rastlin je treba splave očistiti, vendar ne razkužiti. Pustiti jih moramo, da se posušijo, s čimer preprečimo uničenje nitrificirajočih bakterij na potopljenem delu splava. Rezalne deske in nože je treba po uporabi oz. pred rezanjem izdelkov oprati z detergentom in dobro splakniti z vročo vodo. Naprave za rezanje lahko razkužujemo z belilom, alkoholom ali drugimi komercialnimi izdelki.

#### Kako razkužiti?

Pridelovalci v akvaponiki morajo slediti oznakam na razkužilnem sredstvu in uporabljati ustrezno osebno varovalno opremo. Za razkuževanje lahko uporabimo različna sredstva. Zelo učinkovita je lahko 10-odstotna raztopina belila, ki jo pustimo v stiku s površino vsaj pet minut (Moran 2013). Druge vrste izdelkov vsebujejo kvartarni amonij, ki je manj hlapen in stabilnejši kot belilo, zato se jih večinoma priporoča za razkuževanje kovinskih površin. Klorov dioksid je plin, zato lahko v rastlinjake prodre skozi špranje učinkoviteje kot tekoči proizvodi. Kis je še eno od razkužil (Godfrey 2015). Koncentrirana peroksiocetna kislina (največ 15 ml na 3 $m^3$ vode v bazenu za ribe) se lahko uporablja za razkuževanje bobnastih filtrov in tudi za odstranjevanje apnenca, ki nastane na mrežici. Paziti je treba, da kislina ne pride v biofilter in bazen za ribe naenkrat. **Pomembno:** razkuževanje naj izvaja samo ustrezno usposobljeno osebje.

#### Kako pogosto čistiti?

- Že zaradi varnosti delavcev je treba vsakodnevno odstranjevati odpadke in stoječo vodo, da ne privabljajo škodljivcev. Odstranjevanje vseh rastlinskih odpadkov, vključno s koreninami, na koncu vsakega cikla pomaga zmanjšati pojavnost škodljivcev in bolezni, ki jih ti povzročajo.
- Tla je treba očistiti enkrat na teden (pajkove mreže, krma za ribe itd.) z metlo in po potrebi (če je to glede na material tal smiselno) z mokro krpo.
- Črpalke in bobenske filtre je treba čistiti vsaj enkrat na 2 meseca.
- Enkrat ali dvakrat na leto je treba očistiti bazene za ribe, da se s sten odstranijo alge in biofilm.

### 10.3.8 Nadzor nad škodljivci in živalmi

Zatiranje škodljivcev podrobno obravnava osmo poglavje (Celostno zatiranje škodljivcev), zato tukaj obravnavamo le ključne poudarke. Škodljivci in divje živali, kot so žuželke, ptice in domače živali (psi, mačke itd.), so lahko vir onesnaženja in prenašalci nalezljivih bolezni. Pridelovalec v akvaponiki mora

sprejeti ukrepe za preprečitev pojava škodljivcev, ki bi neposredno okužili pridelke in opremo ter druge materiale, ki prihajajo v stik s pridelki (Aquaponics Association 2015). Že v okolici rastlinjaka je treba zmanjšati pojav škodljivcev, prostoživečih živali in hišnih ljubljenčkov.

Vrata rastlinjakov naj bodo večino časa zaprta, odpadki pa odstranjeni iz neposredne okolice objekta. Vzpostaviti je treba redne preglede prisotnosti škodljivcev in sprejeti korektivne ukrepe, če se škodljivce odkrije. Nepravilna ali nezakonita uporaba kemikalij za zatiranje škodljivcev lahko povzroči tvegaje za zdravje ljudi. Eden od učinkovitih ukrepov je zamreženje sistema, s katerim močno omejimo dostop toplokrvnih živali. Da se prepreči prisotnost glodavcev v rastlinjaku, naj se uporablja pasti, ki se jih nato preverja od 3- do 4-krat na teden, zlasti jeseni in pozimi, ko je možnost pojava glodavcev v rastlinjaku večja. Če se proizvode prodaja končnemu potrošniku in/ali NŽD, mora pasti namestiti registrirani izvajalec deratizacije, ki mora poskrbeti tudi za vse ujete živali. Sijalke insektomorov je treba redno preverjati.

### 10.3.9 Odpadne in nevarne snovi

Veterinarska zdravila in kemikalije (fitofarmacevtska sredstva, biocidi, čistila itd.) je treba shranjevati v skladu z navodili proizvajalca in ločeno od vseh območji, na katerih se prideluje in skladišči živila ter ravna z njimi.

Tabela 3: Ukrepi za preprečevanje tveganja zaradi veterinarskih zdravil, kemikalij, odpadkov in odpadne vode (Copa – Cogeca 2018)

| | |
|---|---|
| VETERINARSKA ZDRAVILA | • Uporabljati je treba le dovoljene izdelke in se izogibati prevelikemu odmerjanju. Vedno je treba zdraviti v skladu z navodili proizvajalca.<br>• Veterinarskih zdravil, ki jim je pretekel rok uporabnosti, se ne sme uporabljati.<br>• Po zdravljenju je treba upoštevati karenco, da se prepreči morebitna prisotnost ostankov zdravil v živilu. Živali, izlovljene v obdobju zdravljenja oz. karence, nikoli ne smejo biti namenjene prehrani ljudi. Namesto tega se jih zavrže oz. uporabi v skladu z nacionalnimi predpisi.<br>• Neporabljena zdravila in njihove posode je treba odstraniti v skladu z zahtevami, ki jih določi pristojni nacionalni organ. Treba je preprečiti, da bi zdravila zašla v okolje. |
| KEMIKALIJE | • Uporabljati je treba samo dovoljene kemikalije in upoštevati navodila proizvajalca.<br>• Po potrebi je treba upoštevati čas, ki ga določi proizvajalec, da se prepreči morebitno zastrupitev živali.<br>• Neporabljene kemikalije in njihove posode je treba odstraniti v skladu z nacionalnimi predpisi. |
| ODPADKI | • Odpadke, kot so maziva, smeti, razbito steklo, baterije itd., je treba hraniti v zaprtih zabojnikih ali posodah, brez vlage, nedostopno glodavcem in se izogibati vsem možnostim onesnaženja vode, hrane ali krme.<br>• Mrtve živali, odpadke in druge stranske proizvode, ki niso namenjeni prehrani ljudi, je treba hitro odstraniti iz akvaponske enote na način, ki preprečuje onesnaženje hrane.<br>• Zabojniki, ki jih je mogoče zapreti, morajo biti ustrezne konstrukcije, v |

| | |
|---|---|
| | dobrem stanju, enostavni za čiščenje in po potrebi za razkuževanje. |
| ODPADNA VODA | • Vodo iz rezervoarja se lahko uporablja za namakanje in gnojenje travnatih površin. Voda iz rezervoarja za ribe se ne sme spuščati neposredno v potok, kanalizacijo ali namakalni jarek, ker se lahko majhne ribe ali druge oblike vodnega življenja sprostijo v okolje. |

## 10.4 Sistem HACCP

Sistem zagotavljanja varnosti hrane, ki ga sestavljajo preventivni programi (DKP in DHP), ki jih nadgrajuje sistem HACCP, pridelovalcem v akvaponiki predstavlja načrt dela, ki omogoča zmanjšanje dejavnikov tveganja na sprejemljivo raven. Medtem ko se DKP in DHP nanašata predvsem na okolje pridelave oz. predelave, se sistem HACCP nanaša predvsem na posamezne postopke dela. Ker je treba sistem HACCP vedno prilagoditi posameznemu procesu dela, je v tabeli 4 predstavljen generični pristop. Če se izdelke prodaja končnemu potrošniku ali drugemu NŽD, mora pridelovalec v akvaponiki z vzorčenjem in analizo končnih proizvodov/izdelkov preveriti učinkovitost sistema za zagotavljanje varnosti živil. V ta namen bi morali pridelovalci v akvaponiki vsaj enkrat na leto sodelovati z akreditiranim laboratorijem, ki izvaja mikrobiološke preiskave živil, ki so namenjena končnemu potrošniku. Poleg živil je mogoče vzorčiti in analizirati tudi površine, ki so v stiku z živili. Poleg tega se priporočajo tudi kemične analize morebitnih ostankov kemikalij, ki so v uporabi med proizvodnjo.

Tabela 4: Generični pristop k oblikovanju načrta sistema HACCP

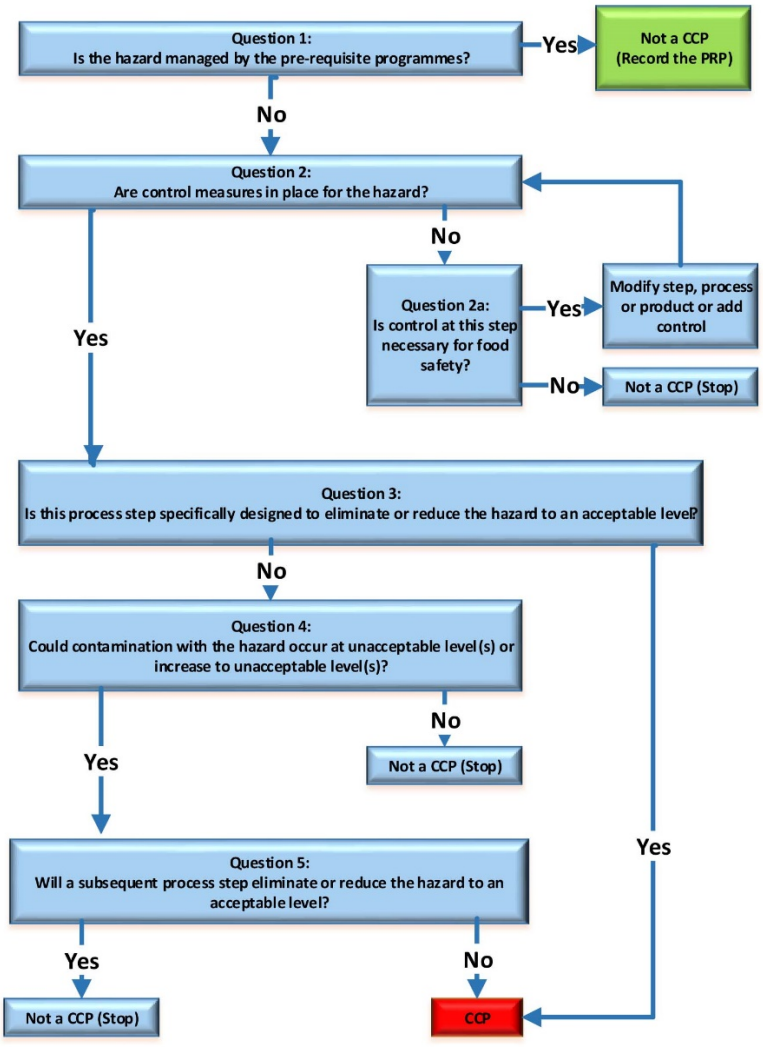
<table>
<tr><th>KORAK</th><th>OPIS</th></tr>
<tr><td>OPIS IZDELKA</td><td>Kratek opis izdelka mora vsebovati ime, potencial za podporo rasti mikroorganizmom, predvideno embalažo in nameravano uporabo, vključno s ciljnimi potrošniki. Pomembno je npr. upoštevati, ali lahko občutljivi deli prebivalstva uživajo ta izdelek (tj. starejši, imunsko oslabljeni, nosečnice in dojenčki).</td></tr>
<tr><td>SHEMATSKI PRIKAZ PROCESA</td><td>Lažje je določiti poti potencialnega onesnaženja in predvideti ukrepe, če je izdelan shematski prikaz procesa. Podroben pregled procesa od točke, ko materiali vstopajo v sistem preko vseh aktivnosti, do predelave je ena od značilnosti, zaradi katere je sistem za zagotavljaje varnosti hrane pomemben pripomoček za prepoznavanje in obvladovanje različnih dejavnikov tveganja. Diagram poteka procesa pomaga prepoznati ključne korake procesa. Vsak korak je treba podrobno preučiti.</td></tr>
<tr><td>ANALIZA DEJAVNIKOV TVEGANJA</td><td>Po opredelitvi vseh možnih dejavnikov tveganja je treba tveganje na vsaki fazi delovnega procesa oceniti z upoštevanjem verjetnosti pojava in resnostjo posledic. Pri tem lahko uporabimo spodnji model:
<table>
<tr><th>Verjetnost<br>Resnost</th><th>A<br>Pogosto</th><th>B<br>Znano, da se pojavijo (objavljeno)</th><th>C<br>Se lahko pojavijo</th><th>D<br>Ne pričakujemo, da se zgodi</th><th>E<br>Praktično nemogoče, da se zgodi</th></tr>
<tr><td>(1) Smrt</td><td>1</td><td>2</td><td>4</td><td>7</td><td>11</td></tr>
<tr><td>(2) Resna bolezen</td><td>3</td><td>5</td><td>8</td><td>12</td><td>16</td></tr>
<tr><td>(3) Odpoklic izdelka</td><td>6</td><td>9</td><td>13</td><td>17</td><td>20</td></tr>
</table>
</td></tr>
</table>

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | (4) Pritožba stranke | **10** | **14** | **18** | **21** | **23** |
| | (5) Nepomembno | **15** | **19** | **22** | **24** | **25** |

Ocena tveganja temelji na kombinaciji izkušenj in informacij iz literature. Ugotovljena tveganja morda že obvladujemo z DKP in DHP.

KRITIČNE KONTROLNE TOČKE (KKT)

Kritična kontrolna točka (KKT) je »*faza, na kateri se lahko izvaja nadzor in je bistvenega pomena za preprečevanje, zmanjšanje na sprejemljivo raven ali odpravo tveganja*«. Določitev KKT je mogoče izvesti z uporabo drevesa odločanja (glej spodaj), ki kaže logičen pristop. Uporaba drevesa odločanja mora biti prilagodljiva glede na tip delovnega procesa, ki se analizira. Pomembno je poudariti, da če tveganje že obvladujemo s predhodno vzpostavljenimi programi (DKP/DHP), potem faza procesa ni obravnavana kot KKT.




KRITIČNE MEJNE VREDNOSTI

Za vsak KKT, določen v prejšnjem koraku (če obstaja, sicer se ustavimo pri prejšnjem koraku), je treba določiti tudi kritične mejne vrednosti. To so merila, ki ločujejo sprejemljivo od nesprejemljivega glede varnosti končnega izdelka. Kritične mejne vrednosti se lahko določijo za parametre, kot so temperatura, čas (minimalna časovna izpostavljenost), raven vlage itd. Kritične mejne vrednosti morajo ustrezati zahtevam predpisov (če obstajajo) in/ali internih standardov. Ključnega pomena je, da oseba, odgovorna za določitev kritičnih mejnih vrednosti, pozna proces in standarde za posamezen izdelek. Viri informacij so lahko:

- znanstvene raziskave,

| | |
|---|---|
| | • zakonodajne zahteve in smernice,<br>• lastne eksperimentalne študije.<br><br>Če informacije, potrebne za določitev kritičnih mejnih vrednosti, niso na voljo, je treba izbrati konservativno vrednost. Ko so kritične mejne vrednosti določene, jih je treba redno spremljati. |
| MONITORING | Monitoring je »*izvajanje načrtovanega zaporedja opazovanj ali meritev nazornih parametrov z namenom ugotoviti, ali je KKT pod nadzorom*«. Gre za načrtovane meritve ali opazovanje KKT glede na kritične mejne vrednosti. Postopki spremljanja morajo zaznati izgubo nadzora na KKT. Opisani postopek spremljanja za vsak KKT mora vsebovati naslednje informacije:<br><br>• kaj se bo spremljalo,<br>• kako se bo spremljalo,<br>• kako pogostost se bo spremljalo,<br>• kdo bo spremljal. |
| POPRAVNI UKREPI | Popravni ukrepi so »*vsi ukrepi, ki jih je treba izvesti, kadar rezultati spremljanja KKT kažejo izgubo nadzora*«. Raznolikost možnih odstopanj na vsakem KKT pomeni, da bo treba predvideti več kot en popravni ukrep. Če pride do odstopanja, ga bomo najverjetneje opazili med rutinskim spremljanjem KKT. Na vsakem KKT je treba zabeležiti odstopanja. S popravnimi ukrepi je treba ugotoviti tudi vzrok odstopanja in preprečiti ponovitev ter preveriti, ali so sprejeti ukrepi učinkoviti. Če popravni ukrepi ne obravnavajo vzroka za odstopanje, se odstopanje lahko ponovi. |
| DOKUMENTACIJA | Evidence so bistvene za pregled skladnosti sistema HACCP z načrtom. Evidence prikazujejo zgodovino poteka delovnega procesa, spremljanje, odstopanja in izvedene popravne ukrepe. Lahko so v kakršni koli obliki, npr. pisni zapis, računalniški zapis. Del sistema HACCP so tudi evidence. Treba je voditi tri vrste evidenc.<br><br>• Podporna dokumentacija za vzpostavitev načrta sistema HACCP (npr. opis izdelka, diagram procesa, analiza dejavnikov tveganja, ugotavljanje KKT).<br>• Zapisi, ki so posledica uporabe sistema HACCP (evidence za vse KKT, odstopanja in popravni ukrepi).<br>• Dokumentiranje uporabljenih metod in postopkov. |

## 10.5 Literatura


Aquaponics Association 2015. *Provisional GAPs for leafy greens and fruiting crops in commercial aquaponics*.

Barnhart, C., Hayes, L. & Ringle, D. 2015. *Food Safety Hazards Associated with Smooth-Textured Leafy Greens Produced in Aquaponic, Hydroponic, and Soil-based Systems with and without Roots in Retail.* Minneapolis: University of Minnesota Aquaponics.

Bihn, E.A., Schermann, M.A., Wszelaki, A.L., Wall, G.L., & Amundson, S.K. 2014. *On-Farm Decision Tree Project: Sanitation and Postharvest Handling*. National Good Agricultural Practices Programme, Cornell College of Agriculture and Life Sciences.

CDC 2014. *Fish Cooking and Storage Temperatures*. BC Centre for Disease Control, British Columbia.

Chalmers, G.A. 2004. *Aquaponics and Food Safety*.

Copa – Cogeca 2018. *EU Guide to Good Hygiene Practice (GGHP) for the primary production of foodstuffs*. Copa – Cogeca European Farmers European Agri-Cooperatives, Brussels.

Deering, A.J., Mauer, L.J. & Pruitt, R.E. 2012. Internalization of E. coli O157:H7 and Salmonella spp. in plants: A review. *Food Research International* 45 (2), 567-575.

EC 2012. *The Common Agricultural Policy - A story to be continued*. Publications Office of the European Union, Luxembourg.

EC 2014. *Food Safety*. European Commission, Brussels.

EFSA & ECDC 2017. The European Union summary report on trends and sources of zoonoses, zoonotic agents and food-borne outbreaks in 2016. *EFSA Journal* 15 (12), 5077.

FAO 2006. Glossary. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.

FAO 2014. *Small-scale Aquaponics Food Production: Integrated Fish and Plant Farming*. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper 589. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.

Fox, B.K., Tamaru, C.S., Hollyer, J., Castro, L.F., Fonseca, J.M., Jay-Russell, M. & Low, T. 2012. *A Preliminary Study of Microbial Water Quality Related to Food Safety in Recirculating Aquaponic Fish and Vegetable Production Systems.* Food Safety and Technology 51. University of Hawai'i at Mānoa, College of Tropical Agriculture and Human Resources.

Gauthier, D.T. 2015. Bacterial zoonoses of fishes: A review and appraisal of evidence for linkages between fish and human infections. *The Veterinary Journal* 203 (21), 27-35.

Godfrey, M. 2015. *How to Sanitize and Sterilize Hydroponic Systems*. Upstart University.

Hoevenaars, K., Junge, R., Bardocz, T. & Leskovec, M. 2018. EU policies: New opportunities for aquaponics. *Ecocycles* 4 (1), 10-15.

Hollyer, J., Tamaru, C., Riggs, A., Klinger-Bowen, R., Howerton, R., Okimoto, D., Castro, L., Ron, T., Fox, B.K., Troegner, V. & Martinez, G. 2009. *On-Farm Food Safety: Aquaponics*. Food Safety and Technology 38. University of Hawai'i at Mānoa, College of Tropical Agriculture and Human Resources.

Joly, A., Junge, R. & Bardocz, T. 2015. Aquaponics business in Europe: some legal obstacles and solutions. *Ecocycles* 1 (2), 3-5.

Lee, J., Phelps, N., Driessen, S., Schermann, M. & Waters, K. 2015. *Keeping Aquaponics Products Safe*. University of Minnesota.

Ljubojević, D., Pelić, M., Radosavljević, V. & Ćirković, M. 2017. Food safety hazards related to fish produced in aquaponics. Conference paper, Aquaculture Europe 2017, Dubrovnik, Croatia.

Moran, N. 2013. Keep it clean. *Greenhouse Management* November 2013.

Moriarty, M.J., Semmens, K., Bissonnette, G.K. & Jaczynski, J. 2018. Inactivation with UV-radiation and internalization assessment of coliforms and *Escherichia coli* in aquaponically grown lettuce. LWT - *Food Science and Technology* 89, 624–630.

Raspor, P. & Jevšnik, M. 2008. Good nutritional practice from producer to consumer. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 48 (3), 276-292.

WHO & FAO 2009. *Food Hygiene: Basic Texts* (4th edition) World Health Organization / Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.

**Darja Istenič, Tjaša Griessler Bulc, Sarah Milliken, Morris Villarroel**

# 11. ZNANSTVENE METODE RAZISKOVANJA

## 11.1 Kaj je znanost, kaj je raziskava? Osnovni pojmi

### 11.1.1 Splošne definicije

#### Znanost

Beseda »znanost« izvira iz latinske besede *scientia*, kar pomeni 'znanje'. Znanost se nanaša na sistematično in organizirano znanje na katerem koli področju raziskovanja, ki je bilo pridobljeno z »znanstveno metodo«. Znanstvena metoda je najboljša metoda, ki jo imamo, za pridobivanje zanesljivih podatkov o svetu, ki pomaga razložiti in napovedati različne pojave. Znanost temelji na opaženih in merljivih stvareh/pojavih, vendar pa absolutne znanstvene resnice ni; gre le za to, da je za neko védenje manj verjetnosti, da je napačno, kot za druga védenja (Nayak & Singh 2015). Izjave, na podlagi znanstvenih raziskav, morajo biti preverljive, raziskave same po sebi pa morajo biti ponovljive (dober znanstveni prispevek je tisti, ki omogoča ponovitev metode).

#### Raziskava

Raziskave so opredeljene kot znanstveno in sistematično iskanje ustreznih informacij o določenem vprašanju. V tem primeru se izraz »raziskava« nanaša na sistematično metodo, ki vključuje artikulacijo problema, oblikovanje hipoteze, zbiranje dejstev ali podatkov, njihovo analizo in pripravo določenih zaključkov bodisi kot rešitev oz. rešitve preiskovanega problema ali kot posplošitve za nekatere teoretične formulacije. Raziskave imenujemo »znanstvene raziskave«, če prispevajo k zbirki znanosti in sledijo znanstveni metodi.

Na splošno lahko raziskave razdelimo v dve skupini.

- *Osnovne ali bazične raziskave*: glavni cilj je pridobiti organizirano znanstveno znanje in ne nujno ustvarjati rezultatov z neposrednim praktičnim učinkom. Osnovne raziskave so temeljne lastnosti predmetov, njihov odnos in védenje, ki vključuje teoretične in eksperimentalne raziskave.
- *Uporabne ali aplikativne raziskave*: glavni cilj je reševanje praktičnih problemov, cilj prispevanja k zbirki znanstvenih spoznanj pa je drugotnega pomena. Uporabne raziskave so osredotočene na uporabnost predmetov in njihovo obnašanje ter izboljšave tehnologije.

### 11.1.2 Raziskovalni besednjak

#### Spremenljivke in merske lestvice

**Spremenljivka** je merljiva značilnost abstraktnega konstrukta. Spremenljivka je nekaj, kar ima lahko več kot eno vrednost in se lahko giblje od negativne do pozitivne, od nizke do visoke itd. Je nasprotje od konstante. Vrednosti spremenljivke so lahko besede (npr. spol) ali številke (npr. temperatura). Konstruktov samih ni mogoče neposredno izmeriti, zato morajo znanstveniki najti nadomestne ukrepe, imenovane spremenljivke. Kakovost vode se npr. pogosto meri kot koncentracija nitrata in ortofosfata ter kot kemijska potreba po kisiku, kar so različni parametri, pridobljeni z analiznimi

laboratorijskimi postopki, opravljenimi na vzorcu vode. V tem primeru je kakovost vode konstrukt, koncentracije nitratov in ortofosfatov ter kemijska potreba po kisiku pa so spremenljivke, ki jih merimo.

Spremenljivke, ki opisujejo druge spremenljivke, se imenujejo **neodvisne spremenljivke**, medtem ko so spremenljivke, ki jih opisujejo druge spremenljivke, **odvisne spremenljivke**. V raziskovalnem poskusu so lahko tudi druge spremenljivke, ki niso pomembne za preučevanje izbrane odvisne spremenljivke, vendar bi lahko nanjo vplivale. Te spremenljivke je treba nadzorovati skozi ves poskus; imenujemo jih **kontrolne spremenljivke** (npr. pH in koncentracija kisika v primeru kakovosti vode). V raziskavi želimo izbrati določene spremenljivke in iskati odnose med njimi; poleg tega želimo razumeti, ali in kako variacija ene spremenljivke vpliva na variacijo v drugi.

Različne spremenljivke imajo različne **merske lestvice** v naraščajočem vrstnem redu: nominalna, ordinalna, intervalna in razmernostna. Za raziskave je pomembno, da vedno izbiramo spremenljivke z najvišjo stopnjo merjenja (Nayak & Singh 2015).

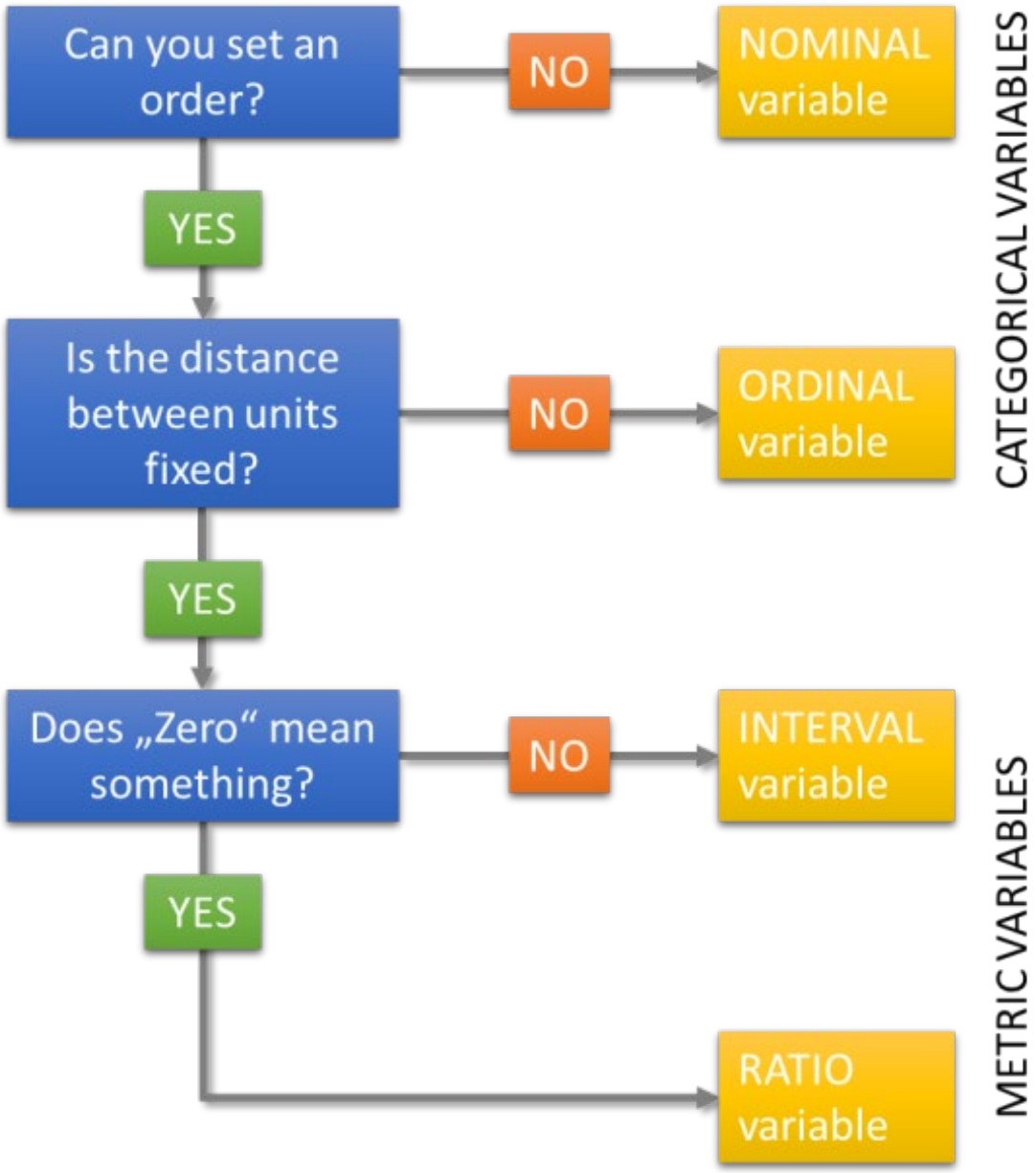
- **Nominalna (nazivna) merska lestvica:** vrednosti na tej ravni vključujejo seznam imen/besed. Poimenovanje vrednosti je kvalitativna meritev (npr. spol, barva). Možno je tudi nadomestiti imena vrednosti s številkami (npr. 1 za moški in 2 za ženski spol); vendar v tem primeru številke pomenijo samo drugačno ime in ne naredijo spremenljivke kvantitativne. Če značilnostim dodelimo številke, olajšamo statistične analize kvalitativnih podatkov. Statistična analiza sredine (»povprečja«) nominalnih meritev je modus; aritmetične sredine ali mediane ni mogoče določiti (ni mogoče izračunati povprečnega spola ali barve). Ustrezne statistične analize so hi-kvadrat in frekvenčna porazdelitev ter transformacija ena na ena (enakost) (npr. 1 = zelena, 2 = rumena, 3 = rdeča).

- **Ordinalna merska lestvica:** vrednosti na tej ravni je mogoče razvrstiti po velikosti/jakosti. Vse spremenljivke, merjene kot visoke, srednje ali nizke (npr. družbenoekonomski razred) oz. kot lestvice mnenj (močno se strinjam/se strinjam/niti – niti/se ne strinjam/se močno ne strinjam), so ordinalne (vrstne). Ordinalne lestvice zagotavljajo podatke o manj in več, npr. »močno se strinjam« je več kot »strinjam se«; vendar nam ordinalne spremenljivke ne povedo, koliko več. Sredino ordinalne lestvice je mogoče opredeliti kot mediano ali modus, medtem ko aritmetične sredine ni mogoče izračunati. Ustrezne statistične analize so percentili in neparametrične analize ter monotonično naraščajoča transformacija (ki ohranja razvrstitev); kljub temu pa bolj sofisticirane analize, kot so korelacija, regresija in analiza variance, niso primerne.

- **Intervalna merska lestvica:** vrednosti v tej lestvici imajo vse lastnosti nominalnih in ordinalnih spremenljivk; poleg tega imajo pomen tudi razdalje med posameznimi opazovanji. Intervalna lestvica je **kvantitativna**. Izmerjene vrednosti niso razvrščene samo po velikosti, ampak je razdalja med sosednjimi atributi na lestvici vedno enaka; npr. temperaturna lestvica po Celziju, kjer je razlika med 30 in 40 stopinj enaka tisti med 80 in 90 stopinj. Intervalna lestvica nam omogoča, da opišemo, koliko več ali koliko manj je ena meritev v primerjavi z drugo, kar pa ne

velja za nominalno ali ordinalno lestvico. Izračuni sredine so lahko aritmetična sredina, mediana ali modus. Možni so tudi izračuni disperzije, kot so razpon in standardni odmik. Ustrezne statistične analize vključujejo vse metode, primerne za nazivno in ordinalno lestvico, ter korelacijo, regresijo in analizo variacije. Preoblikovanje lestvice mora biti pozitivno linearno.

- **Razmernostna merska lestvica:** poleg enakih intervalov med opazovanji ima lahko posamezno opazovanje tudi vrednost 0, kar pomeni, da pojava ni bilo. Razmernostne lestvice imajo vse značilnosti nominalne, ordinalne in intervalne lestvice, pa tudi točko »prave ničle«. Večina meritev v naravoslovju in tehniki, kot so masa, prostornina, koncentracije spojin in električni naboj, spada v razmernostno lestvico. Primerne so vse statistične metode in transformacije.




Slika 1: Ravni meritev

### Veljavnost, zanesljivost, natančnost in točnost

**Veljavnost** je kakovost biti pravno ali uradno zavezujoč ali sprejemljiv. Veljavnost instrumentov, podatkov in ugotovitev je najpomembnejša zahteva v raziskavah. Nanaša se na njihovo natančnost in zanesljivost. Veljavnost podatkov je odvisna od veljavnosti instrumentov; če so instrumenti in podatki veljavni, je mogoče še vedno podvomiti o veljavnosti ugotovitev in zaključkov (Nayak & Singh 2015).

**Zanesljivost** je kakovost dobrega konsistentnega delovanja. Zanesljivost kaže, ali je mogoče doseči enak rezultat z instrumentom za merjenje neke spremenljivke več kot enkrat. Instrumenti so lahko laboratorijske naprave in tehtnice, lahko pa gre za vprašanja skupini ljudi.

**Točnost** se nanaša na število decimalk v numeričnem rezultatu meritve.

**Natančnost** je stopnja, do katere rezultat meritve, izračuna ali specifikacije ustreza pravilni vrednosti ali standardu. Natančnost se nanaša na stopnjo natančnosti lestvice.

## 11.2 Osnove metodologije znanstvenega raziskovanja

Metodologija raziskovanja je disciplina znanstvenih postopkov. Vključuje teorijo, analizo in smernice, kako naj raziskava poteka, kako naj se raziskava izvede in načela, postopke in prakse, ki raziskavo usmerja. Metodologija raziskovanja je poseben nabor postopkov ali tehnik, ki se uporabljajo za prepoznavanje, izbiranje, obdelavo in analizo informacij o neki temi. Ker se metodologija med različnimi strokami lahko razlikuje, je na voljo več različnih metodologij raziskovanja, ki morda niso primerne za vsa raziskovalna vprašanja (Nayak and Singh 2015). Metodologije ne smemo zamenjati z znanstvenimi metodami, ki pomenijo načine ali tehnike zbiranja informacij/rezultatov. Znanstvene metode opisujejo način pridobivanja znanstvenih spoznanj. Poglavje o materialih in metodah v raziskovalnih člankih bralcu omogoča, da kritično oceni splošno veljavnost in zanesljivost študije, saj navaja, kako so bili podatki zbrani ali ustvarjeni in kako so bili analizirani. Sledi primer metodologije raziskovanja.

1. Opazovanje in zanimanje: izbor in opredelitev raziskovalnega problema
2. Pregled povezane literature
3. Oblikovanje hipoteze
4. Priprava zasnove raziskave, vključno z načrtom vzorčenja in izbiro orodij za zbiranje podatkov
5. Izvedba raziskovalnega načrta: zbiranje podatkov
6. Obdelava podatkov
7. Poročilo, vključno s potrditvijo ali zavrnitvijo hipoteze

### 11.2.1 Zasnova raziskav

Zasnova raziskave je zapis empiričnih raziskav, ki vključuje načrtovanje, organizacijo in usmerjanje raziskave, vključno z opredelitvijo raziskovalnega problema, raziskovalnih vprašanj in ciljev. V njej je opisano, kako se bo izvajala raziskovalna študija, zato vključuje temeljit načrt za zbiranje podatkov, opredelitev uporabljenih instrumentov in postopke za vzorčenje in spremljanje, da bi rešili konkretna raziskovalna vprašanja ali preizkusili določeno hipotezo. Zasnove raziskav lahko združimo v dve kategoriji:

- zasnova anketne raziskave,
- zasnova eksperimentalne raziskave.

#### Zasnova anketne raziskave

Ankete se uporabljajo predvsem v družboslovju. V anketah se podatki zbirajo iz vnaprej določene testne skupine, da se dobijo informacije in razumevanja o različnih temah. Glede na njihov namen obstajajo tri različne vrste anketiranj: poizvedovalne, opisne in pojasnjevalne študije (Nayak & Singh 2015).

**Poizvedovalna študija** ali raziskava se običajno začne s pregledom razpoložljivih podatkov ali kvalitativnih metod, kot so neuradne razprave, poglobljeni intervjuji, fokusne skupine in študije primerov; zato so zbrani podatki kvalitativni. Podatki se nato količinsko ovrednotijo in naredijo predpostavke. Poizvedovalnih raziskav ni mogoče posplošiti na celotno populacijo. Rezultati poizvedovalne raziskave ne morejo priti do trdnih zaključkov, vendar lahko omogočijo pomembno razumevanje dane situacije. Namen poizvedovalne študije je opredelitev problema za natančnejšo preiskavo ali oblikovanje hipoteze. Poizvedovalne raziskave torej nimajo hipotez; uporabljajo se, kadar je o nekem pojavu malo znanega in ga prejšnjim teorijam ni uspelo pojasniti.

**Opisna študija** kar najnatančneje opisuje povezavo med značilnostmi populacije in preučevanim pojavom. Ne more opisati, kaj je povzročilo situacijo, le kakšne so njene značilnosti. Opisno študijo ponavadi opravimo po poizvedovalni študiji in pred pojasnjevalno študijo, zato jo uporabljamo, kadar je o nekem pojavu že nekaj znanja, vendar o njem želimo vedeti več. Opisne raziskave imajo torej hipoteze.

**Pojasnjevalna študija:** ko je opis znanega pojava dovolj znan, se raziskave nadaljujejo z odkrivanjem vzrokov in razlogov zanj. Cilj pojasnjevalnih raziskav je razložiti »zakaj«. Presega le opis težave in značilnosti pojava ter se usmerja v razlago vzrokov in posledic.

#### Zasnova eksperimentalne raziskave

V naravoslovni znanosti najpogosteje uporabljamo eksperimentalne raziskave. Gre za pravi **eksperiment**, v katerem raziskovalec manipulira z eno spremenljivko in nadzoruje druge spremenljivke. Eksperimentalne raziskave zagotavljajo dokaze, ki prispevajo k večji veljavnosti raziskave. Vedno vključujejo kontrolno in preskusno skupino, v kateri se z izbrano spremenljivko manipulira (samo ena naenkrat), medtem ko se nadzirajo zunanje spremenljivke. Eksperimentalne

raziskave preizkušajo vzročno hipotezo, ki se nanaša na vzročno zvezo med dvema spremenljivkama, kjer spremenljivka X (vzrok) določa spremenljivko Y (učinek). Namen eksperimentalnih raziskav je preučiti vzročno-posledična razmerja (hipoteze) v strogo nadzorovanih pogojih, tako da ločimo vzrok od učinka, pri čemer eno skupino izpostavimo vzroku (testna skupina), medtem ko druge skupine ne izpostavimo (kontrolna skupina), ter opazujemo, kako se učinki med tema dvema skupinama razlikujejo. Glavna prednost eksperimentalnih raziskav je trdna veljavnost, ki jo dosežemo z izolacijo, nadzorom in intenzivnim pregledovanjem majhnega števila spremenljivk, medtem ko je glavna slabost omejeno posploševanje navzven, saj so situacije v resničnem življenju pogosto bolj zapletene in lahko vključujejo več zunanjih spremenljivk kot v umetnih laboratorijskih ali terenskih pogojih. Poleg tega mora raziskovalec identificirati vse ustrezne zunanje spremenljivke in jih nadzirati, sicer se lahko zmanjša njihova veljavnost in pojavijo napačne korelacije. Poskusi se lahko izvajajo v laboratoriju ali na terenu. Oba načina imata prednosti in slabosti. Laboratorijski poskusi omogočajo izolacijo ciljnih spremenljivk in nadzor nad drugimi spremenljivkami, kar morda ne bi bilo mogoče pri poskusih na terenu. Zaradi tega imajo ekstrapolacije, narejene iz laboratorijskih poskusov, ponavadi močnejšo notranjo veljavnost, medtem ko imajo terenski eksperimenti močnejšo zunanjo veljavnost. Eksperimentalni podatki se obdelujejo s kvantitativnimi statističnimi metodami (Nayak & Singh 2015).

### 11.2.2 Predhodni koraki

#### Opredelitev problema

Prvi in najpomembnejši korak pri oblikovanju raziskav je opredelitev problema. Problem je treba prepoznati in raziskati. Problema ni mogoče uspešno razložiti, če raziskovalec nima ustreznega znanja in razumevanja specifičnih vsebin, ki povzročajo ali ustvarjajo ta problem. Pri opredelitvi problema je treba upoštevati nekaj glavnih korakov (povzeto po Nayak and Singh 2015):

1. določimo raziskovalno področje,
2. raziskovalno področje mora biti dobro znano raziskovalcu, ki izvaja raziskavo (specialist na tem področju),
3. pregledamo prejšnje raziskave na tem področju, da se seznanimo z nedavnimi ugotovitvami,
4. na podlagi tega pregleda določimo tematiko študije,
5. določimo problem na splošno,
6. določimo posebnost problema, ki ga je treba preučiti, in oblikujmo opredelitev problema.

Opredelitev problema je povzetek oblikovanja problema, pomembna je za nadaljnje načrtovanje raziskav. Dobra opredelitev problema se osredotoča na razmerje med dvema ali več spremenljivkami, jasno in nazorno je navedena v vprašalni obliki, mogoče jo je preizkusiti empirično in ni moralno ali etično vprašljiva.

## Pregled literature

Po opredelitvi problema je treba izvesti sistematično in podrobno iskanje vseh vrst znanstvene in strokovne literature, ki se nanaša na raziskovalno tematiko, da naberemo kakovostne referenc. Večina referenc naj bi izvirala iz recenzirane akademske literature, vendar so lahko pomembni tudi drugi viri (zakonodaja, publikacije mednarodnih organizacij, kot so WHO in FAO, ustni viri itd.). Glavna akademska literatura je sestavljena iz knjig, člankov, revij, zbornikov konferenc, poročil o raziskavah, baz podatkov, tez in disertacij. Po zbiranju vseh informacij je treba izvesti podroben pregled akademske literature in kritično razpravo o trenutnem znanju. To je pomemben temelj za uspeh raziskovalnega projekta. Pregled literature je izbor glavnih teorij in ugotovitve na raziskovalnem področju, opredeljuje ključne avtorje in opozori na pomanjkljivosti, na katere se je treba osredotočiti.

Pregled literature danes poteka predvsem s spletnim iskanjem v različnih bazah podatkov. Pomembno je, da izberemo ustrezne ključne besede, ki jih je mogoče kombinirati tudi z uporabo »AND« in »OR« za natančnejše določanje rezultatov iskanja. Elektronske revije in članki so najsodobnejši razpoložljivi viri. Prispevke je mogoče objaviti na spletu takoj, ko jih uredite, saj vam ni treba čakati, da bo na voljo dovolj prispevkov za oblikovanje celotne številke revije. To je še posebej pomembno na hitro razvijajočih se področjih (Nayak & Singh 2015). Nekateri elektronski viri so brezplačni (»odprt dostop«), večino pa je treba plačati. Na spletu je možno kupiti znanstvene članke kot samostojni raziskovalec, vendar univerze, knjižnice in druge izobraževalne ustanove običajno plačujejo naročnino za različne baze podatkov, njihovi zaposleni ali člani pa lahko do njih brezplačno dostopajo. V nadaljevanju so navedeni najpogostejše akademske baze podatkov in iskalniki.

- ScienceDirect je vodilna celostna znanstvena baza podatkov, ki vključuje članke iz več kot 2500 revij in knjižnih poglavij iz skoraj 20.000 knjig.
- SpringerLink je najobsežnejša spletna zbirka znanstvenih, tehnoloških in medicinskih revij, knjig in referenčnih del.
- Google Scholar je brezplačen iskalnik, ki katalogizira akademske podatke iz različnih spletnih virov. Zbira informacije v različnih akademskih virih, ki so na splošno strokovno pregledani. Je eden izmed najbolj razširjenih akademskih virov za raziskovalce.
- Web of Science je znanstvena storitev indeksiranja citatov za naročene stranke, ki zagotavlja celovito iskanje po navedbah. Omogoča dostop do številnih baz podatkov.
- Mendeley (raziskovalni katalog) je prenapolnjena baza raziskovalnih dokumentov. Raziskovalci so v katalog naložili skoraj 100 milijonov dokumentov z dodatnimi prispevki, ki so jih prispevali neposredno iz različnih virov.
- PubMed je baza podatkov predvsem o referencah in povzetkih o življenjskih znanostih in biomedicinskih temah.
- Scopus je največja svetovna zbirka povzetkov in citatov s strokovno pregledano raziskovalno literaturo. Vsebuje več kot 20.500 naslovov več kot 5000 mednarodnih založnikov. Čeprav gre za naročniško platformo, lahko avtorji prek nje pregledajo in posodobijo svoje profile ORCID ali tako, da najprej poiščemo njihov profil na brezplačni strani za iskanje Scopus avtorjev.

Pri pripravi pregleda literature je pomembno, da se hrani zbirka referenc, ki jo je mogoče uporabiti za zapisovanje ključnih točk pri vsakem viru (Nayak & Singh 2015). Obstaja nekaj programskih paketov, ki omogočajo oblikovanje in organizacijo osebne baze znanstvenih prispevkov in oblikovanje citatov pri pisanju znanstvenega poročila. Baza podatkov je lahko organizirana ali iskana po avtorjih, revijah, datumih in drugih značilnostih člankov oz. glede na temo, ustreznost, (ne) branje, priljubljene itd. Še posebej uporabni programski paketi za upravljanje referenc so EndNote, Mendeley in RefWorks.

Ko je ustvarjen seznam ustreznih člankov, je treba pregledati vsak članek ali vsaj njegov povzetek in se odločiti, ali je članek primeren za podroben pregled. Pregled literature mora biti obsežen in ne sme biti omejen na nekaj člankov, nekaj let ali določeno metodologijo. Pregled literature bi moral preučiti, ali so bila primarna raziskovalna vprašanja že raziskana in kakšni so bili rezultati (v tem primeru je treba pojasniti, zakaj je pomembno, da jih ponovno preučimo), ali se pojavljajo nova oz. drugačna raziskovalna vprašanja in ali je treba primarna raziskovalna vprašanja prilagoditi oz. spremeniti glede na ugotovitve iz literature. Pregled literature lahko ponudi tudi možne odgovore na raziskovalna vprašanja ali pomaga pri prepoznavanju teorij, ki so bile prej uporabljene za razpravo o primerljivih vprašanjih (Nayak & Singh 2015).

Pregled literature je dobro strukturirana in utemeljena presoja prejšnjih študij, povezanih z raziskovalno tematiko. Pregled ponuja opis, oceno in kritiko te literature; daje teoretično podlago za raziskavo in pomaga ugotoviti njene glavne značilnosti. Pregled literature je več kot zbiranje informacij; obsega tudi identifikacijo odnosa med literaturo in raziskovalno temo.

### Cilji študije

V nasprotju z opredelitvijo problema, ki opisuje namen raziskave, so cilji opredelitev ukrepov, ki jih je treba izvesti za dosego tega cilja. Opisujejo, kaj pričakujemo, da bomo z izvedbo raziskave dosegli. Lahko je splošen cilj, ki mu sledi seznam posebnih ciljev. Splošen cilj opisuje, kako načrtujemo rešitev problema: npr. odgovor na težavo A moramo najti z izvajanjem akcije B. Konkretni cilji nato podrobneje opišejo ukrep B. Običajno postavimo od dva do štiri konkretne cilje. Cilji tako pojasnjujejo, kako bomo odgovorili na raziskovalno vprašanje, zato mora biti raziskovalno vprašanje jasno. Cilji se običajno začnejo z besedami, kot so: prepoznati, vzpostaviti, opisati, določiti, oceniti, razviti, primerjati, analizirati, zbirati itd. (Nayak & Singh 2015). Dobri raziskovalni cilji morajo biti:

- kratki in natančni,
- navedeni v logičnem zaporedju, saj se lahko en cilj nanaša na drugega,
- realistični, kar pomeni, da jih je mogoče doseči v danem časovnem okviru in z razpoložljivimi viri,
- izraženi v operativnem smislu,
- nespremenjeni od začetka študije (ne bi smeli biti »premikajoče se tarče«).

### Hipoteze

Hipoteza predlaga rešitev problema, ki ga bomo med raziskavo empirično preizkusili, na koncu pa bo v skladu z opaženimi rezultati zavrnjena ali potrjena. Hipoteza je ugibanje ali predlog posploševanja (Nayak & Singh 2015). Hipotezo lahko razvijemo z analogijo, indukcijo, dedukcijo ali intuicijo. Najpomembnejša značilnost hipoteze je, da mora biti preverljiva, kar pomeni, da je po raziskavi tudi ovržena.

Hipoteze morajo biti močne, ne šibke. Primer šibke hipoteze je, da so »visoke koncentracije fosforja povezane z rastjo alg«, ker ne kaže niti smeri (tj. če je razmerje pozitivno ali negativno) niti vzročnosti (tj. če visoke koncentracije fosforja povzročajo rast alg ali če rast alg povzroči visoke koncentracije fosforja). Močnejša hipoteza bi bila »visoke koncentracije fosforja so pozitivno povezane z rastjo alg«, kar kaže na usmerjenost, ne pa na vzročnost; najmočnejša hipoteza pa bi bila »visoke koncentracije fosforja spodbujajo rast alg«, kar postavlja tako smer kot vzročnost.

## 11.2.3 Zasnova protokola

Oblikovanje protokola je pisni načrt aktivnosti, ki jih je treba izvesti, da bomo zadostno odgovorili na navedeno raziskovalno vprašanje. Vključuje izbiro raziskovalne metode za zbiranje podatkov in načrtovanje ustrezne strategije vzorčenja za izbiro vzorca iz ciljne populacije. Protokol mora natančno določiti:

1. značilnosti preskusnega sistema (v primeru akvaponike npr. vrsta, vir oskrbe, število, razpon telesne teže, spol, starost itd.),
2. podrobne informacije o zasnovi preskusa, vključno z opisom kronološkega poteka raziskave, vsemi metodami, materiali in pogoji dela, števila in tipa vzorcev, števila ponovitev, ravnmi odmerka in/ali koncentracije, vrsto in pogostostjo analiz, meritev, opazovanj in preiskav, ki jih je treba opraviti ter statističnih metod, ki jih je treba uporabiti.

**Vzorec** je manjša skupina populacije, predstavljati mora celotno populacijo, da lahko posplošimo rezultate iz raziskovalnega vzorca na celotno populacijo. Ustrezen načrt vzorčenja zagotavlja tudi stroškovno učinkovito uporabo raziskovalnih sredstev in ustrezen raziskovalni tempo, prilagodljivost in natančnost. Obstajata dve vrsti vzorčenja (povzeto po Nayak & Singh 2015): naključno in nenaključno vzorčenje (tabela 1). Pri naključnem vzorčenju je za vsak osebek ali enoto iz populacije enaka verjetnost, da je izbrana iz populacije, medtem ko pri nenaključnem vzorčenju vse enote iz populacije nimajo enake možnosti, da bi bile izbrane. Nenaključno vzorčenja se izvaja, kadar je nemogoče izvesti naključno vzorčenje, če imajo raziskave omejen čas, proračun ali delovno silo, ali kadar raziskava ni namenjena posploševanju na celotno populacijo. Na splošno je nenaključno vzorčenje primernejše za družboslovne vede kot za naravoslovje, kljub temu pa ga lahko uporabimo v predhodni študiji, da dobimo nekaj osnovnih informacij o populaciji in se lažje odločimo za vrsto naključnega vzorčenja, ki ga bomo izbrali v poskusu. Primer: želimo preučiti rast solate v akvaponskem sistemu, vendar ne vemo, ali obstajajo razlike med rastlinami, ki rastejo na robovih splavov, in tistimi, ki rastejo na sredini, zato bi v predhodni študiji lahko vzeli nekaj rastlin z

roba in nekaj iz sredine (nenaključno vzorčenje) in jih izmerili. Če med njimi ni razlik, je za poskus mogoče uporabiti preprosto naključno vzorčenje, če pa obstajajo razlike, bi bilo bolje uporabiti sistematično naključno vzorčenje ali morda celo vzorčenje v grozdu.

Poleg izbire ustrezne vrste vzorčenja je treba določiti tudi velikost vzorca. Ta je odvisna od značilnosti populacije, predvsem od tega, kako raznolika je. Poleg tega je velikost vzorca povezana tudi s številom spremenljivk, ki jih želimo analizirati, statističnimi postopki, ki jih želimo uporabiti, želeno natančnostjo in številom primerjav, ki jih želimo opraviti. Po drugi strani pa je velikost vzorcev lahko omejena tudi z razpoložljivim časom in finančnimi sredstvi.

Tabela 1: Vrste vzorčenja

| | Vrsta | Način zbiranja vzorca | Dodatna razlaga |
|---|---|---|---|
| **NAKLJUČNO VZORČENJE** | **Preprosto** | Z izbiro osnovnih enot na način, da ima vsaka enota v populaciji enake možnosti, da jo izberemo. | *Preprost naključni vzorec nima pristranskosti vzorčenja.* |
| | **Sistematično** | Z izbiro prve enote naključno in izbiranjem dodatnih enot v enakomernih presledkih, dokler ne pridobimo želenega števila enot. | *Npr. zelenjava, ki raste v vrsti pri čemer nabiramo vsako 5. zelenjavo.* |
| | **Stratificirano** | Z neodvisnim izbiranjem posameznega preprostega naključnega vzorca iz vsakega sloja populacije. | *Prebivalstvo je razdeljeno na različne sloje (skupine) glede na posebne značilnosti ali spremenljivke. Število enot, ki jih naključno izberemo iz vsakega sloja, je treba uskladiti z velikostjo sloja, saj so le-ti lahko različnih velikosti; npr. izberemo 10 % enot iz vsakega sloja.* |
| | **Vzorčenje v grozdu** | Populacija je razdeljena na grozde (klastre), vzorec dobimo z naborom nekaj grozdov s preprostim naključnim vzorčenjem. Vzorec obsega množico naključno izbranih grozdov. | *Grozdi so pogosto narejeni glede na geografske enote (npr. regije v državi), medtem ko se analiza opravi na naključno izbranih množicah (naključno izberemo potrebno število regij, ki predstavljajo vzorec).* |
| **NENAKLJUČNO VZORČENJE** | **Priročno** | Vzorec je zbran iz primerov, ki so na voljo za študijo, oz. tistih, ki so pripravljeni sodelovati. | |
| | **Namensko** | Vzorec je zbran iz primerov s podobnimi značilnostmi. Značilnosti so izbrane tako, da omogočajo pridobivanje odgovorov na določeno vprašanje in so lahko najbolj podobne/različne, najbolj tipične ali kritične. Predpogoj je, da raziskovalci že poznajo nekatere značilnosti populacije. | *V nasprotju s stratificiranim naključnim vzorčenjem, kjer ima vsaka enota v istem sloju enako možnost za izbor, v primeru namenskega vzorčenja vzorec ni izbran naključno.* |
| | **Snežna kepa** | Kjer obstoječe študijske enote vpokličejo naslednje enote med svojimi znanci. | *Vzorčna skupina naj bi rastla kot valjanje snežne kepe. Imenujemo ga tudi vzorčenje verig, vzorčno-predajna veriga, napotitev vzorcev.* |
| | **Kvote** | Porazdelitev populacije na različne skupine, podobne slojem v stratificiranem vzorčenju (npr. starost, spol). | *Iz vsake skupine se naključno izbere sorazmerno ali nesorazmerno število enot.* |

Za določitev velikosti vzorca, ki ga je treba uporabiti, je na voljo več metod, vključno z Neyman-Pearsonovo metodologijo odločanja ali analizo moči (Neyman & Pearson 1933). Za oceno potrebne velikosti vzorca moramo vsaj približno poznati varianco spremenljivke, kar lahko dobimo iz literature. Odstopanje (in standardni odklon) je odvisno od obravnavane spremenljivke in vrste, ki jo je treba ovrednotiti.

**Podatki** v naravoslovnih vedah so zbrani predvsem iz opazovanj in meritev z uporabo različnih laboratorijskih in terenskih instrumentov. Izvirni zapisi iz instrumentov in dokumentacije ali njihove preverjene kopije, ki so rezultat prvotnih opazovanj in dejavnosti, predstavljajo surove podatke. Surovi podatki so lahko npr. posneti podatki iz avtomatiziranih instrumentov, mikroskopske slike, posamične meritve iz laboratorijskih instrumentov, fotografije, ročno napisana opažanja in podatki iz analognih meritev. Surove podatke je treba pretvoriti v računalniško berljiv numerični format, npr. v preglednico ali besedilno datoteko, tako da jih lahko analiziramo z računalniškimi programi, kot sta R ali SPSS Statistics.

**Preskusni sistem** ali **analizna enota** je vsak biološki, kemični ali fizikalni sistem ali njihova kombinacija, ki se uporablja v študiji. Je najosnovnejši element raziskovanja. Analizna enota je lahko organizem ali njegov del, kolonija ali kolektiv ali predmet, ki je cilj preiskave. Analizno enoto je treba opredeliti na začetku oblikovanja protokola, saj vpliva na uporabljene instrumente in postopke, uporabljene med raziskavo. Poleg tega je treba vedno izbrati najnižjo raven enote (npr. zbirati podatke iz ločenih rastlinskih tkiv, ne celotne rastline skupaj).

**Preskusni element** je element, ki je predmet študije, **referenčni element** (»kontrolni element«) pa je element, ki se uporablja za zagotavljanje kontrole za primerjavo s preskusnim elementom.

**Šarža** je določena količina ali del preskusnih ali referenčnih elementov, oblikovanih z določenim ciklom eksperimenta, tako da se pričakuje, da bodo imeli vsi elementi enotno značilnost.

Večina predlogov projektov vključuje razdelek o etičnih vidikih znanstvenih protokolov, ki jih je treba upoštevati. Etični odbor na matični ustanovi običajno pred raziskavo odobri metode, pri tem pa večinoma upošteva vidike, povezane z dobrim počutjem živali, v tem primeru dobro počutje rib. Ti odbori postavljajo vrsto vprašanj, vključno z utemeljitvijo raziskave, njenim vplivom na živali in kako se lahko preprečijo stiske. Za več smernic o etiki, dobrem počutju živali in ustreznih postopkih vzorčenja glej NC3Rs Experimental Design Assistant, katerega glavni cilj je nadomestiti, oplemenititi in zmanjšati število živali, uporabljenih pri poskusih. Predvideva se, da bodo znanstveniki v bližnji prihodnosti lahko pred objavo rezultatov dobili svoje postopke in protokole ciljnih revij, in tako dobili določeno jamstvo, da bodo njihove študije objavljene. To gibanje se imenuje predregistracija (Nosek *et al.* 2018); ta je usmerjena v krepitev metodologij in znanstvenih rezultatov na posameznem področju. Nenazadnje številne revije zdaj prosijo, da se neobdelani podatki in rezultati objavljenih študij dajo na voljo v spletne baze podatkov, npr. z uporabo točke za zbiranje raziskovalnih podatkov na Research Gate.

**Dobra laboratorijska praksa** (DLP) pomeni sistem kakovosti, ki se nanaša na organizacijski proces in pogoje, pod katerimi se študije načrtujejo, izvajajo, spremljajo, beležijo, arhivirajo in poročajo (OECD 1998).

**Standardni operativni postopki** (SOP) so dokumentirani postopki, ki opisujejo, kako izvajati teste ali aktivnosti, ki običajno niso natančno določene v študijskih načrtih ali smernicah za preskuse. SOP vključujejo:

1. vodenje evidenc, vključno z opisom preskusnih in referenčnih postavk, datumom prejema, datumom uporabe, količinami, prejetimi in uporabljenimi v študijah;
2. določitev postopkov ravnanja, vzorčenja in skladiščenja, da se čim bolj zagotavljata homogenost in stabilnost ter prepreči kontaminacija;
3. zabojniki za skladiščenje morajo biti označeni z identifikacijskimi podatki, datumom izteka roka uporabnosti in posebnimi navodili za shranjevanje.

Po določitvi, kateri predmet bomo preučevali, kaj bomo merili ter kako zbirali in analizirali podatke, je čas, da izvedemo raziskavo. Izvedba raziskave vključuje tudi predhodne preskuse opreme, laboratorijskih instrumentov, vzorčenje in analize. **Predhodni preizkus** je pomemben del raziskovalnega procesa, saj omogoča odkrivanje morebitnih težav v raziskovalni zasnovi in preverjanje laboratorijskih instrumentov, ki se uporabljajo v študiji, da so zanesljivi in zagotavljajo veljavne meritve. Po predhodnem testiranju je mogoče raziskavo optimizirati in nato opraviti resnično raziskavo. Vse podatke, zbrane med raziskavo, je treba v **laboratorijski dnevnik** zabeležiti neposredno, takoj, natančno in čitljivo. Te vnose je treba podpisati in datirati. Za zagotovitev sledljivosti mora raziskovalni projekt imeti edinstveno identifikacijo, prav tako vsi vzorci, podatkovne datoteke itd. V zvezi s študijo morajo imeti isto identifikacijo. Vsako spremembo neobdelanih podatkov je treba narediti tako, da ne zbrišemo prejšnjega vnosa, razlog za kakršne koli spremembe mora biti naveden, spremembo pa mora datirati in podpisati posameznik, ki ga je vnesel.

### 11.2.4 Analiza rezultatov

#### Tabele in slike

Tabele in številke so najhitrejši način za sporočanje velikih količin večplastnih informacij. Načrtovati jih je treba skrbno. Dobra tabela ali slika mora podatke preprosto, jasno in kar se da enostavno predstaviti ter omogočiti bralcu, da razume rezultate, ne da bi si moral ogledati druge dele članka; tj. tabele in slike morajo biti samozadostne in razumljive, tudi ko so izvzete iz besedila, zato so bistveni jasni in informativni naslovi. Dobra slika (ali graf) bi morala imeti:

- samo potrebne podatke,
- dovolj velike črke,
- okvir,
- legendo, ki pojasnjuje vse potrebno,
- grafični format v visoki ločljivosti (> 300 dpi).

Dobra tabela bi morala imeti:

- **za vsako vrednost ločeno celico,**
- **samo vodoravne črte,**
- **vrednosti z razumnim številom števk za decimalno vejico.**

Večje tabele so objavljene v prilogah znanstvenih člankov.

Za poročanje o rezultatih je treba uporabiti veljavne in mednarodno priznane enote meritev. V znanosti, industriji in medicini se uporablja Mednarodni sistem enot (skrajšano SI). Na nekaterih geografskih lokacijah (npr. ZDA) se uporablja imperialni sistem, ki vključuje enote, kot so galona, čevelj, milja, funt in ppm. Ta sistem ni primeren za mednarodne znanstvene publikacije. Sistem SI vključuje sedem osnovnih enot (tabela 1).

Tabela 1: Sedem osnovnih enot Mednarodnega sistema enot

| **Količina** | **Enota** | **Simbol** |
|---|---|---|
| Masa | kilogram | kg |
| Čas | sekunda | s |
| Temperatura | kelvin | K |
| Električni tok | amper | A |
| Količina snovi | mol | mol |
| Svetlobna jakost | kandela | cd |
| Razdalja | meter | m |

Najpomembnejši metodološki izbor raziskovalcev temelji na razlikovanju med kvalitativnimi in kvantitativnimi podatki. Kvalitativni podatki so v obliki besedilnih in slikovnih opisov, medtem ko so kvantitativni podatki v obliki številk. Izbira metodologije, ki jo bomo uporabili, je odvisna od naših raziskovalnih vprašanj, katerih oblikovanje pa je posledično odvisno od naše raziskovalne perspektive. Družboslovne raziskave lahko ustvarijo kvalitativne in kvantitativne podatke, navadno z uporabo anket. Podatke zbiramo iz vnaprej določene testne skupine (vzorca), da dobimo informacije in razumevanje o različnih temah, ki nas zanimajo. Obstajajo različne vrste metod anketiranja, vključno z vprašalniki, neuradnimi razpravami, poglobljenimi intervjuji, fokusnimi skupinami in študijami primerov.

**Kvalitativni podatki** so bogatejši in jih običajno, vendar ne vedno, razlagamo s subjektivno presojo. Kvalitativne raziskave omogočajo poglobljeno razumevanje preiskovane situacije; zaradi časovnih omejitev na splošno vključujejo majhen vzorec udeležencev. Zaradi tega so ugotovitve omejene na preučevan vzorec in jih ni mogoče posplošiti v druge okoliščine ali na širšo populacijo. Priljubljene metode za pridobivanje kvalitativnih podatkov vključujejo polstrukturirane ali nestrukturirane intervjuje, opažanja udeležencev in analizo dokumentov. Dobra kvalitativna analiza je na splošno bolj zamudna kot kvantitativna analiza.

**Kvantitativne podatke** pa je po drugi strani morda lažje zbirati in analizirati, temeljijo pa na velikem vzorcu. Kvantitativne meritve vključujejo zbiranje podatkov, ki jih je mogoče »objektivno« izmeriti s številkami. Podatki se analizirajo s številčnimi primerjavami in statističnimi analizami. Zaradi tega se zdijo bolj »znanstveni« in lahko privlačijo ljudi, ki iščejo jasne odgovore na določena vzročna vprašanja. Kvantitativna analiza je pogosto hitrejša, saj vključuje uporabo merilne opreme in programske opreme. Zaradi velikega števila vzorcev omogoča posploševanje na širšo skupino od raziskovalnega vzorca.

Po drugi strani pa so eksperimentalne raziskave najpogostejše v okoljskih znanostih. V eksperimentih raziskovalec manipulira z eno spremenljivko in nadzoruje druge spremenljivke, da bi raziskal razmerje med vzroki in posledicami. Zbrani podatki so količinski in jih je mogoče analizirati z ustreznimi statističnimi metodami.

### 11.2.5 Objava poročil o raziskavah

Preizkus ni končan, dokler rezultati niso objavljeni in razumljeni. Objava rezultatov je pomembna, da se omogoči ponovljivost poskusov, zato so metode prikazane ločeno od rezultatov. Kot trdi Svet urednikov za biologijo (*Council of Biology Editors,* 1968), »mora biti sprejemljiva primarna znanstvena publikacija prvo razkritje raziskave, ki vsebuje dovolj informacij, da lahko kolegi (1) ocenijo opažanja, (2) ponovijo poskuse in (3) ovrednotijo intelektualne procese; poleg tega mora biti privlačno oblikovana in pregledna, trajna, znanstveni skupnosti na voljo brez omejitev in na voljo za redno pregledovanje pri eni ali več glavnih priznanih sekundarnih storitvah« (npr. Biological Abstracts, Chemical Abstracts) (CBE 1968).

**Dobro znanstveno pisanje** je preprosto pisanje. Znanost je zapletena, vendar pisanje, ki se uporablja za opisovanje, ni nujno zapleteno. Najboljše pisanje je tisto, ki daje smisel z najmanj preprostimi besedami. Kakovostno, preprosto pisanje:

- povečuje možnosti sprejema za objavo,
- povečuje vpliv publikacije v raziskovalni skupnosti,
- pospešuje razumevanje in sprejemanje raziskav,
- povečuje zaupanje bralcev v kakovost raziskave.

Slabo napisanih in zapletenih prispevkov bralci, recenzenti in uredniki revij ne marajo, prav tako ovirajo razumevanje zapletenih znanstvenih konceptov. Oddan članek bo bolj verjetno sprejet, če:

- opisuje raziskave, ki omogočajo napredek na tem področju,
- je skrbno pripravljen in oblikovan,
- uporablja jasen in jedrnat jezik,
- sledi etičnim standardom.

Postopek objave:

1. potreba/želja po objavi,
2. izberemo revijo za objavo glede na temo, občinstvo revije, vrste člankov, ugled revije, faktor vpliva ali osebne zahteve; ustrezne revije lahko najdemo tako, da preverimo, kje so objavljeni podobni članki, in s spletnimi iskanjem,
3. preberemo zadnje izdaje,
4. napišemo prvi osnutek,
5. za prvi pregled poprosimo kritičnega prijatelja,
6. izboljšamo nadaljnje osnutke,
7. preverimo, ali se članek drži avtorskih smernic,
8. lektoriramo in oddamo.

V znanstveni publikaciji je lahko več avtorjev. Soavtorji so ljudje, ki so **prispevali veliko intelektualnih prispevkov** za študijo, ki bo objavljena. Pomembno je, da se število soavtorjev ohranja pri razumni količini: prvi avtor je ponavadi tisti, ki je vodil raziskavo in napisal glavnino besedila, zadnji avtor pa je običajno tisti, ki je vodja raziskovalne skupine. Druge soavtorje razvrstimo po abecedi po priimku, npr. Wilson, T., Abercombie, J., Brown, E., Curwen, H., Davenport, K. & Albert, W.

Znanstveni članki so recenzirani članki v revijah in knjigah, ki imajo običajno faktor vpliva (IF). IF se uporablja za primerjavo različnih revij znotraj določenega področja. Poročila, referati za konference, plakati in pogovori niso znanstveni članki in nimajo IF. IF je mera, ki **odraža letno povprečno število citatov člankov** v tej reviji. Za revije, naštete v poročilih o citiranju revij (angl. *Journal Citation Reports*), se IF izračuna vsako leto za preteklo leto po naslednji formuli:

$$\mathrm{IF}_y = \frac{\mathrm{Citations}_{y-1} + \mathrm{Citations}_{y-2}}{\mathrm{Publications}_{y-1} + \mathrm{Publications}_{y-2}}$$

Vsi znanstveni članki sledijo isti predpisani strukturi. Ta struktura ponuja logičen pregled skozi vsebino, omogoča, da so članki predvidljivi in lahko berljivi, predstavlja »zemljevid«, da lahko bralci hitro najdejo zanimive vsebine, v katerem koli članku, in nenazadnje avtorje opomni, katero vsebino je treba vključiti. Struktura je naslednja:

- naslov,
- povzetek,
- **uvod,**
- **materiali in metode,**
- **rezultati,**
- **razprava,**
- zaključki,
- zahvala,
- literatura.

Poleg navedenih poglavij vsak članek ponavadi vsebuje tudi eno ali več tabel in slik ter dodatne podatke v ločenih datotekah. Glavne vsebine znanstvenega članka so opisane v glavnih poglavjih: uvod (angl. *Introduction*) (katero težavo bomo preučili), materiali in metode (angl. *Material and Methods*) (kako bomo preučevali problem), rezultati (angl. *Results*) (kaj smo ugotovili) in Razprava (angl. *Discussion*) (kaj to pomeni). Po začetnicah angleških naslovov se ta struktura imenuje **IMRaD**.

### Naslov in povzetek

Naslov in povzetek (izvleček) sta najbolj vidna dela članka. Opaziti ju je mogoče na spletni strani revije in v zbirkah podatkov (npr. Science Direct, PubMed itd.), zato je pomembno posvetiti ustrezno pozornost njuni formulaciji. Dobro pripravljen povzetek bralcem omogoča, da hitro in natančno prepoznajo osnovno vsebino dokumenta, ugotovijo njegovo ustreznost glede na njihov interes in se tako odločijo, ali bodo dokument prebrali v celoti (American National Standards Institute 1979). Branje znanstvenega članka ni isto kot branje detektivske zgodbe. Že na začetku želimo vedeti, da je to storil butler (Ratnoff 1981).

Naslov mora biti čim bolj natančen, informativen in čim bolj popoln. Bralcu posreduje prve informacije, nato pa odloči, ali bo nadaljeval branje, zato je pomembno, da je naslov čim bolj opisen. Da bi to dosegli, je treba namesto splošnih uporabiti specifične izraze; kljub temu pa mora biti naslov še vedno razumljiv in dokaj preprost. Naslov običajno ne vključuje kratic, okrajšav ali začetnic. Vsa znanstvena imena bi morala biti napisana v celoti (npr. *Lactuca sativa*, ne pa *L. sativa*).

Povzetek običajno vsebuje 200–300 besed. V njem je treba predstaviti najpomembnejše vidike študije: vključiti mora ozadje, metodologijo in rezultate, vendar ne preveč podrobno. V povzetku povzamemo (ponovimo) le dejstva, ki so opisana v članku. Priporočljivo je vključiti sopomenke besed in pojmov, ki so v naslovu, kot znanstveno pisanje pa je treba uporabiti razumljiv in ustrezno preprost slog pisanja. Po drugi strani pa naj povzetek ne vsebuje kratic in ne navaja referenc.

### Uvod

Uvod naj vsebuje informacije, potrebne za razumevanje študije, in razloge, zakaj so bili poskusi izvedeni. Pojasniti mora, **katero** vprašanje/problem je bilo preučeno, in dati informacije iz prejšnjih študij, zato vključuje številne citate. Ti morajo biti dobro uravnoteženi, aktualni in ustrezni. Uvod ni pregled literature, ampak lahko navaja pregledno literaturo (Nayak & Singh 2015).

### Materiali in metode

Materiali in metode vsebujejo vse podrobnosti, **kako** je potekala študija. Različne metodologije, ki so bile uporabljene v študiji, lahko razdelimo v podpoglavja. Vse nove metode, ki so bile uporabljene, moramo opisati dovolj podrobno, da bi lahko poskus **ponovil** kak drug raziskovalec. Navedemo že uporabljene in objavljene metode, natančno pa je treba opisati vse spremembe obstoječih metod. Navedemo vse statistične preskuse in parametre. Poglavje o materialih in metodah pišemo v pretekliku.

### Rezultati

V poglavju z rezultati je pregled eksperimentov, podrobnosti, ki so opisane v metodah, pa ne ponavljamo. Raziskovalec mora tudi kritično pregledati podatke in izbrati rezultate, ki bodo objavljeni. Preprost prenos podatkov iz laboratorijskega dnevnika v rokopis ne bo dovolj za učinkovito predstavitev rezultatov. Predstavitev mora biti pregledna in reprezentativna ter se lahko izvede prek besedila ali tabel in slik. Podatki, ki so že opisani v tabelah ali slikah, ne bi smeli biti podrobno opisani v besedilu. Tabele in slike je treba v besedilu navesti le na kratko. Če je značilnost le ena ali na podlagi nje opravljenih nekaj meritev, je ponavadi opisana v besedilu, medtem ko sta, če gre za ponovljene meritve, tabela ali graf bolj reprezentativna. Glede na zahteve revije lahko rezultati tvorijo samostojno poglavje ali pa so z razpravo združeni v eno poglavje. Rezultati naj bodo zapisani v logičnem zaporedju in razdeljeni na podpoglavja s kratkimi informativnimi naslovi. V besedilo je treba vključiti in predstaviti tudi rezultate statističnih analiz. Poglavje z rezultati naj bo zapisano v pretekliku, medtem ko se sedanjik uporablja za sklicevanje na tabele in slike.

### Razprava

Večina razprav in zaključkov bi morala vključevati interpretacijo rezultatov. Lahko oblikujemo podpoglavja, in sicer v skladu s podpoglavji v poglavju rezultati. V razpravi rezultate raziskave primerjamo s prejšnjimi študijami. Opredeliti moramo tudi omejitve raziskave, navedemo vse rezultate brez zaključkov, in če so ugotovitve preliminarne, je treba opozoriti na predloge za prihodnje študije. Glavne zaključke ponovimo na koncu razprave ali v ločenem poglavju z zaključki.

### Literatura

Pri pisanju znanstvenega rokopisa mora biti vedno jasno, katere misli, ocene in besedila pripadajo avtorjem te študije in kaj izhaja od avtorjev drugih publikacij. Vir moramo navesti za vsako izjavo, ki ni naše delo, in sicer tako, da se napiše avtor in leto objave, npr.: »mikroelementni nikelj ima pomembno vlogo pri razgradnji sečnine v akvaponskih sistemih (Komives & Junge 2018)«, medtem ko je celotna navedba navedena v referencah, npr.: »Komives, T. & Junge, R. 2018 Importance of nickel as a nutrient in aquaponic systems – some theoretical considerations. *Ecocycles* 4 (2), 1-3.« Reference morajo biti napisane v slogu, kot ga zahteva revija, v kateri bo članek objavljen, zato je treba natančno preveriti slog citiranja revije v Navodilih za avtorje. Obstajajo različni programski paketi, ki omogočajo ustrezno upravljanje referenc (EndNote, Zotero, RefWorks, Mendeley itd.) (glej 6.2.2.2).

### Plagiatorstvo

Plagiatorstvo je ponarejanje in je moralno sporno. Pomeni uporabo dela nekoga drugega brez navedbe vira, kot da bi šlo za naše lastno. Da bi se temu izognili, je treba vedeti, kako dokumentirati uporabo dela drugih ljudi. Vsak raziskovalec je odgovoren za navajanje uporabljenih virov v svojih prispevkih. Obstajata dva načina za sklicevanje na dela drugih avtorjev.

a) **Parafraziranje** pomeni povzeti ideje drugega avtorja po lastnih besedah, pri tem pa se še vedno sklicevati na izvorni vir. Navednice niso potrebne. Dobro parafrazirana izjava je jedrnata in prikazuje raziskovalčevo razumevanje tega, kar je prebral. Če parafrazirate ali se

sklicujete na idejo iz druge publikacije, je koristno, da za referenco navedete številko strani ali odstavka, zlasti kadar citirate dolgo in zapleteno besedilo (npr. knjigo).

b) **Neposredno citiranje** pomeni neposredno ponovitev izjave in se redko uporablja v znanstvenem pisanju. Neposredno citiranje uporabljamo predvsem za zgodovinske ali politične citate uglednih oseb. Citiranju ugotovitev iz prejšnjih raziskav se je treba izogibati, saj si bralec želi videti tudi avtorjeve poglede in analizo prebrane literature, kar ni navedeno v neposrednem citatu. Pri uporabi neposrednega citata je treba na začetku in na koncu povedi postaviti narekovaje.

## 11.3 Metodologija znanstvenega raziskovanja, ki se uporablja za akvaponiko

Naslednje študije primerov ponazarjajo nekatere različne metodologije, ki jih je mogoče uporabiti za raziskave v akvaponiki. Prva študija primera je primer družboslovnih raziskav, narejenih z uporabo vprašalnika. Vprašalnik je orodje za zbiranje in beleženje informacij o določenem vprašanju, ki nas zanima, in sicer na standardiziran način. Informacije iz vprašalnikov ponavadi spadajo v dve široki kategoriji: dejstva in mnenja. Vprašalniki zelo pogosto vključujejo oba tipa vprašanj. Vprašanja so lahko nestrukturirana ali strukturirana ali, npr. v spodnji študiji primera, kombinacija obeh. Nestrukturirana vprašanja sprašujejo anketirance, naj odgovorijo sami s svojimi besedami, medtem ko strukturirana vprašanja sprašujejo anketirance, da izberejo odgovor iz določenega nabora odločitev. Strukturirani vprašalniki so običajno povezani s kvantitativnimi raziskavami, tj. raziskavami, ki se ukvarjajo s številkami (koliko, kako pogosto, kako zadovoljno). Odgovori na posamezna vprašanja v strukturiranem vprašalniku se lahko združijo in uporabijo za statistično analizo (Nayak & Singh 2015).

| **Študija primera 1** | |
|---|---|
| Love, D.C. *et al.* 2014. An international survey of aquaponics practitioners. *PLoS ONE* 9(7), e102662. | |
| Namen | Spremljanje akvaponike v ZDA in zbiranje informacij, za boljše informiranje o političnih, raziskovalnih in izobraževalnih prizadevanjih glede razvoja akvaponike in možnostjo razvoja v glavno obliko kmetijstva. |
| Cilj | Dokumentiranje in analiza proizvodnih metod, izkušenj, motivacij in demografskih podatkov izvajalcev akvaponike tako v ZDA kot v svetu. |
| Metodologija | 1. Pregled literature, ali obstajajo primerna raziskovalna orodja za zbiranje informacij o proizvodnih praksah in stališčih posameznikov, ki se ukvarjajo z akvaponiko.<br>2. Izdelava vprašalnika na podlagi v literaturi opisanih metod za internetne ankete in ankete o kmetijski praksi.<br>3. Predhodni preizkus osnutka vprašalnika za razumevanje vsebine z 10 ljudmi, ki so bili bodisi strokovnjaki ali izvajalci akvaponike in so bili predstavniki skupin, na katere je bila raziskava ciljana (tj. komercialni kmetje, učitelji, ljubitelji in neprofitne organizacije).<br>4. Spletna anketa z metodo vzorčenja snežne kepe, da bi dosegli čim več ljudi. |

| | |
|---|---|
| | Osemnajst organizacij je vprašalnike razdelilo med svoje člane ali naročnike preko lastnih kanalov za komunikacijo (e-pošta, mailing liste, spletna glasila, neposredna pošta in socialni mediji). Za spodbudo k sodelovanju v anketi so se udeleženci lahko potegovali za eno od štirih darilnih kartic v vrednosti 75 USD.<br>5. Med 1084 anketiranimi jih je 809 izpolnjevalo merila za vključitev v raziskavo (so stari 18 let ali več, znajo angleško in so v prejšnjih 12 mesecih upravljali in vzdrževali akvaponski sistem), njihovi odgovori pa predstavljajo vzorec.<br>6. Podatki so bili izvoženi iz anketne programske opreme (Qualtrics) in analizirani v programu Excel ali SPSS. Slike so bile izdelane z uporabo Prism. Za primerjavo demografije anketirancev po spolu je bil narejen t-test s stopnjo zaupanja pri alfa 0,05. Napaka je podana kot standardni odklon. |
| Omejitve raziskave | Način vzorčenja snežne kepe in uporaba družbenih medijev za identifikacijo potencialnih udeležencev pomeni, da ni mogoče izračunati stopnje anketnega odziva, poleg tega je omejeno posploševanje na uporabnike akvaponike, ki niso sodelovali v študiji. Dejstvo, da je bila večina anketirancev iz ZDA (80 %), kaže, da so lahko rezultati popačeni, ker je raziskava izvirala iz ZDA in ni bila ponujena v drugih jezikih kot v angleščini. |

Vprašalniki so eden najdostopnejših načinov zbiranja količinskih podatkov. Zlasti spletne ankete imajo lahko zelo nizke stroške in velik doseg, rezultate pa je mogoče hitro in enostavno analizirati in poudariti trende v podatkih. Obstajajo pa številne pomanjkljivosti pri uporabi vprašalnikov. Medtem ko vsak raziskovalec upa na vestne odgovore, ni mogoče vedeti, ali je anketiranec res premislil, preden je odgovoril. Včasih anketiranci izberejo odgovor, preden v celoti preberejo vprašanje ali morebitne odgovore, včasih preskočijo vprašanja ali se odločajo na podlagi trenutnega odziva. Vse to vpliva na veljavnost zbranih podatkov. Čeprav vprašalniki lahko razkrijejo vzorce in trende v podatkih, ne omogočajo razumevanja njihovih vzrokov.

Druga študija primera je primer družboslovnega raziskovanja z uporabo primerjalnega pristopa k študiji primera in polstrukturiranih intervjujev za ustvarjanje kvalitativnih podatkov.

| **Študija primera 2** | |
|---|---|
| Laidlaw, J. & McGee, L. 2016. Towards urban food sovereignty: the trials and tribulations of community-based aquaponics enterprises in Milwaukee and Melbourne. *Local Environment* 21 (5), 573–590. | |
| Namen | Razumeti socialnoekonomski in kulturni kontekst, ki je bistven za gradnjo samooskrbnih skupnosti in mest za prehrano, zlasti potencialno katalitično vlogo socialnih podjetij v urbani akvaponiki pri spodbujanju širše državljanske naklonjenosti in dovzetnosti za prehransko samooskrbo. |
| Cilj | Preučiti izkušnje zainteresiranih strani pri vzpostavljanju socialnih podjetij za urbano akvaponiko, da bi razumeli notranje in zunanje dejavnike, ki vplivajo na njihov uspeh ali neuspeh. |
| Metodologija | Primerjalni pristop študije primera, ki vključuje:<br>1. nestrukturirane kvalitativne intervjuje s ključnimi deležniki projektov v dveh socialnih podjetjih urbane akvaponike in spletno raziskavo širše skupine |

| | |
|---|---|
| | zainteresiranih strani; velikost vzorca je 23 (7 ključnih deležnikov v projektu in 15 drugih deležnikov),<br>2. analizo projektne dokumentacije in opažanj, sestavljenih iz več obiskov lokacije,<br>3. analizo diskurza prepisov intervjuja. |
| Omejitve raziskave | Majhen vzorec (deležniki, povezani z dvema podjetjema iz akvaponike) pomeni, da so ugotovitve na splošno omejene. Metode, uporabljene za analizo diskurza, niso navedene. |

Primerjalne študije primerov, kot je ta, vključujejo analizo in sintezo podobnosti, razlik in vzorcev v dveh ali več primerih, ki imajo skupni fokus ali cilj. Glede na osredotočenost na dobro razumevanje primerov in njihovega konteksta, med različnimi uporabljenimi metodami zbiranja podatkov pogosto prevladujejo metode, kot so terenski obiski, opazovanje, intervjuji in analiza dokumentov. Primerjalne študije primerov lahko vključujejo kvalitativne in kvantitativne podatke, in čeprav so zamudne, lahko ustvarijo bogate podrobnosti o kontekstu in značilnostih dveh ali več primerov specifičnih pojavov.

Področje akvaponike je precej novo, saj se je prvi znanstveni članek, ki je uporabil ta izraz, pojavil v vplivnejši reviji leta 2004.[4] Veliko izboljšav je že pred tem naredil James Rackocy s skupino (Univerza Deviških otokov), vendar so njihove publikacije bolj demonstrativne in manj eksperimentalne. Po podatkih Web of Science je od leta 2004 objavljenih več kot 60 recenziranih člankov o akvaponiki, vendar se mnogi članki osredotočajo bolj na spodbujanje potenciala akvaponike kot na celovita znanstvena preskušanja. To je delno tudi posledica potrebnega zadostnega števila ponovitev in vzpostavitev ustreznih kontrolnih skupin. Že sama vzpostavitev akvaponskega sistema je običajno precej zahtevna in zamudna, saj je treba vzpostaviti filter z bakterijami, ribe in rastline, včasih pa je treba postaviti več enot ali večkrat ponoviti posamezno obravnavo. Npr. pri preskušanjih krme v ribogojstvu je običajno, da imajo vsaj tri ponovitve na obravnavo, pri čemer je vsaka poskusna enota običajno en rezervoar, ne pa posamezna riba. To bi npr. pomenilo, da če bi primerjali učinke dodajanja česnovega ekstrakta v krmo, bi potrebovali tri rezervoarje rib, ki jim dodamo česnovo krmo, in še tri rezervoarje, ki jim dodamo kontrolno krmo. Narediti nekaj podobnega z uporabo akvaponike je še bolj zapleteno. Primer: če želimo primerjati vpliv pH vode na dobro počutje rib in solato, bi potrebovali šest ločenih akvaponskih enot, od katerih bi bile tri pri določenem pH in tri pri drugi ravni pH, pri vseh šestih enotah pa bi potrebovali isto zalogo rib in isto gostoto solate. Tako so stroški vsakega poskusa višji kot pri preskušanjih krme, seznam stvari, ki bi utegnile iti narobe, pa je veliko daljši. Zaradi tega ob pogledu na literaturo običajno opazimo zelo malo ali nobenih ponovitev ali največ dve ponovitvi na obdelavo.

Tretja študija primera je primer eksperimentalne raziskovalne metodologije. Namen oblikovanja eksperimentalnih raziskav je omogočiti raziskovalcu verodostojno vzpostavitev vzročno-posledičnega razmerja. Eksperiment je preskus v nadzorovanih pogojih, ki se izvaja z namenom podpore, zavrnitve

[4] Tokuyama, T., Mine, A., Kamiyama, K., Yabe, R., Satoh, K., Matsumoto, H., Takahashi, R. & Itonaga, K. 2004. Nitrosomonas communis strain YNSRA, an ammonia-oxidizing bacterium, isolated from the reed rhizoplane in an aquaponics plant. *Journal of Bioscience and Bioengineering* 98 (4), 309-312.

ali potrditve hipotez. Poskusi omogočajo vpogled v vzročno-posledične učinke, tako da dokažejo, kakšen rezultat dobimo, ko se določena spremenljivka manipulira. Eksperimenti se zelo razlikujejo glede na cilj in obseg, vendar se vedno opirajo na ponovljiv postopek in logično analizo rezultatov. Metodologija raziskovanja je zato razložena zelo podrobno, da bi drugim raziskovalcem omogočili ponovitev eksperimenta in s tem potrdili ali ovrgli njegove rezultate.

| **Študija primera 3** | |
|---|---|
| Goddek, S. & Vermeulen, T. 2018. Comparison of *Lactuca sativa* growth performance in conventional and RAS-based hydroponic systems. *Aquaculture International* 2018, 1–10. | |
| Namen | Preverjanje ugotovitev Delaide *et al.* (2016),[5] da uspešnost rasti solate v dopolnjeni raztopini v akvaponiki presega hidroponiko. |
| Cilj | Primerjava rasti rastlin zelene solate v običajnem hidroponskem sistemu s sistemom, ki temelji na RAS. |
| Metodologija | V dva sistema NFT, od katerih je vsak sestavljen iz šestnajstih 7,7 metra dolgih kanalov in posode za recirkulacijo z 250 litri, so posadili 38 solat na posamezni kanal, kar pomeni 12 glav solate na kvadratni meter. Rezervoar za hidroponiko je bil neprekinjeno napolnjen z deževnico, rezervoar RAS pa je bil napolnjen v razmerju 30 % RAS in 70 % deževnica. Analiza koncentracij mikro- in makrohranil v vodi je bila izvedena enkrat na dva tedna z uporabo metode HPLC v skladu s standardom ISO 17025. Sedem tednov po sajenju so obrali 20 poganjkov solate in vsakega posebej stehtali. Pred pošiljanjem zmletih poganjkov solate za analizo svinca so glave solate vsakega sistema razrezali na majhne koščke in jih sušili (24 ur pri 103 °C), da bi določili njihovo suho težo. Analiza vsebnosti hranil v listih je bila izvedena z ICP-OES družbe Groen Agro Control v skladu s potrjenim protokolom analize. Analiza statističnega pomena in ANOVA je bila izvedena v R. Neparametrični dvovzorčni Kolmogorov-Smirnov test je bil uporabljen za preverjanje, ali se porazdelitve verjetnosti koncentracije natrija razlikujejo med hidroponskim in sistemom RAS. Genstat programska oprema je bila uporabljena za izvedbo analize glavnih sestavnih delov glede na sestavo hranil solate. |

## 11.4 Literatura


American National Standards Institute 1979. *American National Standard for the Preparation of Scientific Papers for Written or Oral Presentation*. American National Standards Institute, New York.

CBE 1968. *Scientific Writing for Graduate Students: A Manual on the Teaching of Scientific Writing* (ed. F.P. Woodford). Committee on Graduate Training in Scientific Writing of the Council of Biology Editors. Rockefeller University Press, New York.

Nayak, J.K. & Singh, P. 2015. *Fundamentals of Research Methodology: Problems and Prospects*. SSDN Publishers & Distributors, New Delhi.

Neyman, J. & Pearson, E.S. 1933. *On the problem of the most efficient tests of statistical hypotheses. Philosophical Transactions of the Royal Society of London* A 231, 289-337.


[5] Delaide, B., Goddek, S., Gott, J., Soyeurt, H. & Jijakli, M.H. 2016. Lettuce (*Lactuca sativa* L. var. Sucrine) growth performance in complemented aquaponics solution outperforms hydroponics. *Water* 8 (10), 467.

Nosek, B.A., Ebersole, C.R., DeHaven, A.C. & Mellor, D.T. 2018. The preregistration revolution. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 115 (11), 2600-2606.

OECD 1998. *OECD Principles of Good Laboratory Practice*. OECD Series on Principles of Good Laboratory Practice and Compliance Monitoring Number 1. Organisation for Economic Co-operation and Development, Paris.

Ratnoff, O.D. 1981. How to read a paper. In K.S. Warren (ed.) *Coping with the Biomedical Literature*, pp. 95-101. New York, Praeger.

**Uroš Strniša, Ranka Junge, Fridolin Tschudi, Morris Villarroel**

# 12. NAČRTOVANJE IN GRADNJA

## 12.1 Začetek načrtovanja akvaponskega sistema

V literaturi ali na spletu je na voljo veliko raznolikih modelov akvaponskih sistemov. Pri načrtovanju in gradnji akvaponskega sistema je treba upoštevati nekaj osnovnih načel za pravilno delovanje sistema. Med različnimi sistemi so velike razlike z vidika finančnih vložkov, stroškov vzdrževanja in obratovanja, zanesljivosti delovanja, varnosti in zdravja pri delu, potenciala za rast rib in rastlin ter zmogljivosti, ki jih je treba upoštevati v fazi načrtovanja.

Zasnova novega akvaponskega sistema mora temeljiti na ciljih in zahtevah načrtovalca.

- Kakšen je namen? Prehranska samooskrba, komercialno poslovanje, dekoracija prostora, družbeni vpliv, poučevanje.
- Koliko prostora je na voljo? Komercialni sistem potrebuje več kot 1000 $m^2$, medtem ko je sistem, namenjen samooskrbi, manjši.
- Kje točno bo sistem nameščen? Če bo nameščen zunaj, so stroški gradnje nižji, vendar je potrebne več energije za ogrevanje. Če bo nameščen v notranjosti, bo potrebne več energije za razsvetljavo.
- Koliko časa lahko namenimo upravljanju sistema? Samodejna regulacija je dražja, medtem ko je večkratno dnevno preverjanje zamudno. Ribe je treba v vsakem primeru dnevno preverjati.
- Nakup že pred izdelanega sistema ali sestava svojega? Na voljo je več modelov, ki morda ne ustrezajo zastavljenim ciljem. Za gradnjo lastnega sistema pa je potrebno znanje, pri čemer se za zmanjšanje stroškov lahko uporabijo reciklirani materiali.
- Pri načrtovanju predvidimo rutinske postopke dela in vzdrževanja ter tudi postopke dela v izrednih primerih.

Zasnova in konstrukcija akvaponskega sistema sledi zaporedju več faz: študija izvedljivosti in izbira lokacije, idejna zasnova, podrobna zasnova, priprava gradbišča in gradnja. Ker so bila osnovna merila oblikovanja obravnavana že v poglavju 2, lahko primer iz poglavja 2 v nadaljevanju uporabimo kot predlogo za podrobno zasnovo. Tabela 1 povzema glavne faze od ideje za akvaponski sistem do popolnoma delujočega sistema.

Tabela 1: Faze načrtovanja in gradnje akvaponskega sistema

| | |
|---|---|
| Študija izvedljivosti in izbira lokacije | V študiji izvedljivosti preverimo, ali lokacija, na katero nameravamo postaviti akvaponski sistem, izpolnjuje osnovne zahteve, ki omogočajo gradnjo in obratovanje. Te zahteve vključujejo prostor, dovoljeno površinsko obremenitev, priklop in zanesljivost preskrbe z električnim tokom, dostop z vozili, razpoložljivost in kakovost vode, možnost hlajenja in ogrevanja sistema, sončno svetlobo itd. Del študije izvedljivosti je tudi načrtovanje proizvodnje, zato je treba vedeti, koliko bo potrebnih bazenov in kakšna bo njihova prostornina, kolikšna bo potrebna površina rastnih gred za gojenje rastlin itd. To so osnovni podatki, ki jih je treba zbrati, preden pripravimo idejno zasnovo. |
| Idejna zasnova | V idejni zasnovi načrtujemo osnovne dimenzije sistema tako, da sledimo postopnemu načrtovanju (glejte poglavje 2). Začnemo z območjem pridelave zelenjave, šele nato oblikujemo sistem za gojenje rib na podlagi potreb rastlin po hranilih ali obratno. Ob koncu izdelamo splošni diagram poteka delovnega procesa z glavnimi sklopi: delež prirasta rib in rastlin; pretok vode; oblika in prostornina bazenov za ribe; dimenzije naprave za odstranjevanje trdnih delcev; vrsta, velikost in oblika biofiltra; dolžina in premer cevi; pretok vode v ceveh. Idejna zasnova bo razkrila, ali je mogoče proizvodne cilje doseči na izbrani lokaciji. |
| Podrobna zasnova | Podrobna zasnova upošteva ista načela in sklope kot idejna, vendar predvidi tudi podrobnosti. Medtem ko je bil pri prejšnji fazi poudarek na hidravliki in dimenzijah, so na tej stopnji pomembni materiali, ki jih bomo uporabili. Poleg tega je treba izbrati posamezne sestavne dele in opredeliti njihove potrebe po električni energiji ter zahteve za rezervno električno napajanje. Izbrati je treba naprave za merjenje in regulacijo ter izdelati podroben načrt vseh hidravličnih komponent (cevi, odtočni zasloni, biofilter itd.). Glede na velikost sistema in državo, v kateri poteka gradnja sistema, se bo podrobno načrtovanje zaključilo z gradbenimi načrti, ki jih bodisi izdelate sami bodisi jih lahko naročite pri gradbenem podjetju. Načrtovanje vodovodnih, električnih in prezračevalnih napeljav ter pešpoti v 3D-modelu omogoča nemoten postopek gradnje oz. montaže. Dobro je treba poznati gradbene materiale in gradbene tehnike, da je na voljo dovolj prostora za namestitev sistema. |
| Gradnja | Glavni cilj med gradnjo je sistem zgraditi čim hitreje, saj je vsak dan gradnje predstavlja strošek za investitorja. |
| Začetek delovanja | Sistem je treba napolniti z vodo in pred prenosom rib v sistem preizkusiti izpolnjevanje operativnih zahtev:<br>• stopnja recirkulacije,<br>• morebitno puščanje,<br>• vodostaj,<br>• zračni tokovi,<br>• kapaciteta oksigenacije,<br>• zmogljivost razplinjevanja,<br>• nadzor nad sistemom in delovaje protokolov v izrednih primerih.<br>Naslednja faza je biološki zagon sistema, ki ga je treba izvesti 4–6 tednov pred prenosom rib v sistem. Do takrat je treba pripraviti SOP (standardne operativne postopke) za zagon sistema. Od končne izdelave do naselitve prvih rib v sistem je najmanj 8 tednov. |

## 12.2 Študija izvedljivosti: lokacija in infrastruktura

V tabeli 2 so opisani najpomembnejši kriteriji za določanje lokacije in infrastrukture pri načrtovanju novega akvaponskega sistema.

Tabela 2: Opis kriterijev za določanje lokacije in infrastrukture pri načrtovanju novega akvaponskega sistema

| **Kriterij** | **Opis** |
|---|---|
| Stabilnost mesta in temelji | Voda je težka, zato je za gradnjo akvaponskega sistema treba izbrati stabilno in ravno podlago. Če tla niso stabilna, bodo temelji nestabilni in lahko pride do puščanja zaradi premikov cevi. |
| Podnebne razmere na izbrani lokaciji | Razmisliti je treba, kako zaščititi akvaponski sistem pred hujšimi vremenskimi pojavi. Evropa leži v zmernem podnebnem pasu, za katerega so značilni letni časi z različnimi temperaturami in dolžinami dneva. Zato je treba razmisliti, kaj storiti v obdobjih z nizkimi temperaturami in kratkim dnevom. Ena od možnosti je ustaviti sistem in začeti znova spomladi; druga možnost je segrevanje vode in zraka ter umetna razsvetljava. Poleti se je treba izogibati visokim temperaturam. Namestimo lahko senčne mreže ali pobarvamo zunanjo stran rastlinjaka z belo barvo. Dobro opremljeni rastlinjaki imajo avtomatizirane prezračevalne naprave. Ne pozabimo, da so sistemi z veliko količino vode odpornejši na pregrevanje. Tudi dostop do vode (npr. izvirska voda) za hlajenje s pomočjo izmenjevalnika toplote lahko pomaga. Poleg sončnega sevanja tudi ribe in električne naprave proizvedejo toplotno energijo, ki jo je treba odstraniti v toplem vremenu. |
| Viri vode in električne energije | Na lokaciji mora biti zanesljiv vir električne energije in vode ustrezne kakovosti ter količine. Upoštevati je treba tudi možnost prekinitve električnega toka. Imate rezervni generator električne energije? Kako ribam zagotoviti kisik? Kako jih ohranjati tople/hladne? Za natančno določitev reakcijskega časa v takšnih primerih je treba izračunati ravnotežne faktorje toplote in mase med podrobno fazo načrtovanja. |
| Dostopnost, vhod, zaščita | Lokacija mora biti dostopna za prevoz opreme, zelenjave in rib. Sistem mora biti vedno dostopen tudi za nujne intervencije. Po drugi strani pa je treba preprečiti dostop nepooblaščenim osebam zaradi nevarnosti okužb in bolezni. |
| Namenski prostori za delo in skladiščenje | Pri načrtovanju akvaponskega sistema je treba upoštevati vse postopke in delovne procese, vključno s prostorom za shranjevanje ribje hrane, čistilnimi pripomočki in čistilnimi sredstvi, opremo za izvedbo monitoringa in delovno obleko. Potrebna je tudi miza ali priročna pisarna za delo z dokumentacijo in shranjevanje navodil za uporabo, vzdrževanje in odpravljanje napak. |

a) b)

Slika 1: Poškodba na rastlinjaku zaradi vetra (a) in zasenčenje rastlinjaka (zaščita pred močno sončno svetlobo in rastjo alg (b)) (foto: U. Strniša)

## 12.3 Bazen za ribe

Osnovni sestavni deli akvaponskega sistema so bazeni za ribe, enota za odstranjevanje blata, biofilter, zbiralnik, gredi za rastline, črpalke in cevi. Upoštevati je treba funkcijo, zahteve za materiale in lokacijo vsake od njih ter medsebojno povezavo vseh sestavnih delov. Na podlagi povezave med sestavnimi deli lahko določimo število potrebnih črpalk.

Ribe bodo v bazenu relativno dolgo, zato ga je treba izbrati previdno. Vsi materiali, zasnova in prostornina bazena so pomembni in bi morali omogočati razmeroma enostavno opazovanje rib, ravnanje z njimi, odstranjevanje trdnih delcev in dobro kroženje vode (simulacija naravnega toka vode).

### 12.3.1 Prostornina

Prostornina bazena za ribe je odvisna od naslednjih dejavnikov: (i) števila rib, ki jih bomo gojili, (ii) prostornine bivalnega prostora, ki ga potrebuje posamezna vrsta rib, in (iii) načina ohranjanja temperature vode. Zasnova akvaponskih sistemov temelji na količini krme za ribe, ki je povezana z gostoto rib. Zahtevana prostornina bazena za ribe temelji na ciljni gostoti rib in biomasi. Če je ciljna gostota 10 kg/$m^3$ in nameravamo gojiti 30 kg rib, bo potreben bazen s prostornino 3000 L. Zavedati se moramo tudi, da bodo ribe rastle, zato se bosta v rastnem ciklu povečala tudi gostota rib in biomasa. Temperatura vode v večjih sistemih ponavadi ne niha/ostaja nespremenjena.

a) b)

Slika 2: V manjših bazenih za ribe se temperatura vode hitreje spreminja (a), v bazenih z več vode pa bo temperatura načeloma nespremenljiva (b)

### 12.3.2 Oblika bazena za ribe

Bazeni za ribe so običajno okrogli ali pravokotni, poznamo tudi bazene v obliki dvojnega D ali neskončne bazene, ki so hibrid med okroglimi in podolgovatimi bazeni (slika 3). V tabeli 3 so povzete nekatere splošne prednosti in slabosti okroglih, kvadratnih in bazenov tipa dvojni D. Poleg oblike bazena je treba upoštevati še druge dejavnike, npr. vrsto rib, ki jih želimo naseliti. Ribe, kot so menek, romb, list ipd., se večinoma zadržujejo na dnu bazena in imajo raje počasen vodni tok. Pri ribah, ki se zadržujejo na dnu bazena čiščenje bazena dejansko dosežemo z gibanjem rib in ne s hidravličnim gibanjem vodnega stolpca. Zasnova kvadratnega bazena je lahko dobra rešitev za gojenje rib, ki se zadržujejo na dnu. Drugi vidik zasnove bazena je naklon dna bazena. Čeprav ima zelo majhen učinek na sposobnost samočiščenja sistema, lahko večji naklon pomaga pri izpraznitvi celotnega bazena.

a) b) c)

Slika 3: Oblike bazenov za ribe: okrogli bazen (a), pravokotni bazen (b) in bazen tipa dvojni D (c) (vir: www.aqua-tech.eu, Bregnballe 2015)

Tabela 3: Prednosti in pomanjkljivosti okroglih, kvadratnih in bazenov dvojni D

| Vrsta bazena | Prednosti | Pomanjkljivosti |
|---|---|---|
| **Okrogli** | • Konstrukcijska stabilnost, brez pritiskov na vogalih<br>• Manj potrebnega materiala (nižji strošek bazena)<br>• Konceptualno preprost<br>• Homogena razporeditev in dobra kakovost vode<br>• Pretočni pogoji (centrifugalne sile) sperejo usedline proti izlivu v središču (visok učinek samočiščenja)<br>• Kratkotrajno zadrževanja trdnih delcev<br>• Enostaven nadzor in regulacija kisika | • Majhna izkoriščenost prostora<br>• Težave s tesnjenjem (cev vstopa skozi steno bazena)<br>• Težka segmentacija<br>• Različne stopnje pretoka znotraj bazena |
| **Kvadratni** | • Učinkovita raba prostora<br>• Enostavno tesnjenje<br>• Enostavno segmentiranje<br>• Lažje ravnanje z ribami | • Nizka učinkovitost samočiščenja (pojavijo se lahko mrtve cone, koncentracijski gradienti raztopljenega kisika in amonijaka)<br>• Potreben visok pretok za preprečitev nizke učinkovitosti samočiščenja<br>• Dolgotrajno zadrževanje trdnih delcev<br>• Srednje učinkovit nadzor in regulacija kisika<br>• Tlačne točke v strukturi<br>• Odpadki krme so večji zaradi večje razpršenosti rib |
| **Dvojni D** | • Učinkovita raba prostora<br>• Možno delno mešanje vode<br>• Enostavno segmentiranje<br>• Srednje učinkovito samočiščenje<br>• Enostaven nadzor in regulacija kisika<br>• Ribe lahko plavajo v krogih | • Konceptualno zapleten<br>• Velika količina potrebnih materialov<br>• Dražji |

### 12.3.3 Višina in razmerja

Bazen za ribe mora biti na takšni višini, da osebju omogoča opazovanje rib in delo z njimi. Če uporabljamo globlje bazene, je treba načrtovati okno za opazovanje rib in/ali stabilno pot za dostop do bazena.

a)

b)

Slika 4: Bazeni za ribe, postavljeni nad tlemi (a) (foto: U. Strniša), in na tleh (b)

(vir: www.humblebynature.com/about-us/projects-at-humble- by-nature/aquaponics-solar-greenhouse)

Višina bazena določa tudi višino vodnega stolpca in hitrost pretoka vode do naslednje komponente akvaponskega sistema (glejte poglavje 2). Pri okroglem bazenu moramo poskrbeti, da razmerje premer: višina upošteva določeno razmerje. Še ustrezno razmerje je 6 : 1. Če so bazeni širši, bo odstranjevanje trdnih snovi ovirano, distribucija vode iz dotoka pa bo neenakomerna. Zmanjšanje razmerja pod 3 : 1 bo ustvarilo vrtinec v osrednjem odtoku, kisik pa se v bazenu ne bo enakomerno porazdelil. Faktorji pod 3 : 1 morajo vsebovati stranski odtok (dvojni odtok), da se prepreči pojav vrtinca.

### 12.3.4 Materiali

Najpomembnejše je, da so materiali varni tako za ribe kot za rastline. To pomeni, da se je treba zaradi strupenosti cinka izogibati pocinkanim materialom. Tudi napačna vrsta plastike lahko škoduje ribam. Toplotno varjena plastika (t. i. termoplasti, kot so PE, PP ali PVC) je najboljša, čeprav običajno dražja izbira. Pri izbiri plastike je treba upoštevati naslednje dejavnike:

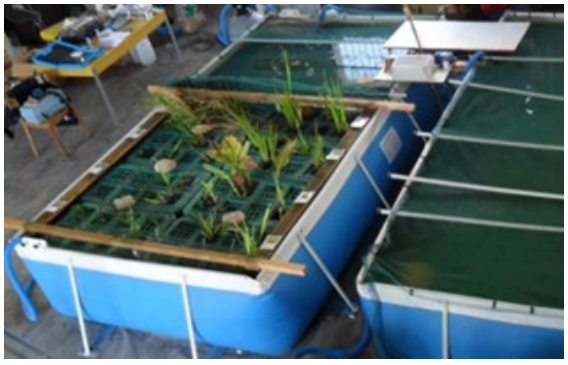
- odpornost na UV-žarke (črn PE je odporen na UV-žarke),
- poroznost (PP je poroznejši od PE in zato omogoča rast biofilma),
- toplotna stabilnost (PVC postane krhek pod 0 °C).

Zaradi odpornosti na vremenske razmere je PE izbira za dolgotrajne instalacije v rastlinjakih ali na prostem.

a)

b)

c)

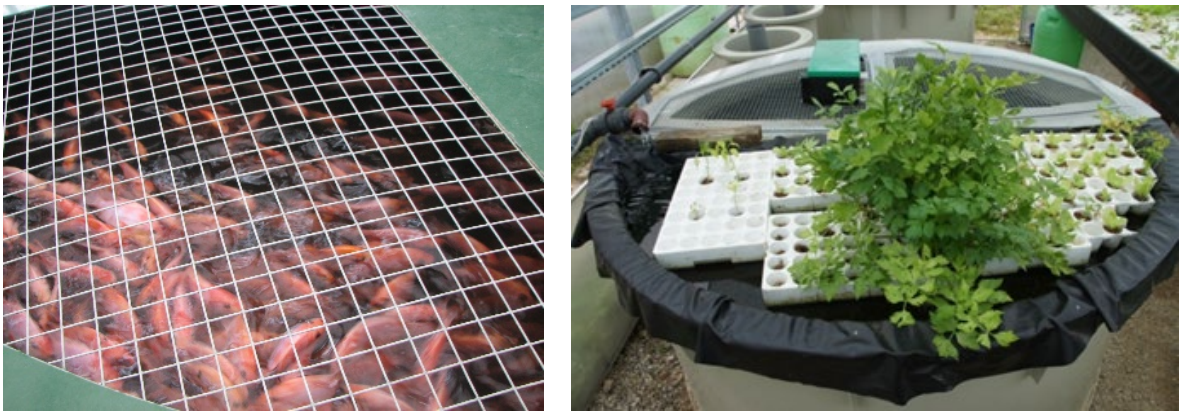


d)

Slika 5: Različni materiali bazenov za ribe: polietilen (a) (foto: U. Strniša), beton (b) (foto: U. Strniša), jeklene cisterne, prekrite s plastično oblogo (c) (foto: ZHAW), in PVC-bazeni (d)

### 12.3.5 Pokrov bazena

Zdrave ribe so živahna bitja in lahko skočijo iz bazena. Da bi preprečili naključne izgube in poškodbe rib, bazene pokrijemo, na ta način pa tudi preprečimo, da bi v bazen zašli tujki (slika 6a). Pokrovi tudi zmanjšujejo izgube vode zaradi izhlapevanja in zagotavljajo senčenje, kar zmanjšuje pregrevanje in preprečuje rast alg, počutje rib pa se posledično izboljša. Poleg tega je večina rib raje v senci kot na neposredni sončni svetlobi (Slika 6b).



a) b)

Slika 6: Bazen za ribe, prekrit z mrežo, da se preprečijo nenamerne izgube (a); pokrov za bazene in zasajeni splavi preprečujejo rast alg in zagotavljajo senco (b) (foto: U. Strniša)

### 12.3.6 Pretok vode

#### 12.3.6.1 Dotok in odtok

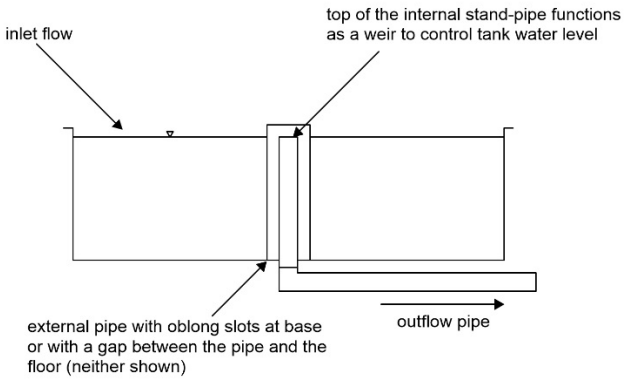
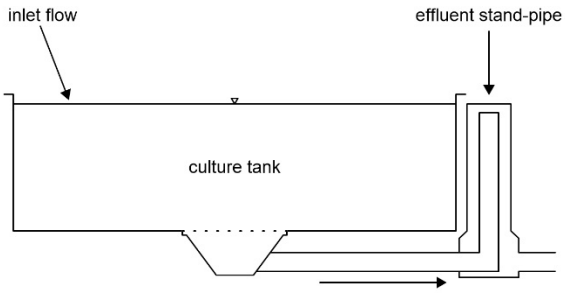
V idealnih razmerah naj bi voda v bazen pritekla pod kotom od zgoraj, da vodo obogatimo s kisikom in ustvarimo krožni tok v bazenu (Slika 7a). Če je voda prenasičena (nasičenost s kisikom > 100 % zaradi enote za oksigenacijo), mora voda v bazen za ribe vstopiti skozi perforirano cev pod površino, kar ustvari krožni pretok vode. Prva odprtina mora biti tik nad površino vode, skupni prerez vseh odprtin v dotočni cevi pa mora biti enak preseku cevi. Perforacije morajo biti tudi manjše, kot je velikost rib v sistemu.

a) b)

Slika 7: Primeri dotoka in iztoka vode: dotok vode, nameščen nad bazenom pod kotom (a); iztok vode je na sredini dna bazena (b) (foto: U. Strniša)

Iztok vode iz bazena naj bi omogočal odstranjevanje trdnih delcev, hkrati pa preprečil izgubo rib, zato je običajno nameščen na sredini dna bazena (slika 7b, tabela 4). Pravilno dimenzioniranje sistema in vodnih tokov preprečuje zamašitev in prelivanje. Vsak bazen za ribe mora biti zgrajen kot ločen hidravlični element, saj se bo hidravlična komunikacija med bazeni za ribe končala s popolno izgubo vseh rib, če pušča ena cev ali en bazen. Vsak bazen zato potrebuje možnost za prelivanje (tabela 4). Pri ZHAW bazeni delujejo z zunanjimi odprtinami ali zunanjimi prelivi, tako da strukture znotraj bazena ne motijo postopkov ravnanja z ribami.

Tabela 4: Možnosti odtoka vode (vir: Timmons & Ebeling 2007)

| Vrsta | (+) Prednosti<br>(–) Pomanjkljivosti | Prerez |
|---|---|---|
| Notranji preliv | (+) Nadzor vodostaja<br>(+) V cevovodu ni usedlin<br>(–) Moten ulov rib z mrežo |  |
| Zunanji preliv | (+) Nadzor vodostaja<br>(+) Bazen brez instalacij<br>(–) Morebitna prisotnost usedlin v cevovodu |  |

## 12.4 Ločevanje trdnih snovi

V fazi načrtovanja je treba sprejeti več odločitev.

**(i) Ali je potreben ločen postopek odstranjevanja trdnih snovi?** V sistemih z nizko stopnjo gostote rib lahko korita z rastnim substratom odstranijo trdne snovi in delujejo kot biofilter, vendar se bodo sčasoma pojavile zamašitve in anaerobna območja, ko se količina trdnih snovi povečuje.

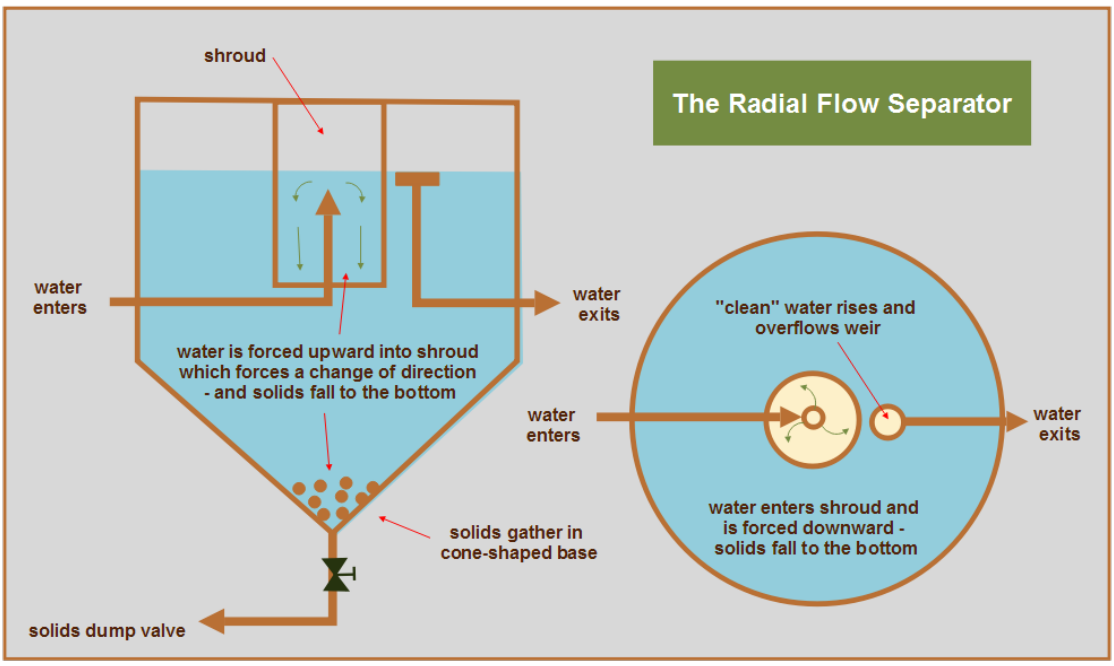
**(ii) Katera naprava je primerna za odstranjevanje trdnih snovi?** Delci odpadnih snovi v vodi so lahko različnih velikosti, kar vpliva na tehnologije, ki se uporabljajo za njihovo odstranjevanje. V sistemih z nižjo gostoto naselitve (< 10 kg/$m^3$) se lahko uporabljajo naprave, ki temeljijo na usedanju delcev, medtem ko v sistemih z višjo gostoto naselitve (> 10 kg/$m^3$) potrebujemo vrtljive bobnaste filtre (slika 8).

**(iii) Kako bazen za ribe povezati z napravo za odstranjevanje trdnih snovi?** Voda bi morala vedno gravitacijsko teči iz bazena za ribe v separator trdnih snovi brez črpanja, saj bo slednje le zmanjšalo velikost delcev in otežilo njihov odstranjevanje. Da bi se izognili usedanju, mora biti hitrost pretoka v cevi med 0,7 in 1,0 m/s.

**(iv) Kaj storiti z blatom?** Ribje blato je bogato s hranili, ki jih je mogoče ponovno uporabiti kot gnojilo. Obstaja več možnosti za njegovo odlaganje v kanalizacijo, vključno z naslednjim:

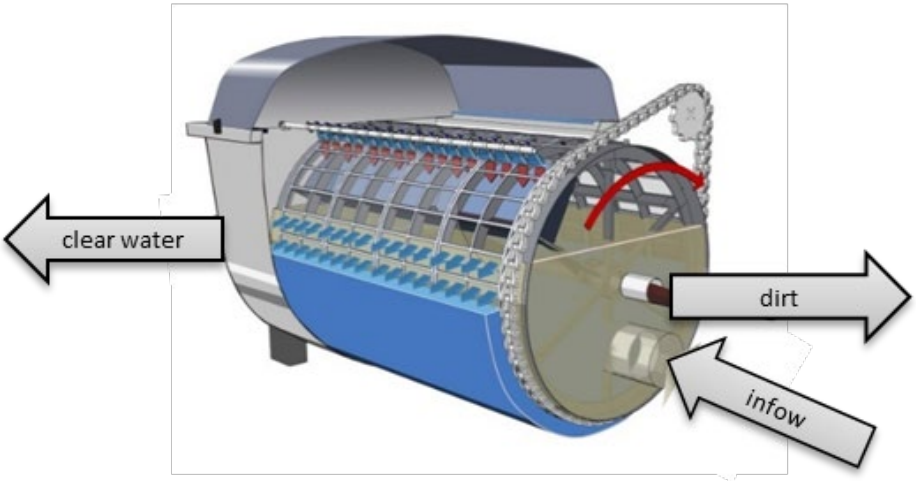
- shranjevanje in ponovna uporaba v tradicionalnem vrtnarjenju in kmetijstvu (vendar je to lahko z zakonom prepovedano),
- kompostiranje s strukturno bogatimi zelenimi odpadki (drevesni posek, slama),
- vermikompostiranje (postopek kompostiranja z uporabo različnih vrst deževnikov),
- anaerobna predelava in ponovni vnos digestata v akvaponski sistem (Goddek *et al.* 2016),
- denitrifikacija za uravnavanje razmerja N : P v akvaponskem sistemu, da se zmanjša omejitev zaradi pomanjkanja P.

Večina tehnološko manj razvitih sistemov uporablja gravitacijsko usedanje za odstranjevanje trdih delcev. Filtri v tej kategoriji so: vrtinčni filter, lamelni separator in radialni pretočni separator (slika 8). Filtri za usedanje so običajno primerni le za delce, ki so večji od 100 µm. Toda zaradi velikega pretoka in aktivnega mešanja v vodnem stolpcu bo večina delcev v najsodobnejših intenzivnih RAS manjša od 100 µm. Zato uporaba samo usedalnih filtrov ni optimalna rešitev za intenziven RAS.




Slika 8: Shema radialnega pretočnega separatorja (www.garydonaldson.net)

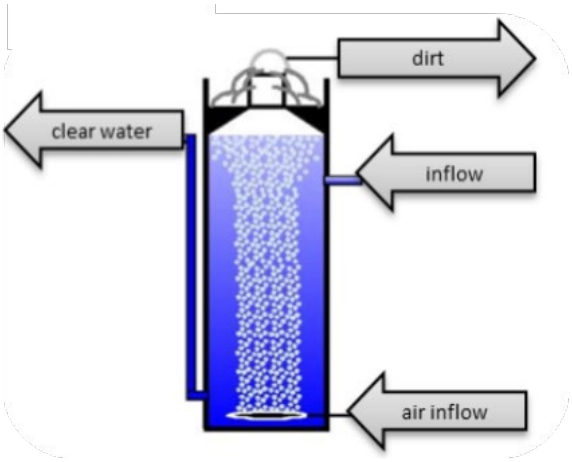
Večina sodobnih in intenzivnih RAS uporablja vrtljive bobenske filtre za filtracijo trdnih snovi (slika 9). Ti bobenski filtri delujejo na naslednji način: voda vstopi v filter in se filtrira skozi mikro odprtine (običajno obložene s filtrskim blagom premera 40–100 µm), trdne delce zadržujejo in jih nato iz filtrskih elementov speremo v predel z blatom. Odpadna voda iz blata nato zapusti sistem in vstopi v čistilno napravo.




Slika 9: Bobnasti filter (www.nordicwater.com)

Poleg bobnastih filtrov se pogosto uporabljajo tudi odstranjevalci pene (angl. *foam fractionators*) (slika 10). Pretežno se uporabljajo za odstranjevanje organskih spojin, npr. beljakovin, poročajo pa

tudi, da odstranjujejo številne druge organske in anorganske molekule (npr. maščobne kisline, bakterije, kovine).




Slika 10: Diagram odstranjevalca pene (www.epd.gov.hk)

Tabela 5: Značilnosti različnih sistemov za filtracijo trdnih snovi

| | **Sedimentacijski filter** | **Bobnasti filter** | **Plavajoči filter** |
|---|---|---|---|
| Način delovanja | Gostota (gravitacija) | Filtracija (velikost) | Flotacija (polarnost/gostota) |
| Velikost delcev | > 100 µm | > 30 – 100 µm | < 30 µm |
| Padec tlaka | Nepomembno | 20 cm | Nepomembno |

a) b) c)

Slika 11: Različne naprave za odstranjevanje trdnih snovi: lovilnik blata (a); filter za grobo obdelavo (b); rotacijski bobnasti filter v ZHAW (c) (foto: U. Strniša)

a) b)

Slika 12: Bazen za shranjevanje blata (a) (foto: U. Strniša) in kompost (b) (foto: Pixabay)

## 12.5 Biofilter

Biofilter je osrednji sestavni element vsakega recirkulacijskega ribogojnega sistema in je pomemben za ohranjaje zdravja rib, kar ima posledično tudi ekonomski učinek. Če biofilter ne deluje pravilno, se raven amonijaka in nitrita v bazenih za ribe lahko poveča, zato je treba biofilter ustrezno načrtovati in poskrbeti za njegovo optimalno delovanje. To pomeni, da biofilter ne sme biti premajhen. Na njegovo delovanje pa vpliva tudi enakomerno mešanje, previsoka raven nitratov v vodi, prenizek pH vode, prešibko ali premočno prezračevanje ali uničenje biofiltra s soljo ali zdravili. Drugi vidik odpovedi biofiltra je nezadostno kroženje vode. Biofilter lahko razgradi le tisto, kar dobi iz bazena za ribe. Če je kroženje prešibko, tudi prevelik biofilter ne bo omogočil ustrezne kakovosti vode. Če se želimo temu izogniti, sledimo zgledu v poglavju 2, da ustrezno izračunamo hitrost recirkulacije v sistemu.

### 12.5.1 Ali je potreben ločen biofilter

V sistemih z nizko gostoto ribjega staleža lahko rastna gred prevzame vlogo odstranjevanja trdnih snovi in biofiltracije. Če je obremenitev s trdnimi snovmi previsoka, lahko pride do zamašitve in anaerobnih pogojev, kar zmanjšuje učinkovitost biofiltracije. Če želimo, da rastna gred deluje kot biofilter, je priporočena nizka gostota ribjega staleža ali ločena naprava za odstranjevanje trdnih delcev.

### 12.5.2 Izbira biofiltra

Najpogosteje uporabljen tip biofiltra v akvaponiki in pri RAS je biofilter s premičnim dnom (MBBR) (tabela 5). Medij filtra s premikajočo se ploščo sestavljajo majhne (1–2 cm) plastične strukture z visoko specifično površino (npr. Kaldness k1). Ta sklop se ob zračenju neprestano premika (npr. z dovajanjem zraka skozi ploščo na dnu bazena za biofilter). Stalno gibanje omogoči samočistilni

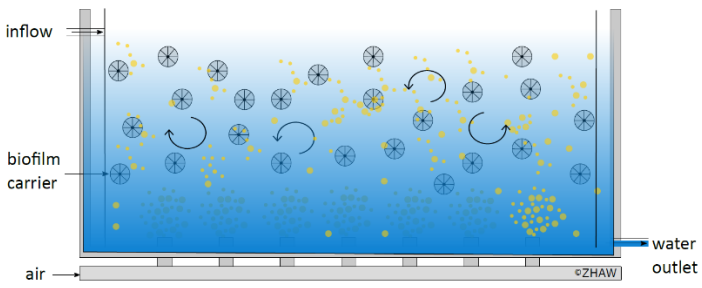
učinek in preprečuje obsežno rast bakterij. Za čiščenje gibljivega dela je treba filter odklopiti iz RAS in nato sprati v obratni smeri, in sicer približno enkrat na teden.

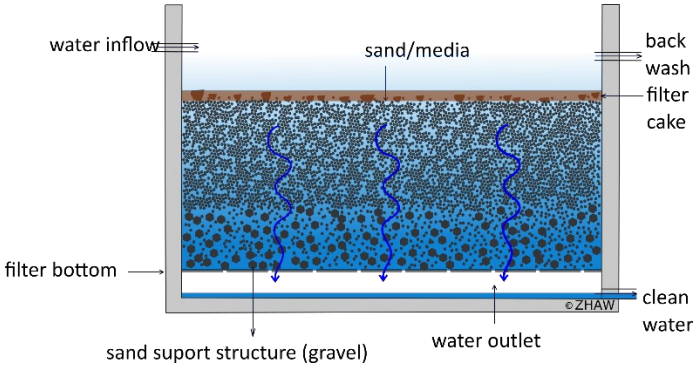
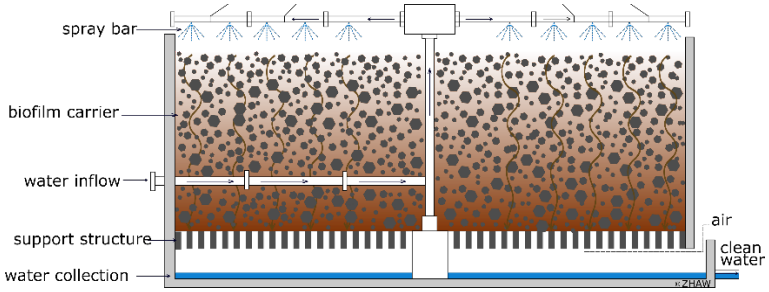
Nosilni medij z zagotavljanjem velike površine podpira rast mikrobnih biofilmov. Običajno so MBBR napolnjeni z bionosilci v 40–60 %, kar ustvari absolutno površino 300–600 $m^2/m^3$ prostornine filtra. Zračno gibanje ustvarja strižne sile na biofilmih in ohranja v ravnovesju rast in razpad biofilma. Če se biofilm na nosilcih preveč zgosti, potem je zračenje prešibko, če ga ni, pa je zračenje premočno. Glavna prednost MBBR je razplinjevanje in prezračevanje s pretokom zraka, ki ga ne zagotavljajo fiksni filtri.

**Fiksni filtri** imajo nepremičen medij biofiltra. Filter z nepremičnim ležiščem deluje tudi kot naprava za odstranjevanje trdnih snovi, saj ima filtracijske zmogljivosti za filtriranje ostankov trdnih snovi in organskih spojin, ki niso bili odstranjeni v enoti za ločevanje trdnih snovi. Če je organska obremenitev večja od naravne razgradnje na površini filtra, se lahko filtrirni kolač zamaši zaradi delcev in bakterij. Filter je treba zato redno izpirati, vodo za izpiranje pa obdelati ločeno (npr. z usedanjem) (tabela 5).

**Peščeni filtri** so zadnji od treh pogosto uporabljenih filtrov in delujejo tako, da se voda pretaka skozi številne nosilce biofilma. Največja prednost tega filtra je velik razplinjevalni učinek. Glavna pomanjkljivost so visoki stroški obratovanja, ki so potrebni za dvig vode na želeno višino. Ker se nosilci ne premikajo redno kot v primeru MBBR, se biofilm na teh nosilcih zgosti in zmanjša stopnjo nitrifikacije. V akvaponiki so ti filtri zelo pogosti, saj omogočajo istočasno izmenjavo plinov (razplinjevanje $CO_2$ in prezračevanje). Poleg tega potrebujejo samo kroženje vode in nobene dodatne naprave za prezračevanje, kot v primeru MBBR (npr. puhalo), zaradi česar je sistem zelo enostaven za izdelavo.

Tabela 5: Vrste biofiltrov, njihove prednosti in slabosti v smislu zmogljivosti sistema

| Biofilter | Osnovna konstrukcija | Prednosti in slabosti |
|---|---|---|
| Biofilter s premičnim dnom (MBBR) |  | Nitrifikacija ++<br>Filtracija –<br>Razplinjevanje + |

| | | |
|---|---|---|
| Fiksni filter |  | Nitrifikacija +<br>Filtracija +<br>Razplinjevanje – |
| Peščeni filter |  | Nitrifikacija +<br>Filtracija –<br>Razplinjevanje ++ V primeru zračenja– – |

a) b)

Slika 13: Dve različici suboptimalnih biofiltrov v gibljivih medijih: biofilter, ki vsebuje preveč bionosilcev (a) (foto: R. Bolt), in biofilter brez prezračevanja (b) (foto: U. Strniša)

## 12.5.3. Razplinjevanje in prezračevanje

V bazenih za ribe, biofiltru in gojiščih je treba zagotoviti ustrezno zračenje. Obstaja veliko načinov, vključno z uporabo črpalk, vodnih razpršilcev, rotorjev, puhal in kompresorjev. Tako kot pri črpanju vode mora biti tudi zračenje vode zanesljivo in energetsko učinkovito. Zračenje v manjših sistemih je mogoče zagotoviti z uporabo energetsko učinkovite zračne črpalke in vinilnih cevi za uporabo v živilstvu, ki so povezane z zračnimi kamni, nameščenimi na dnu bazena ali ob njih, ter rastnimi gredami. Zračne črpalke običajno niso dovolj zmogljive za prezračevanje večjih sistemov, ki običajno uporabljajo puhalo ali generator kisika.

V akvaponiki se zračne črpalke in zračni kamni uporabljajo za vnos zraka v vodo, da rastlinske korenine in ribe oskrbimo s kisikom. Zračne črpalke so na voljo v različnih zmogljivostnih razredih: od črpalk z zelo majhno do tistih z zelo veliko zmogljivostjo, ki so povezane z enim oz. številnimi zračnimi kamni, od katerih vsak vnese na stotine drobnih mehurčkov svežega zraka, bogatega s kisikom. Lažje je potiskati zrak iz zračnega kamna, ki je v plitvi vodi, vendar pa pri tem v vodo ne vstopi toliko kisika, kot če je zračni kamen nameščen globlje. Če je zračni kamen nameščen globlje, je število mehurčkov večje in so le ti zaradi večjega tlaka manjši. Posledično imajo skupaj večjo površino kot večji mehurčki. Mehurčki morajo potovati dlje časa do površja, pri čemer voda absorbira kisik vse do vrha bazena, kjer na površini počijo.

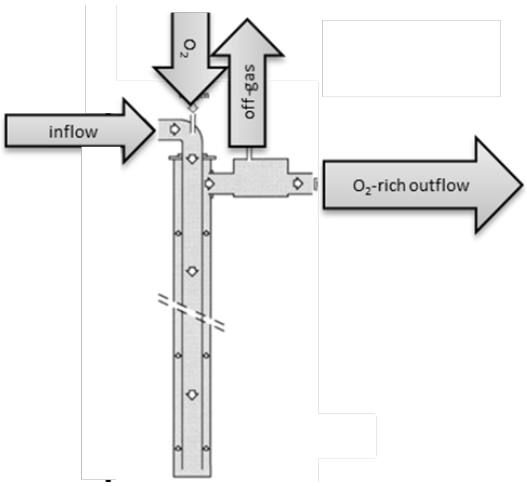
## Učinkovitost vnosa kisika

Osnovne tehnologije oksigenacije so U-cev, oksigenacijska cona in oksigenator (LHO) (slike 14–17, tabela 6).

Tabela 6: Značilnosti različnih možnosti učinkovite obogatitve kisika v RAS

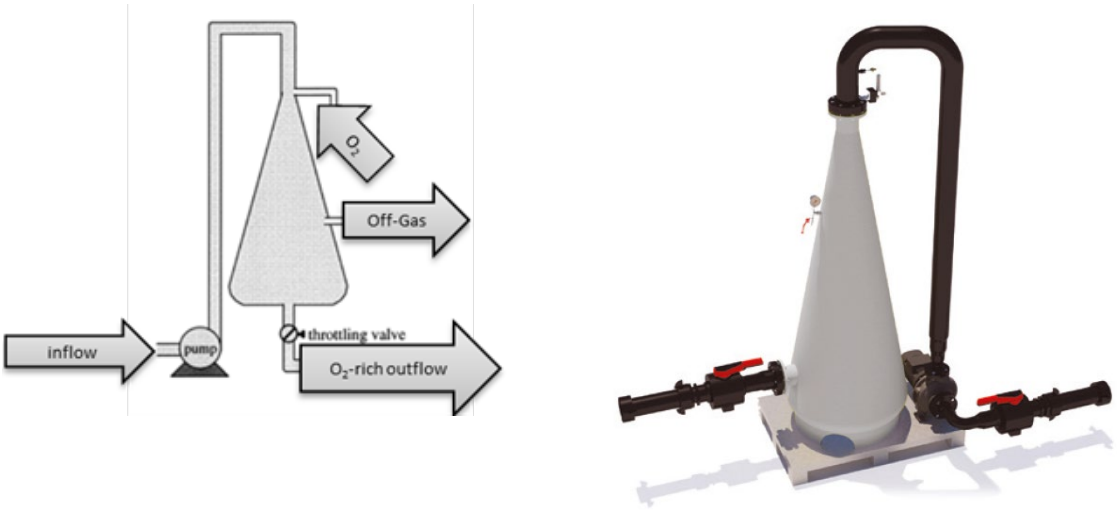
| | **U-cev** | **Oksigenacijaki stožec** | **LHO** |
|---|---|---|---|
| Način delovanja | Povišanje tlaka z vodnim stolpcem; daljši stik vode s kisikom | Zmanjšanje števila bakterij zaradi poškodbe DANN | Previsok tlak vodnega stolpca, velika kontaktna površina vode s kisikom |
| Izguba tlaka | Ne | Visoka (2–3 m, 0,2–0,3 bara) | Srednja (cca 1 m, 0,1 bara) |
| Učinkovitost | Visoka | Visoka | Srednja |

Najpreprostejša tehnologija raztapljanja kisika v sistemski vodi je **U-cev** (slika 14). Kisik se vbrizga na dnu 10–30 m globoke cevi, skozi katero teče sistemska voda. Zaradi visoke hidravlične razlike tlak povzroči raztapljanje kisika v vodnem stolpcu. Ker pa ta način zahteva, da se elemente vgradi globoko v tla, pa v praksi pogosto ni izvedljiva.




Slika 14: U-cev

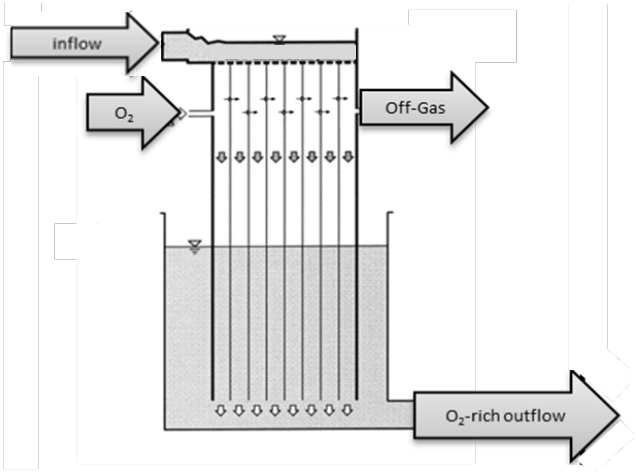
Oksigenacijski stožec (slika 15) izkorišča isti način delovanja kot U-cev. Razlika je v tem, da visok hidravlični tlak povzroči črpalka. Ta tehnologija je še posebej primerna za zadovoljevanje najvišjih potreb po kisiku in je zalo učinkovita pri raztapljanju kisika.



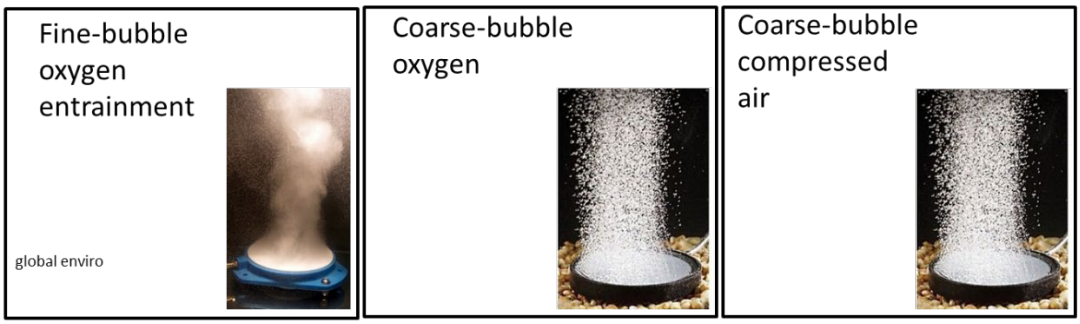

a) b)

Slika 15: Oksigenacijski stožec za raztapljanje čistega kisika pri visokem tlaku
(vir: Timmons and Ebeling 2007 (a) in Bregnballe 2015 (b))

LHO uporablja drugačen način obogatitve vode s kisikom. Voda teče skozi perforirano ploščo in povzroča, da pride voda do plina v mešalni komori. LHO delujejo zelo ekonomično, čeprav z njim ne moremo doseči tako visokih koncentracij kisika v vodi kot s stožci.




Slika 16: Oksigenator




Slika 17: Različne možnosti obogatitve s kisikom pri nizki učinkovitosti

Tabela 7: Značilnosti različnih možnosti obogatitve kisika z nizko učinkovitostjo v sistemu RAS

| | **Vnos ali nalaganje kisika s finimi mehurčki** | **Kisik iz grobih mehurčkov** | **Stisnjen zrak iz grobih mehurčkov** |
|---|---|---|---|
| Uporaba | Številni fini mehurčki se dvigajo počasi. Majhni mehurčki imajo veliko razmerje med površino in prostornino. | Gradient z visoko koncentracijo (ker imamo čisti kisik). Večino časa gauporabljamo za nujno oksigenacijo. | Ne potrebuje čistega kisika, ima pa majhen izkoristek, ker je le 21 % kisika. Ostalo je $N_2$ itd. Lahko povzroči prenasičenost $N_2$. |
| Izguba tlaka | 1,5 bara | Začenši od 300 mbar + vodni stolpec | Začenši od 300 mbar + vodni stolpec |
| Učinkovitost | Srednja (do 20 %) | Nizka (5 %) | Zelo nizka (1 %) |

## 12.6 Rastne grede

### 12.6.1 Pretok vode in pozicioniranje rastnih gred

Pretok vode je najpomembnejši del pravilnega načrtovanja sistema in natančnega položaja rastnih gred. Treba je skrbno razmisliti in se po možnosti posvetovati s strokovnjakom o pravilnem položaju gred. Rastne grede je treba namestiti za biofiltrom in pred vračanjem vode v bazen za ribe.

Razmisliti je treba, kako bo voda tekla iz rastne grede v bazen za ribe. Če se to zgodi zaradi gravitacije, mora biti gladina vode v gredi višja kot raven bazena za ribe, kar lahko pomeni, da moramo bazen in priključke vkopati v tla oz. bodo grede tako visoko, da onemogočajo enostavno delo. Običajno je vmesni bazen s črpalko nameščen za rastno gredo, s čimer se omogoči črpanje vode v bazen za ribe. Povezava med biofiltrom in rastno gredo (ali več gredami) mora biti čim krajša, dotok in odtok pa morata biti nameščena na nasprotnih straneh posamezne grede.

Ena od prednosti gojenja brez zemlje je možnost oblikovanja primernih pogojev za delo z rastlinami. V idealnem primeru naj bo sistem zasnovan na višini, ki osebju omogoča enostavno delo z rastlinami (slika 18).

a)

b)

Slika 18: Različne višine rastnih gred: dvignjene gredice omogočajo udobno delo (a); rastne grede na tleh (b) (foto A. Graber, ZHAW)

### 12.6.2 Gradbeni material

Tako kot pri bazenih za ribe sta najpomembnejša vidika zagotavljanje varnosti rib in rastlin ter minimalne izgube vode iz sistema. Obloge za ribnike so pogosto varne in poceni, vendar je tveganje za škodo veliko.

### 12.6.3 Dotok in odtok vode

Premera dotoka in odtoka vode morata omogočiti dovolj velike količine vode za celoten sistem. Praviloma je premer cevi za dotok enak premeru cevi za odtok. Vsaka odprtina predstavlja tveganje za izgube vode, če tesnjenje ni ustrezno. Tveganju se je treba izogniti tako, da v sistemu izvrtamo čim manj odprtin.

## 12.7 Stiki, gibanje in zračenje vode

### 12.7.1 Vodovod

Najpogosteje se uporabljajo PVC-cevi. Na voljo so v številnih velikostih, so cenovno ugodne, enostavne za rezanje in prilagajanje na širok nabor priključkov ter običajno vzdržijo dlje časa. Lahko se uporabijo tudi drugi materiali, ki pa morajo biti varni tako za ribe in rastline kot tudi za proizvodnjo hrane. Navajamo nekaj splošnih nasvetov.

- Cevi morajo biti ustreznih velikosti: če so premajhne, bo prišlo do puščanja, če so prevelike, se trdne snovi ne bodo izplaknile zaradi nizkega tlaka vode.
- Izogibati se je treba fleksibilnim cevem, da bi zmanjšali nihanje pretoka vode in biološko kopičenje (angl. *Biofouling*) oz. kopičenje mikroorganizmov, rastlin, alg ali živali na vlažnih površinah (https://en.wikipedia.org/wiki/Biofouling).
- Povezave med različnimi komponentami sistema morajo biti čim krajše in čim bolj ravne. To omogoča gladko gibanje vode. Vsaka krivulja ali zanka je ovira pri pretoku vode.

### 12.7.2 Pretok vode in črpalke

Ko akvaponske komponente povežemo in napolnimo z vodo, bi morala voda vzdrževati stalno raven gladine v vseh komponentah. Ker pa mora krožiti, je treba vodo premikati bodisi z gravitacijo bodisi s črpanjem. Načrtovanje hidravličnih sistemov naj sledi zgledu iz poglavja 2. Po pripravi diagrama procesnega toka je treba v fazi podrobnega načrtovanja dimenzionirati vsako cev, izbrati ustrezen premer cevi, ki je odvisen od volumskega pretoka in hitrosti (izračunano predhodno). Pretok določimo na podlagi dolžine napeljave in števila zavojev. Potem je treba izračunati še izgube zaradi trenja. Te izgube je treba nadomestiti z razlikami tlaka vode med različnimi višinami vodne gladine. Črpanje je treba izvesti le v eni točki celotnega pretoka (z dvema vzporednima ločenima črpalkama), da se zagotovi stabilen pretok.

Črpalka je izjemno pomemben sestavni del akvaponskega sistema, saj zagotavlja zanesljivo kroženje vode v sistemu. Voda mora krožiti, da mikroorganizme in rastline oskrbuje s potrebnimi hranili ter da ribam zagotovi okolje brez škodljivih snovi. Neustrezna ali nezanesljiva črpalka lahko privede do nezadostne ali prekomerne oskrbe s hranilnimi snovmi, kar lahko škoduje bakterijam, ribam in rastlinam. Neustrezno kroženje, ki je prehitro ali prepočasno, bo hitro vplivalo na vse življenje v akvaponskem sistemu.

Na trgu so številne črpalke, ki jih je mogoče razdeliti v dve glavni skupini: potopne črpalke in vgrajene (centrifugalne) črpalke. Potopne črpalke so potopljene v bazen, kar prepreči pregrevanje. Običajno so manj učinkovite od vgrajenih črpalk in so primernejše za manjše sisteme. Črpalke z integriranim ali centrifugalnim sistemom so črpalke z zračnim hlajenjem in so nameščene izven bazena. Lahko imajo motorje z večjo močjo in prečrpajo večje količine vode.

Pri zmogljivosti črpalke za akvaponski sistem je treba najprej določiti pretok, tj. koliko vode lahko črpalka prečrpa v določenem časovnem obdobju. Običajno se meri v litrih na minuto ali litrih na uro. Črpalka mora biti zmožna prečrpati celotno količino vode v sistemu. To pomeni od 3-krat na uro v zelo intenzivnih sistemih do nekajkrat na dan v ekstenzivnih sistemih. Edini način za izračun hitrosti kroženja vode je pravilen izračun masnega pretoka (glej vajo 7). Na splošno je bolje kupiti zmogljivejšo črpalko, saj bo omogočila prilagoditev pretoka. Vendar so tovrstne črpalke drage.

Za zmogljivost črpalke je pomembno izračunati tudi vse izgube glave, opisane v vaji 7. Izgube je treba nadomestiti z razlikami v višini gadine vode, ki jo mora črpalka premagati. Običajno bosta bazen za ribe in rastna gred na različnih ravneh. Večja ko je razdalja ali višja ko je razlika, več energije je potrebne za črpanje vode.

Zadnja faza pri določanju ustrezne zmogljivosti črpalke je združevanje pretoka in izgub. Na splošno je za večino črpalk izdelan grafikon, v nasprotnem primeru sta ponavadi navedena največji pretok ($Q_{max}$) in največja višina ($H_{max}$). Črpalke imajo t. i. optimalni črpalni izkoristek pri $H_{max}/d$, ki je običajno okoli $Q_{max}/2$.

Primer načrtovanja: če je treba zagotoviti kroženje 10 $m^3$/h za 2 m, se moramo najprej odločiti, ali želimo uporabiti eno ali dve črpalki. Če želimo uporabljati dve vzporedni črpalki, mora vsaka črpati 5 $m^3$/h za 2 m, vključno z izgubami zaradi trenja v ceveh. Torej potrebujemo dve črpalki, vsaka s $H_{max}$ = 4 m in $Q_{max}$ = 10 $m^3$.

Stroški energije, ki se porabijo za poganjanje črpalke, so pomemben del strukture stroškov upravljanja akvaponskega sistema. Pomembno je poznati tudi električno porabo črpalke. Idealna črpalka delo opravi ob porabi najmanjše možne količine energije. Priporočljivo je kupiti rezervno črpalko v primeru, da se prva pokvari, ali pa upravljati sistem z dvema vzporednima črpalkama in imeti eno rezervno črpalko.

## Uravnavanje vodnega toka in vodostaja

Ciljna hitrost pretoka v ceveh je približno 0,7–1 m/s. Če hitrost pade pod 0,7 m/s, obstaja nevarnost odlaganja blata, nad 1 m/s pa pride do nepotrebne izgube energije zaradi trenja. Hitrost pretoka vode v sistemu lahko prilagodimo z namestitvijo:

- črpalke, ki omogoča uravnavanje pretoka,
- regulacijskega ventila,
- časovnika, priključenega na črpalko,
- regulatorja pretoka vode s senzorjem vodostaja ali brez njega.

V akvaponskih sistemih, se pogosto uporablja t. i. zvončni sifon (angl. *bell siphon*) za uravnavanje pretoka vode in vodostaja. Zvončni sifoni omogočajo, da se voda iz rastnih gred samodejno odvaja v bazen za ribe in črpalka nato vodo iz bazena za ribe prečrpa v gred. Poleg samodejnega uravnavanja vode imajo zvončni sifoni še nekaj drugih prednosti:

- zračenje korenin rastlin,
- stalno in dosledno gibanje vode,
- samodejnost,
- učinkovitost,
- preprostost in zanesljivost.

Obstajajo pa tudi drugi, preprosti načini za uravnavanje ravni gladine vode: pregrade, stoječe cevi in zaviti sifoni (Castelo 2018).

## Težave z gibanjem vode

Če voda ne kroži ali se pretok zmanjšuje, je za to lahko več razlogov:

- črpalka ne deluje,
- lopatice črpalke so poškodovane zaradi peska iz rastnih gred,
- v sistemu ni dovolj vode,
- zračni mehurčki motijo vodni tok,
- cevi so zamašene,

- v ceveh so mrtve ribe.

### Izgube vode in vodne rezerve

Nekaj vode bo iz sistema zagotovo izteklo zaradi evapotranspiracije. Glavno težavo predstavljajo izgube zaradi puščanja, ki je posledica zamašitve cevi ali okvare črpalke. Zavedati se moramo, da so vsaka luknja, tesnilo, priključek in mehanska poškodba potencialna nevarnost, ki lahko povzroči puščanje. Če pa je cevovod oblikovan pravilno in tudi pravilno zatesnjen, potem to ne predstavlja večje težave. Pomembno je, da ob zagonu sistema preverimo pretok vode.

Razmisliti je treba tudi o tem, kaj se bo zgodilo, če črpalka preneha delovati ali če pride do prekinitve električnega toka. Kam bo tekla voda? Pravilna zasnova sistemov vključuje t. i. puferski volumen na najnižji ravni sistema (običajno črpalka zbiralnika), ki shrani vso vodo, ki se pretaka z višjih točk v sistemu. Če je pravilno zasnovana, bodo bazeni za ribe v takih primerih izgubili 5–10 cm vodne gladine, kar je mogoče preprečiti s prostornino črpalke in biofiltra. To je tudi razlog, da sta biofilter in črpalka videti skoraj povsem prazna ob delovanju pravilno zasnovanega sistema. Treba je namestiti ustrezne alarme, ali še bolje, načine samodejnega vklopa rezervnih črpalk, priključenih na električni generator. Izgubljeno vodo je treba dolivati dnevno (1,5 % med normalnim delovanjem). Zato je potreben bazen z zadostno prostornino ali zanesljiva povezava z drugim vodnim virom.

## 12.8 Upravljanje akvaponskega sistema

### 12.8.1 Osnovni postopki delovanja in vzdrževanja sistema

Da bi zagotovili ustrezno delovanje akvaponskega sistema, je treba pripraviti jasna navodila za uporabo, vzdrževanje in odpravljanje napak (priročnike), pa tudi kontrolne sezname dnevnih, tedenskih in mesečnih opravil, o katerih je treba voditi evidenco. Tako bodo različni upravljavci vedno vedeli, kaj storiti. Vsa opravljena opazovanja in naloge je treba (z določenimi datumi) vnesti v knjigo zapisov, ki mora biti shranjena na vidnem mestu. Zlasti pomembno je beleženje kemičnih in fizikalnih parametrov vode ter kakršnih koli sprememb v videzu in obnašanju rib (ocenjevalni list). V tabeli 8 so navedeni osnovni postopki vzdrževanja in delovanja sistema.

Tabela 8: Osnovni postopki delovanja in vzdrževanja sistema

| **Naloge** | Dnevno | Tedensko | Mesečno | Dodatno |
|---|---|---|---|---|
| **Naloge, povezane s hranjenjem rib** | Ribe krmimo dvakrat na dan. Po krmljenju preverimo, koliko krme so pojedle. Če je krma nepojedena, njeno količino ob naslednjem | | Ribe tehtamo vsakih enkrat ali dvakrat na mesec in prilagodimo količino krme glede na velikost rib. | V primeru okvare sistema takoj prenehamo krmiti. |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | krmljenju zmanjšamo. | | | |
| **Naloge, povezane z obnašanjem rib** | Preverimo, ali so vse ribe žive. Z ocenjevalnim listom ocenimo njihovo vedenje. | | | Vedno imamo stik z veterinarjem. |
| **Naloge, povezane z zagotavljanjem ustrezne kakovosti vode** | Preverimo barvo in vonj vode. V bazenu za ribe ne sme biti blata. | Analiziramo vodo (T, pH, $O_2$, $NH_4^+$, $NO_2^-$, $NO_3^-$ ). Če ravni presegajo mejne vrednosti, ustrezno ukrepamo.<br>• Če $NH_4^+$ ali $NO_2$ presegata vrednosti, ne dodajamo sveže vode. Prenehamo/zmanjšamo krmljenje in dodamo sol.<br>• Če je $O_2$ prenizek oz. sta $NH_3$ ali T previsoka, povečamo zračenje in znižamo temperaturo s pomočjo ploščatega izmenjevalnika toplote (ne z neposredno izmenjavo vode). | | Če opazimo kaj nenavadnega, takoj analiziramo vodo. Ukrepamo, vendar ne smemo pozabiti, da ribe ne marajo hitrih sprememb.<br>Občasno očistimo bazen za ribe in se izogibamo uporabi kemičnih čistilnih sredstev. |
| **Naloge, povezane z rastjo rastlin** | Na rastlinah opazujemo znake škodljivcev in bolezni. Odstranjujemo odmrle liste in liste z znaki bolezni ali škodljivcev. Če odkrijemo škodljivce ali bolezen, ukrepamo (glejte poglavje 8). | Na rastlinah opazujemo znake pomanjkanja hranil. Preverimo raven vode. Analiziramo vodo. Če vrednosti odstopajo od optimalnih, ukrepamo (dodamo vodo, povečamo zračenje vode, prilagodimo hranila). | | Oblikujemo letni načrt sajenja. |
| **Naloge, povezane z ostalimi aktivnostmi** | | Odstranimo blato iz lovilca blata. V ceveh ne sme biti blata. | | Poleti zagotovimo senčenje. |
| **Naloge,** | Preverimo zračenje | Preverimo količino | | Po ponovnem |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **povezane z biofiltrom** | (vidni zračni mehurčki). Pokrijemo biofilter, da ga zaščitimo pred svetlobo (preprečevanje rasti alg). | blata na nosilcih biofiltra. | | zagonu biofiltra izvajamo vsakodnevne analize vode ($NH4^+$, $NO_2^-$, $NO_3^-$), dokler se ravni nitratov ne stabilizirajo. |
| **Naloge, povezane s pretokom vode/krožnim sistemom** | Opazujemo pretok vode (voda mora stalno krožiti). Preverimo interval črpalke; krajši interval pomeni boljši pretok vode.<br>Preverite, ali je črpalka usklajena z ventili, skozi katere voda vstopa v bazene za ribe. | | Preverimo:<br>(1) delovanje črpalke in prezračevalnega sistema,<br>(2) stanje cevi in ventilov,<br>(3) delovanje UV-žarnice. | |

### 12.8.2 Okvare sistema in delovanje v izrednih razmerah

Prvi varnostni ukrep je stalna zaloga čistega kisika. Zalogo čistega kisika predstavlja hranilnik in distribucijski sistem z difuzorji, nameščenimi v vsakem bazenu. V primeru prekinitve električnega toka, pretok kisika omogočimo z magnetnim ventilom. Pretok od hranilnika do difuzorjev je treba predhodno prilagoditi tako, da v izrednih razmerah, kisik v hranilniku zadošča dovolj dolgo, da se napaka na sistemu pravočasno odpravi. Za preskrbo z električnim tokom je potreben električni generator, ki ga poganja gorivo. Zelo pomembno je, da glavne črpalke začnejo obratovati čim hitreje po prekinitvi električnega toka, saj se lahko amonijak, ki ga izločijo ribe, poveča do strupenih ravni, ko voda ne kroži čez biofilter. Pomembno je, da se pretok vode vrne najkasneje v eni uri.

Če se električni tok prekine, je vedno treba slediti naslednjemu postopku:

- preverite električne vode,
- preverite električne varovalke,
- ne dodajajte sveže vode; to bo ubilo ribe zaradi dviga pH in pretvorbe $NH_4$ v $NH_3$,
- rib ne hranite v stresnih pogojih.

Če se črpalka in/ali areator pokvarita, je treba slediti naslednjemu postopku:

- v primeru okvare črpalke, jo zamenjajte z rezervno,
- v primeru okvare areatorja, ga zamenjajte,
- rib ne hranite v stresnih pogojih,
- ne povečajte pretoka vode.

Če pride do puščanja vode, je treba slediti naslednjemu postopku:

- ustavite pretok vode,
- preverite cevi in ventile,
- zamenjajte tesnila,
- nadomestite izgubljeno vodo,
- rib ne hranite v stresnih pogojih.

## 12.9 Literatura


Bregnballe, J. 2015. *A Guide to Recirculation Aquaculture: An introduction to the new environmentally friendly and highly productive closed fish farming systems*. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) and EUROFISH International Organisation.

Castelo, J. 2018. Why You Should Use a Bell Siphon for Aquaponics. *World Water Reserve*, October 3, 2018.

Goddek, S., Schmautz, Z., Scott, B., Delaide, B., Keesman, K.J., Wuertz, S. & Junge, R. 2016. The effect of anaerobic and aerobic fish sludge supernatant on hydroponic lettuce. *Agronomy* 6 (2), 37.

Mann, T. 2017. Aeration, air pumps, blowers, and airstones. *Friendly Aquaponics*, March 28, 2017.

Timmons, M.B. & Ebeling, J.M. 2007. *Recirculating Systems*. Northeastern Regional Aquaculture Center, Ithaca, NY.

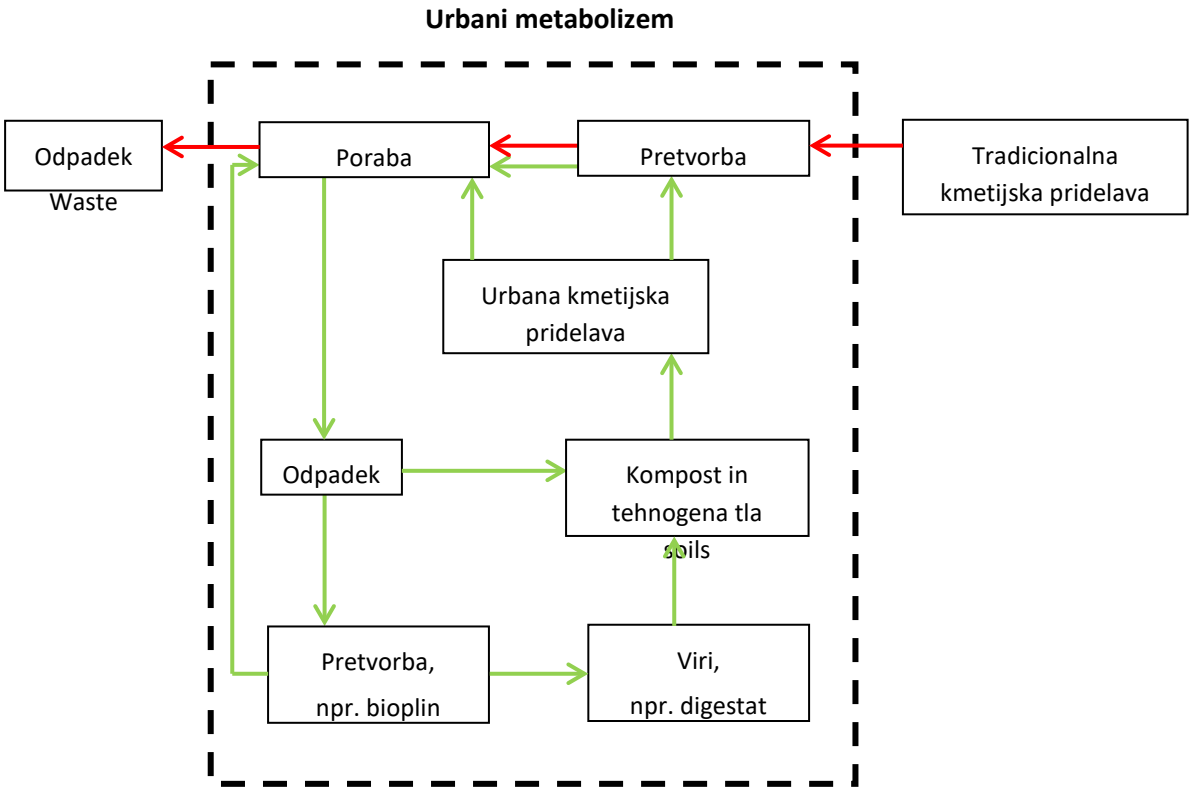
**Sarah Milliken**

# 13. URBANO KMETIJSTVO

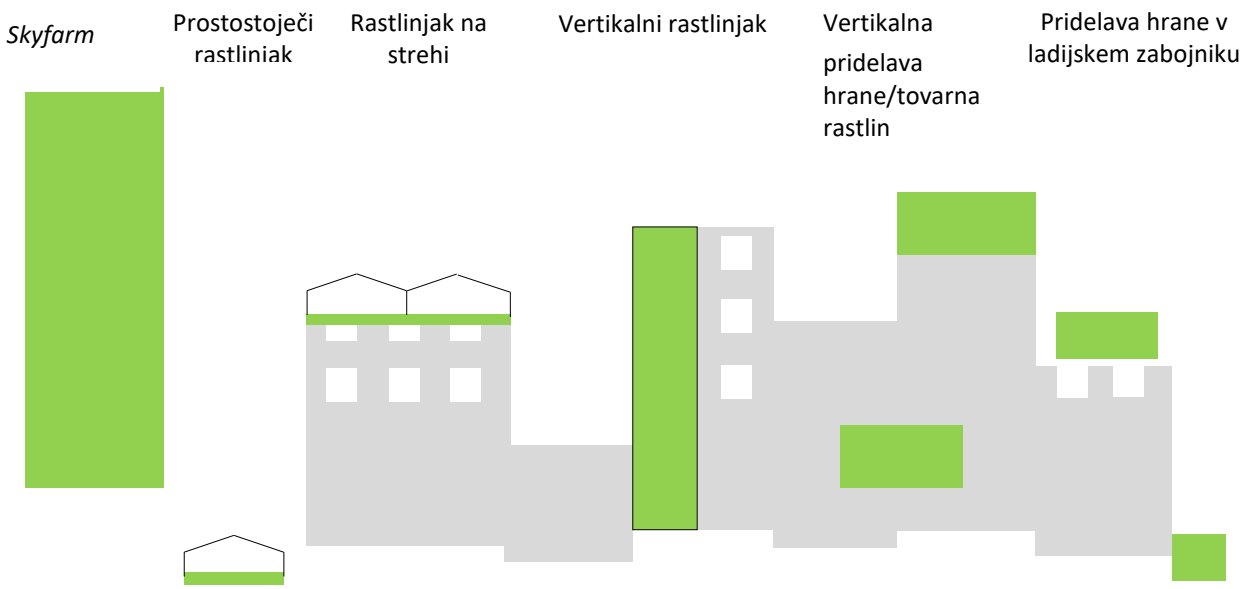
## 13.1 Uvod v urbano kmetijstvo

Poznamo različne oblike urbanega kmetijstva, od hišnih, šolskih in skupnostnih vrtov do vrtov na strehah in v notranjih prostorih. Pogosto razlikujemo med urbanim kmetijstvom, ki vključuje proizvodnjo hrane na urbanem območju, in primestnim kmetijstvom, v primeru katerega se s kmetovanjem ukvarjajo predvsem poklicni kmetje na zemljiščih, ki so že desetletja namenjena pretežno kmetovanju. Urbana kmetija je del lokalnega prehrambnega sistema: hrana se goji in prideluje v mestnem območju in se pretežno prodaja potrošnikom v tem mestnem območju. Urbano kmetijstvo lahko poleg gojenja sadja in zelenjave vključuje tudi živinorejo, čebelarstvo, ribogojstvo in neprehrambene proizvode, kot so pridelava semen, gojenje sadik in gojenje cvetja. Opredelimo ga lahko glede na geografsko bližino proizvajalca do potrošnika ter trajnostne proizvodne in distribucijske prakse. Urbane kmetije najdemo v različnih oblikah, od nedobičkonosnih vrtov do profitnega poslovanja s kmetijskimi pridelki. Zagotavljajo lahko delovna mesta, usposabljanje na delovnem mestu in zdravstveno izobraževanje, poleg tega pa lahko prispevajo k boljši prehrani in zdravju za skupnost z zagotavljanjem svežih pridelkov na lokalni ravni (McEldowney 2017). To poglavje se osredotoča na komercialno pridelavo hrane v mestnih območjih, zlasti na strešne rastlinjake in druge vrste pridelave v pokritih prostorih.

Ker so mesta čedalje večja (tako glede na število prebivalcev kot tudi glede na površino), so njihove infrastrukturne potrebe po prevozu in distribuciji hrane čedalje večje, kar vse bolj oddaljuje proizvodnjo hrane od potrošnika v mestih in ustvarja globalizirane živilske sisteme, ki prispevajo k 19–29 % svetovnim izpustom toplogrednih plinov (Vermeulen *et al.* 2012). Pretok hrane v mesta trenutno sledi linearnemu modelu, kar vpliva na veliko porabo energetskih virov ter ustvarjanje odpadkov in izpustov $CO_2$. Do leta 2050 naj bi v mestih živeli več kot dve tretjini svetovnega prebivalstva. Nekateri strokovnjaki dvomijo o zmogljivosti biosfere za zadostno proizvodnjo hrane za celotno prebivalstvo, zato se odločevalci ponovno zanimajo za lokalno proizvodnjo, ki prispeva k trajnostnemu urbanemu sistemu pridobivanja hrane. Urbana hortikultura je mestno prebivalstvo v preteklosti vedno oskrbovala s svežimi pridelki, v zadnjem času pa je vse bolj priljubljena na severni polobli, kjer je ozaveščenost o okoljskih in zdravstvenih problemih čedalje večja. V zadnjih letih se v večjih mestih na severu pojavljajo komercialne kmetije, ki so usmerjene k okolju prijazno pridelani lokalni hrani, ki jo gojijo v zelo učinkovitih obratih na strehi ali v notranjosti stavb. Urbano kmetijstvo ponuja tudi možnosti za zapiranje kroženja virov v urbanem metabolizmu, v tradicionalnem kmetijstvu pa gre za enosmerni tok. Slika 1 prikazuje vlogo urbanega kmetijstva v idealnem sistemu kroženja virov: rdeče puščice označujejo enosmerni tok klasične urbane presnove, zelene puščice pa kažejo na zaprt cikel v urbani presnovi z urbano kmetijsko proizvodnjo, pri čemer se odpadki lahko pretvorijo v bioplin, digestat ali pregnito blato in tehnogena (umetna) tla, ki jih je mogoče uporabiti za nadaljnjo kmetijsko proizvodnjo, vse znotraj samega mesta. Zgoraj navedene ideje bomo podrobneje raziskali v tem poglavju.




Slika 1: Vloga urbanega kmetijstva v idealnem sistemu kroženja virov (po Nehls *et al.* 2016)




Slika 2: Tipologija komercialne pridelave hrane v pokritih prostorih

## 13.2 Tipologija komercialnega kmetijstva v notranjih prostorih

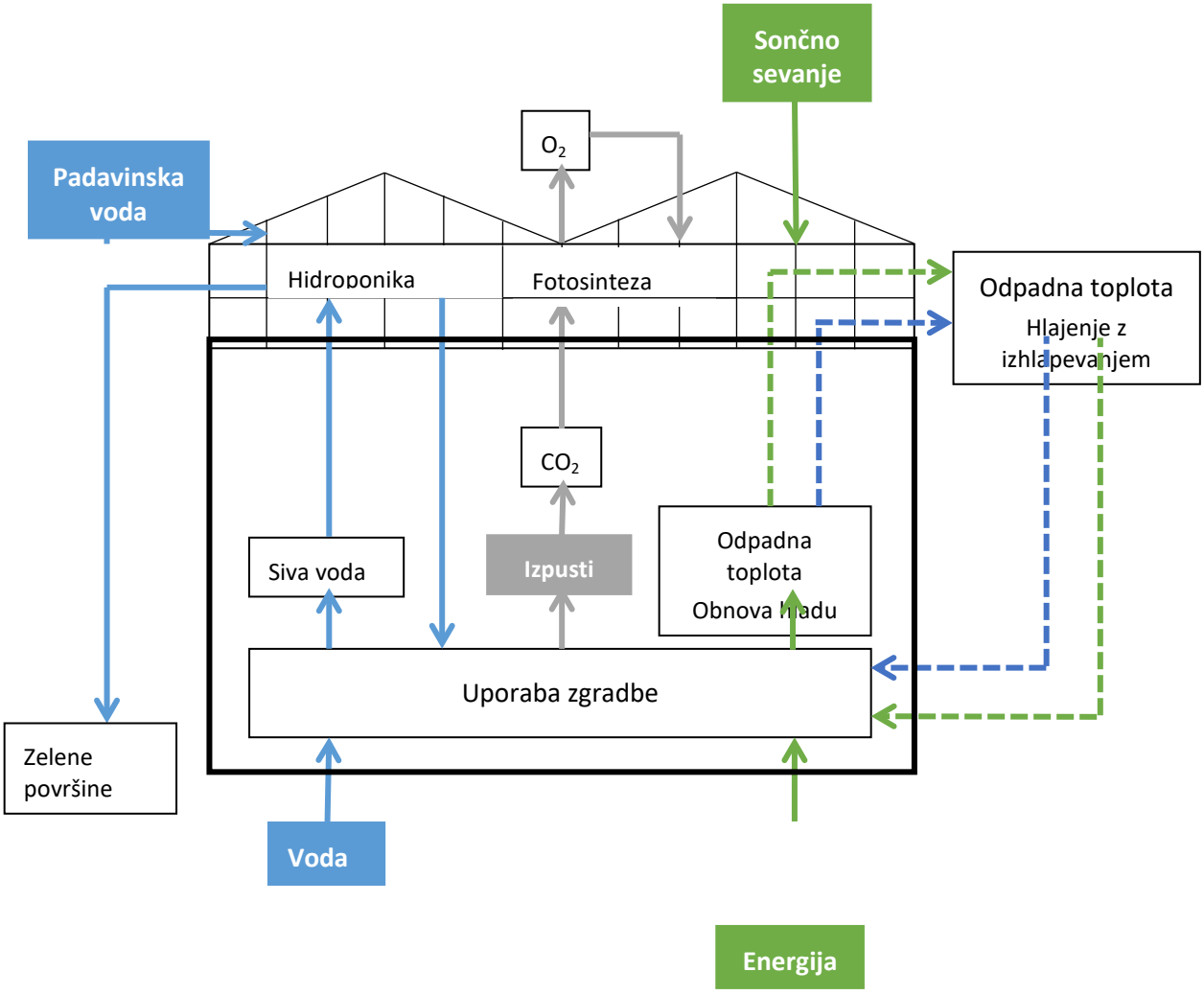
Stavbno integrirano kmetijstvo (angl. *Building Integrated Agriculture* – BIA) večinoma uporablja tehnike gojenja brez prsti, kot so hidroponika, akvaponika ali aeroponika. Prednosti BIA vključujejo celoletno proizvodnjo, večje donose, večji nadzor nad varnostjo hrane in biološko varnostjo ter precej zmanjšan vložek v oskrbo z vodo, pesticidi, herbicidi in gnojili, pa tudi izboljšanje energetske učinkovitosti stavb z ustvarjanjem simbiotičnih odnosov med pridelavo hrane in njeno gostiteljsko zgradbo. Sistemi BIA se lahko uporabijo na ovoju stavbe (na strehi ali fasadah, da izkoristijo razpoložljivost naravne svetlobe), v zaprtih prostorih z umetno svetlobo ali pa v prostostoječi stavbi (slika 2); tako so vsi parametri rasti pod nadzorom. To je poznano kot kmetijstvo z nadzorovanim okoljem (angl. *Controlled-Environment Agriculture* – CEA), ki združuje hortikulturne in inženirske veščine, da bi optimizirali pridelek, njegovo kakovost in učinkovitost proizvodnje.

### 13.2.1 Rastlinjaki na strehah stavb

Med več obstoječimi oblikami BIA je gojenje rastlin v rastlinjakih ena najbolj priljubljenih, saj so strehe precej neizkoriščeno urbano območje, lahki hidroponski rastlinjaki pa ne potrebujejo pomembnejših strukturnih ojačitev gostiteljske stavbe (Benis & Ferrão 2018). Streha je primeren kraj za gojenje rastlin v gosto naseljenih mestih, saj je običajno bolj izpostavljena sončni energiji kot tla. Medtem ko je donos iz hidroponskih rastlinjakov večji od tistega, ki ga pridelamo na strehah, na odprtem in v zemlji, je izbira zelenjave, ki jo lahko tam gojimo, manjša in je omejena na listnato zelenjavo, kalice, zelišča, paradižnike, kumare, jajčevce, papriko in jagode (Buehler & Junge 2016). Hidroponski rastlinjaki so pogosto opremljeni s sistemi za nadzor klime, kot so ventilatorji, grelniki, hlajenje z izparevanjem, termični zasloni in upravljalna okna, da se vzdržuje primerna kakovost zraka v zaprtih prostorih in doseže optimalno temperaturo, relativno vlažnost in raven ogljikovega dioksida, ne glede na zunanje pogoje. Ogrevani so z zemeljskim plinom ali električno energijo ter s fotovoltaičnimi (PV) paneli za primere redukcije električnega toka. Najsodobnejši objekti zajemajo odpadno toploto iz stavbnega sistema HVAC in so lahko izdelani iz solarnega stekla, ki zbira specifične valovne dolžine sončne svetlobe za proizvodnjo električne energije, hkrati pa oddaja in razpršuje druge valovne dolžine v rastlinjak (slika 3).

Več severnoameriških podjetij je že dokazalo, da se lahko vse leto pridelujejo precejšnje količine hrane za mestne prebivalce na sicer neuporabljenih strehah v gosto poseljenih mestnih okoljih, kjer so razpoložljiva in cenovno ugodna zemljišča redka dobrina. Podjetje **Lufa Frams** je leta 2011 na industrijski zgradbi v Montrealu v Kanadi zgradilo prvi komercialni rastlinjak na strehi. Rastlinjak s površino 2880 $m^2$ se uporablja za gojenje različne zelenjave. Odtlej so zgradili še dva: enega za povečanje proizvodnje paradižnika (3995 $m^2$) in drugega za gojenje listnate zelenjave (5853 $m^2$). Vsak njihov rastlinjak, v katerem so hidroponski sistemi NFT, je bil zasnovan tako, da ni samo večji, ampak tudi enostavnejši, cenejši in učinkovitejši. Podjetje **Gotham Greens v ZDA** upravlja s 16.000 $m^2$ mestnih rastlinjakov na 14 objektih v New Yorku in Chicagu, uporablja tudi hidroponiko NFT. Njihov prvi rastlinjak, ki je bil zgrajen leta 2011 v New Yorku, je bil prvi rastlinjak, zgrajen v ZDA, primeren za komercialno rabo. Objekt na 1394 $m^2$ proizvede več kot 45.000 kg listnate zelenjave na leto. Zasnovan in zgrajen je bil z mislijo na trajnost, zato električne potrebe objekta zagotavlja 60 kW solarnih PV-panelov na lokaciji. Konstrukcijske značilnosti stavbe z visokim izkoristkom, vključno z

LED-osvetlitvijo, naprednimi zasteklitvami, pasivnim prezračevanjem in toplotnimi zavesami, zmanjšujejo porabo električne in ogrevalne energije. Postavitev rastlinjaka na strehi še dodatno zmanjša porabo energije, hkrati pa je izolacija spodnjega dela zgradbe. Drugi rastlinjak podjetja **Gotham Greens**, zgrajen leta 2013, je prvi rastlinjak komercialnih razsežnosti, zgrajen na vrhu nakupovalnega središča. Na površini 1858 $m^2$ vsako leto proizvede več kot 90.000 kg listnate zelenjave, zelišč in paradižnikov. Njihov tretji in največji rastlinjak v New Yorku obsega 5574 $m^2$ in vsako leto proizvede več kot 5 milijonov glav listnate zelenjave. Vse to pa je zanemarljivo v primerjavi z njihovim rastlinjakom v Chicagu, ki na več kot 6968 $m^2$ predstavlja največjo in najbolj produktivno kmetijstvo na strehi na svetu, v katerem zraste do 10 milijonov glav listnate zelenjave in zelišč.




Slika 3: Mogoča izvedba pretoka vode, energije in plina med rastlinjakom na strehi in gostiteljsko zgradbo (po Céron-Palma *et al.* 2012)

Mesto New York gosti še tri druge hidroponske rastlinjake na strehah. Sky Vegetables goji zelišča in zelenjavo, medtem ko The Vinegar Factory goji paradižnike, jagode, zelišča in zelenjavo. Rastlinjak na strehi je bil pred kratkim zgrajen tudi na Arbor House, ki je blok cenovno ugodnih stanovanj v New Yorku. 929 $m^2$ velika hidroponika, ki je v soseski z nesorazmerno velikim številom ljudi z nizkimi

dohodki in visoko stopnjo debelosti, sladkorne in srčnih bolezni, bo delovala kot skupnostno podprta proizvodnja hrane (angl. *Community Supported Agriculture* – CSA). Prebivalci bodo tu lahko kupili pridelek prek tedenske sheme naročnin za zelenjavo. Lokalni skupnosti bo na voljo približno 40 % pridelka preko bližnjih šol, bolnišnic in tržnic. Edenworks v New Yorku je akvaponski rastlinjak na strehi, ki goji kalice.

V Evropi je švicarski start-up UrbanFarmers opremil svojo poskusno komercialno akvaponiko UF001 LokDepot v rastlinjaku na strehi v Baslu. Na rastni površini 260 $m^2$ je bilo mogoče letno pridelati 5000 kg zelenjave, medtem ko je imel sistem ribogojstva zmogljivost do 800 kg rib letno. Novoustanovljeno podjetje iz Berlina ECF Farmsystems je zgradilo dva akvaponska rastlinjaka na strehah. Eco Jäger, ki se je leta 2016 odprl v Bad Ragazu v Švici, goji solato, zelišča in postrvi za restavracije, hotele in gostinska podjetja. BIGH, odprt v Bruslju leta 2018, proizvaja solato, zelišča in hibridne črtaste brancine (*Morone saxatilis x M. chrysops*) za restavracije, maloprodajni trg s hrano in neposredno prodajo na kmetiji. Prvi mestni rastlinjak na strehi v Franciji se je odprl leta 2019. Toit Tout Vert je v stanovanjskem predelu Pariza, pridelek iz 1400 $m^2$ velikega rastnega prostora pa bo naprodaj v lokalnih trgovinah.

### 13.2.2 Prostostoječi rastlinjaki

Nezasedene mestne parcele ponujajo možnosti tudi za prostostoječe rastlinjake. Metropolitan Farms je na nekdanjem parkirišču v Chicagu. Akvaponski rastlinjak proizvaja solato, baziliko in ribo tilapijo, ki se prodaja na tržnicah, v lokalnih prehrambenih zadrugah in specializiranih trgovinah z živili. V Evropi ECF Farmsystems upravlja akvaponski rastlinjak v središču Berlina. ECF Farm Berlin, ki se je odprl leta 2015, se razprostira na 1800 $m^2$ površine in se uporablja za gojenje bazilike in rečnega ostriža, namenjenega za maloprodajni trg.

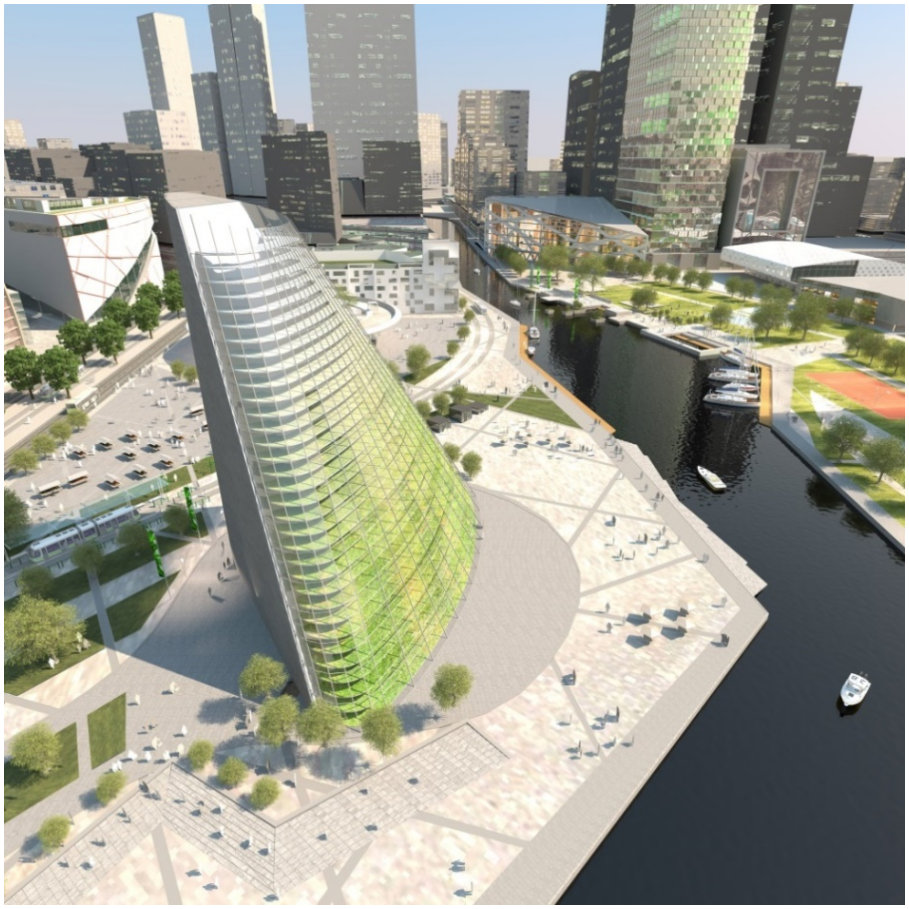
### 13.2.3 Vertikalna pridelava hrane in tovarne rastlin

Koncept »vertikalnega kmetovanja« je leta 2010 v knjigi z naslovom *The Vertical Farm: Feeding the World in the 21st Century* predstavil Dickson Despommier. Vertikalne kmetije so lahko nameščene v rastlinjaku ali znotraj stavbe in uporabljajo različne tehnologije za gojenje rastlin v navpični ravnini, da bi na ta način povečali pridelek glede na površino proizvodne enote (podrobnosti o vertikalnem gojenju so v poglavju 14). Teoretično se lahko vertikalno pridelavo hrane omogoči tudi na fasadi stavbe v obliki vertikalno integriranega rastlinjaka (VIG), ki je sestavljen iz dvoslojne fasade v kombinaciji s hidroponskim sistemom. Čeprav je bil VIG razvit kot koncept in patentiran, še ni bil dejansko zgrajen. Vertikalna pridelava hrane bi bila lahko možna tudi v obliki namenskih nebotičnikov (imenovanih tudi *skyfarms*). Takšne utopične vizije se morajo šele uresničiti, saj so v veliki meri posledica dejstva, da niso ekonomsko izvedljive.

Plantagon, postavljen v Stockholmu, je patentiral številne oblike vertikalne pridelave hrane. Gradnja 60 metrov visokega pisarniškega stolpa, imenovanega World Food Building (slika 4), ki omogoča navpično pridelavo hrane, se je začela leta 2012 v švedskem mestecu Linköping, dokončana pa naj bi bila leta 2020. Stavba v vrednosti 40 milijonov dolarjev naj bi prikazala pristop podjetja do urbane

arhitekture, ki mu pravijo »agritechture« – tvorjenka, ki združuje izraze kmetijstvo, tehnologija in arhitektura. Na severni strani stavbe naj bi bilo 17 nadstropij pisarniških prostorov, poševna steklena fasada pa bi pokrivala južno stran, da bi na območja pridelave hrane lahko posijalo čim več sonca. Bližnji obrat za sežiganje odpadkov in bioplinarna bi zgradbi zagotavljala ogrevanje in gorivo za proizvodnjo hrane, odpadke iz rastlinjaka pa bi nato prevzela bioplinarna za kompostiranje. S tem bi ustvarili krožen pretok energije. Na žalost je prišlo podjetje leta 2019 v stečaj, kar odpira vprašanja, ali bo gradnja te stavbe za hrano sploh končana.

T. i. *skyfarms* se bodo najverjetneje najprej pojavile v azijskih velemestih, kot sta Singapur in Šanghaj. Kot majhen otok s samo 750 $km^2$ in več kot pet milijoni prebivalcev se Singapur vse bolj sooča z izzivi na področju preskrbe s hrano. Na celotnem območju mesta je samo 250 hektarjev otoka namenjenih kmetovanju, kjer pa se proizvede le 7 % hrane, ki jo celoten otok dejansko porabi, preostalo potrebo zadovolji uvoz hrane z vsega sveta. Stroški prevoza hrane postajajo vedno bolj omejujoči dejavnik, zato Singapur o vertikalni pridelavi hrane resno razmišlja. Hrano so na vertikalni način začeli pridelovati 2012 s stavbami Sky Greens. Leta 2016 je bilo v mestu šest tovrstnih stavb in se je do leta 2018 povečalo na 26 (Wei 2018).



Slika 4: Idejna zasnova World Food Buildinga v Linköpingu na Švedskem (www.plantagon.com)

Tudi Šanghaj je zelo primerno mesto za vertikalno pridelavo hrane. Vertikalna gradnja se zdi zaradi skoraj 24 milijonov prebivalcev, ki jih je treba nahraniti, zmanjšanja razpoložljivosti in kakovosti kmetijskih zemljišč ter visokih cen zemljišč ekonomsko veliko bolj uresničljiva kot gradnja navzven. Urbanisti družbe Sasaki Associates so naredili glavni načrt za Sunqiao Urban Agricultural District med glavnim mednarodnim letališčem in mestnim središčem. Okrožje 250 arov bo obsegalo 66.611 $m^2$ stanovanjskih površin, 12.820 $m^2$ poslovnih prostorov, 69.956 $m^2$ površin za vertikalno pridelavo hrane in 79.525 $m^2$ javnega prostora. Vizija družbe Sasaki Associates upošteva predvsem naraščajoče povpraševanje po kmetijstvu v regiji in uporablja urbano kmetovanje kot dinamični živi laboratorij za inovacije, interakcije različnih deležnikov in izobraževanje. Uporablja več urbanih kmetijskih tehnik: sistemi za gojenje alg, plavajoči rastlinjaki, vertikalne semenske banke ter vertikalne hidroponike in akvaponike, ki se uporabljajo za zadoščanje potreb po hrani značilne šanghajske prehrane z listnato zelenjavo (sliki 5 in 6). Velikost sheme kaže na povečano vrednost kitajskega kmetijskega sektorja. Kitajska je največji potrošnik in izvoznik kmetijskih proizvodov na svetu, njena industrija zagotavlja 22 % zaposlitev v državi in 13 % bruto domačega proizvoda. Kitajska vlada si zato želi ohraniti, posodobiti in promovirati industrijo, ki je pripomogla k precejšnjemu zmanjšanju revščine. Gradnja tega okrožja se je začela leta 2018, dokončana pa naj bi bila leta 2038.

Slika 5: Idejna zasnova urbanega kmetijskega okrožja Sunqiao v Šanghaju (http://www.sasaki.com/project/417/sunqiao-urban-agricultural-district/)

Slika 6: Idejna zasnova urbanega kmetijskega okrožja Sunqiao v Šanghaju
(http://www.sasaki.com/project/417/sunqiao-urban-agricultural-district/)

Čeprav so t. i. *skyfarms* vizija prihodnosti, komercialne tovarne rastlin delujejo tako na podeželju kot v mestih v Severni Ameriki, Evropi, Vzhodni Aziji in na Bližnjem vzhodu. Tovarne rastlin so vrsta zaprtega sistema rastlinske proizvodnje, v katerem je prezračevanje minimalno, umetna svetloba pa se uporablja kot edini vir svetlobe za rast rastlin. Okolje je ne glede na vreme mogoče nadzorovati, kolikor natančno želimo. Poleg hranilne raztopine, ki kroži v hidroponskem sistemu, lahko vodo, ki jo rastline transpirirajo, kondenziramo in zberemo na hladilnih panelih klimatskih naprav ter nato ponovno uporabimo za namakanje. Tovarne rastlin običajno sestavlja 6 glavnih delov:

- toplotno izolirana, skoraj neprepustna in neprosojna, skladišču podobna struktura;
- od 4 do 20 nivojev vertikalno zloženih hidroponskih rastnih gred, opremljenih s fluorescentnimi ali LED-svetilkami;
- klimatske naprave (toplotne črpalke), ki se uporabljajo za hlajenje in razvlaževanje (na ta način se znebimo toplote, ki jo ustvarjajo žarnice, in vodne pare, ki jo transpirirajo rastline) in ventilatorji za kroženje zraka, da se izboljša proces fotosinteze in transpiracije ter doseže enakomerno prostorsko porazdelitev zraka;
- enota za oskrbo s $CO_2$ za vzdrževanje koncentracije $CO_2$ med fotoperiodami na približno 1000 mmol/L za izboljšanje fotosinteze;
- enota za oskrbo s hranilno raztopino z vodnimi črpalkami;
- in okoljsko nadzorna enota, ki vključuje merilne elektrode za električno prevodnost (EC) in pH za nadzor hranilne raztopine.

Fluorescenčne sijalke se uporabljajo predvsem zaradi kompaktnosti in velikosti, LED-diode pa zaradi nizke temperature površine svetilke, večjega izkoristka in širokega svetlobnega spektra. Najnovejše tovarne rastlin uporabljajo napredne robotske tehnologije, vključno z daljinskim zaznavanjem, obdelavo slik, inteligentnimi rokami robotov, računalništvom v oblaku, analizo masovnih podatkov in 3D-modeliranjem (Kozai 2013).

Rastline, ki jih gojimo v tovarnah rastlin, so lahko visoke največ 30 cm, saj razdalja med posameznimi nadstropji običajno meri približno 40 cm, kar je optimalna višina za čim večjo izrabo prostora. Rastline, primerne za komercialno proizvodnjo v tovarnah rastlin, so tiste, ki dobro rastejo pri razmeroma nizki intenzivnosti svetlobe, uspevajo pri visoki gostoti zasaditve, hitro rastejo (nabirajo se 10–30 dni po presajanju), za katere je večina delov užitnih (85 % sveže teže) in se prodajajo po visoki ceni. Na Japonskem in v drugih azijskih državah se v tovarnah rastlin za komercialno proizvodnjo zato gojijo listnata zelenjava, zelišča, zdravilne rastline in sadike. V majhnih tovarnah rastlin s površino 15–100 $m^2$ na Japonskem pogosto za komercialno proizvodnjo gojijo sadike, saj jih lahko vzgojijo v kratkem času pri visoki gostoti sajenja. V teh majhnih tovarnah rastlin se prodajajo cepljene in necepljene sadike paradižnika, kumar, jajčevcev, sadike špinače in solate za hidroponsko pridelavo ter sadike in potaknjenci okrasnih rastlin velike vrednosti (Kozai 2013; Kozai *et al.* 2016).

Severnoameriška podjetja Plenty, Planted, Oasis Biotech, FreshBox Farms in We the Roots v nekdanjih skladiščih upravljajo urbane tovarne rastlin, medtem ko podjetje AeroFarms uporablja

prostore bivše tovarne jekla. Podjetje Fresh Impact Farms je v primestnem nakupovalnem središču, podejtej Farm.One pa v kleti restavracije. V Evropi je podjetje PlantLab na Nizozemskem je 20.000 $m^2$ velika tovarna rastlin in razvojnoraziskovalni objekt v nekdanji tovarniški hali oz. skladišču, ki za kmetijsko pridelavo uporablja napredno tehnologijo LED (ta uravnava sestavo in intenzivnost svetlobe glede na natančno opredeljene potrebe) in avtomatiziran sistem (ta pa spremlja in nadzira več kot 80 različnih spremenljivk, vključno z vlago, količino $CO_2$, jakostjo in barvo svetlobe, hitrostjo zraka, namakanjem, vsebnostjo hranilnih snovi in temperaturo zraka, da bi se povečal donos in izboljšala kakovost rastlin). Amsterdamsko podjetje GROWx v skladišču goji kalice, zelišča in solato, ki jo nabirajo po naročilu za elitne restavracije. Londonsko podjetej GrowUp Urban Farms je upravljalo komercialno akvaponiko v skladišču, podjetje Growing Underground pa goji kalice v protiletalskem zakloništču iz druge svetovne vojne, 33 metrov pod površjem. Tudi La Caverne je podzemni kmetijski objekt v parkirni hiši pod Parizom, kjer gojijo gobe, endivijo in kalice.

Da bi bolje izkoristili naravno svetlobo, lahko vertikalne kmetijske površine postavimo tudi v rastlinjakih; okolje torej ni v celoti nadzorovano. Primeri vključujejo Vertical Harvest v ZDA in Sky Greens v Singapurju. Tour Maraichère, odprt leta 2019 v pariškem predmestju Romainville, je namensko zgrajen rastlinjak, sestavljen iz dveh enot; najvišja je visoka 24 metrov (slika 7). Na 2060 $m^2$ rastnega prostora je letno pridelanih 12 ton sadja, zelenjave, gob in užitnega cvetja, rastlinjak je uporabljen kot zgled kratke pridelovalne verige hrane. Lokalnim prebivalcem je vir oskrbe s svežo hrano z nizkim ekološkim odtisom, poleg tega pa naj bi podjetje zmanjšalo uporabo cestnega prometa in ustvarilo nova delovna mesta.

Slika 7: Idejna zasnova rastlinjaka Tour Maraichère v Parizu
(http://ilimelgo.com/fr/projets/tour-maraichere.html)

### 13.2.4 Kmetijska pridelava hrane v ladijskih zabojnikih

V urbanem kmetijstvu je vse pogostejše kontejnersko kmetovanje ali kmetijska pridelava hrane v zabojnikih z uporabo vertikalne tehnologije kmetovanja. Pri tem načinu kmetovanja se uporablja najsodobnejša tehnologija za nadzorovanje ozračja in hidroponski rastni stolpi ali zloženi kanali NFT, ki omogočajo celoletno proizvodnjo hrane in jih je mogoče namestiti na prostih parcelah ali na strehah. Prednosti ladijskih zabojnikov so kompaktnost in modularnost, njihova dostopnost in nizki stroški (če so zabojniki namensko preurejeni). Ker so modularni, jih je mogoče zlahka zložiti, zato je teoretično mogoče ustvariti kmetijsko površino z zelo veliko gostoto in visokim donosom, čeprav te priložnosti še niso bile široko sprejete. Sistem CropBox je preurejen ladijski zabojnik, ki je velik 30 $m^2$ in uporablja niz horizontalnih kanalov NFT; letno lahko vzgoji 5.445 kg solate, 3.175 kg jagod ali 84 ton kalice. Tudi podjetje Tiger Corner Farms uporablja preurejen ladijski zabojnik, vendar se od že omenjenih razlikuje po uporabi vertikalne aeroponske tehnologije za gojenje med 3.800 in 7.600 pridelkov na rastni cikel. Podjetje Freight Farms je prvotno uporabljalo preurejene zabojnike (Leafy Green Machine), zdaj pa prodajajo namensko izdelane zabojnike (Greenery) z izboljšano izolacijo in učinkovitejšim klimatskim sistemom. Oba sistema uporabljata vertikalne rastne stolpe, v katerih je lahko do 4.500 zrelih rastlin. Številne različice urbanega kmetijstva v Severni Ameriki so za gojenje listnate zelenjave in zelišč začele uporabljati zabojnike Leafy Green Machine, med njimi Square Roots, Corner Stalk Farm, Acre in a Box, Very Local Greens, Bright Greens in Enlightened Crops. Podjetje GreenTech Agro iz ZDA prodaja Growtainer. To je zabojnik, izdelan po meri. Na voljo je v

štirih velikostih (6, 12, 13,7 in 16 metrov) in uporablja lasten patentiran sistem lahkih zloženih aluminijastih rastnih gred. Eden takšnih sistemov je na glavni tržnici v Dallasu in se uporablja za gojenje listnate zelenjave in zelišč, ki se nato prodajajo v nakupovalnem središču. Zabojnike izdelujejo v ZDA in Rotterdamu.

V Evropi podjetje Agricool uporablja ladijske zabojnike za gojenje jagod v Parizu. Ikea, največji svetovni trgovec s pohištvom, je začela solato, ki jo streže v svojih restavracijah, gojiti v zabojnikih zunaj svojih trgovin na Švedskem (Thomasson 2019). Prav tako je švedski supermarket ICA Maxi začel listnato zelenjavo in zelišča, vzgojena v zabojnikih, prodajati pred svojo trgovino v Halmstadu (Jachec 2019). Novonastalo belgijsko podjetje Urban Crop Solutions je razvilo dva sistema kmetijske pridelave v zabojnikih: FarmFlex in FarmPro. FarmFlex je kmetijska pridelava hrane v zabojnikih, ki zahteva ročno delo, medtem ko je FarmPro popolnoma robotiziran in je bolj podoben tovarni rastlin znotraj ladijskega zabojnika.

Podejtje UrbanFarmers je razvilo sistem urbane akvaponike, sestavljene iz zabojnika in rastlinjaka na vrhu zabojnika, imenovanega UF Box. Ta sistem je posnemalo britansko zagonsko podjetje GrowUp Urban Farms: GrowUp Box lahko letno proizvede 435 kg zelenjave in 150 kg rib. Podjetje Gembloux Agro-Bio Tech na Univerzi v Liègeu v Belgiji že vzpostavlja podoben sistem PAFF Box (Plant and Fish Farming Box) (Delaide *et al.* 2017). V Kanadi, natančneje v Torontu, Ripple Farms v podobni postavitvi ladijskega zabojnika z rastlinjakom na strehi goji ribo tilapijo, zelenjavo in kalice.

## 13.3 Vzdržnost (trajnost) komercialne kmetijske pridelave v notranjih prostorih

Oskrba mestnega prebivalstva z lokalno pridelano hrano je na splošno učinkovitejša alternativa običajni dobavni verigi z uporabo hrane, pridelane v obmestnih ali oddaljenih podeželskih krajih. Gojenje v notranjih prostorih brez prsti na urbanih območjih je posebej trajnostna rešitev z zmanjšanjem prevoza živil, rabe tal in porabe vode ter povečanjem donosa. Vse oblike kmetijske pridelave hrane z nadzorovanim okoljem morajo za zagotavljanje optimalnih pogojev gojenja pridelkov imeti nadzor svetlobe, temperature, vlage in vodnega cikla, zato lahko potrošijo veliko energije. To je odvisno tudi od lokalnih podnebnih razmer in posebnih značilnosti gostiteljske stavbe. Izpuste ogljika na urbanih kmetijskih površinah je treba skrbno primerjati s potencialno zmanjšanimi izpusti, npr. tistimi, ki nastanejo pri prevozu hrane s podeželskih in obmestnih kmetij. Pred tem je treba natančno oceniti tudi višje stroške urbane pridelave hrane, tako v smislu infrastrukture kot obratovanja.

### 13.3.1 Okoljska vzdržnost (trajnost)

Urbano kmetijstvo je fizično bližje potrošnikom, zato se pogosto trdi, da ima urbano kmetijstvo z visokim donosom nižji ogljični odtis kot gojenje hrane na podeželju zaradi kratkih razdalj oz. prevoza

živil. Pridelava kmetijskih pridelkov v nadzorovanih okoljih je lahko energetsko potratna, odvisno od lokalnih podnebnih razmer in tipologije urbanega kmetijstva, kar lahko precej poveča njegov okoljski vpliv. Celoten ogljični odtis je zato odvisen predvsem od porabe energije za obratovanje same kmetije, če to primerjamo z izpusti, ki smo se jim izognili s kratko dobavno verigo. To lahko ponazorimo z dvema primeroma iz zelo različnih podnebnih pasov v Evropi. Ko so primerjali potencial globalnega segrevanja (GWP), ki se nanaša na vodo, prevoz in obratovalno energijo treh visokotehnoloških scenarijev urbanega kmetovanja na Portugalskem (polikarbonaten rastlinjak na strehi, vertikalna kmetija z okni in svetili v zgornjem nadstropju stavbe ter popolnoma svetlobno nepropustna vertikalna oblika pridelave hrane brez naravne svetlobe v pritličju stavbe), z GWP sedanje dobavne verige za paradižnike in hipotetično nizkotehnološkim urbanim kmetijstvom na strehi (ki ni prezračevano), sta imeli vertikalna oblika urbanega kmetijstva v zgornjem nadstropju in rastlinjak na strehi najboljši skupni okoljski rezultat: emisije toplogrednih plinov so bile manjše za polovico oz. za tretjino v primerjavi z obstoječo dobavno verigo za paradižnike (Benis *et al.* 2017). Te ugotovitve potrjujejo rezultate ocene življenjskega cikla rastlinjaka na strehi v Barceloni (Sanyé-Mengual *et al.* 2013; Sanyé-Mengual *et al.* 2015a). Nasprotno so Theurl *et al.* 2013 ugotovili, da je proizvodnja paradižnika v ogrevanih rastlinjakih v Avstriji ustvarila dvakrat več emisij toplogrednih plinov v primerjavi z dobavno verigo paradižnika, uvoženega iz Španije in Italije. Čeprav se za urbano kmetijstvo trdi, da je trajnostno zaradi zmanjšanja prometnih razdalj, ne smemo pozabiti, da tako energetsko potratni objekti morda niso primerni za vsako lokacijo, saj prvo dejstvo morda ne more nadomestiti drugega.

Okoljska učinkovitost oz. uspešnost kmetijstva, integriranega v stavbe (BIA), se lahko poveča s povezovanjem kmetijskih praks (toplote, vode, $CO_2$) in gostiteljskih stavb ter z optimizacijo učinkovitosti sistema z uporabo pasivnih metod prezračevanja, kot so toplotna izolacija, naravno prezračevanje, hlajenje z izparevanjem in uporaba visokoenergetsko učinkovitih tehnologij, kot je LED-razsvetljava.

### 13.3.2 Ekonomska vzdržnost (trajnost)

Ekonomičnost komercialnega kmetijstva v mestnih okoliščinah je treba ovrednotiti glede na višje investicijske izdatke (v primerjavi s klasičnimi podeželskimi kmetijami), ki so vezani na mesto. Zaradi hitre urbanizacije je urbani prostor redek in zelo zaželen. Občine na splošno zagotavljajo stanovanja in ne proizvodnjo hrane; ta se vse bolj seli iz mestnih središč. Če morajo sistemi kmetovanja, ki so postavljeni na strehah, tekmovati z drugimi tehnologijami na strehah, kot so fotovoltaika ali sončna termalna energija, morajo notranji sistemi tekmovati z drugimi urbanističnimi načini, ki so običajno bolj ekonomsko zanimivi od kmetijstva. Zaradi visoke konkurence mestnih zemljišč in stavb so nepremičnine še dražje (Benis & Ferrão 2018).

Po vsem svetu so cene zemljišč v mestnih območjih na splošno visoke. Poleg visokih najemnin je visokotehnološko komercialno urbano kmetovanje kapitalsko intenzivna industrija, saj je treba gostiteljsko stavbo urediti za gojenje pridelka v skladu z lokalnimi občinskimi in stavbenimi predpisi. Ta urbanistična omejitev je bila ena glavnih ovir pri obsežnem izvajanju BIA (Cerón-Palma *et al.* 2012). Stroškovna učinkovitost urbanega kmetijstva bo odvisna od njene tipologije. Za doseganje

enake produktivnosti na kvadratni meter tovarne rastlin v primerjavi z rastlinjaki potrebujejo 10-krat manj površine in jih je mogoče enostavno zgraditi v kateri koli prazni zgradbi. Čeprav so kapitalski stroški visoki (Okoli 3560 €/m² v letu 2014 (Kozai et al. 2016) približno 15 % višji od stroškov za rastlinjak, letna produktivnost znaša približno 3000 glav solate/m²/leto, kar je 15-krat več od tiste v rastlinjakih (približno 200 glav solate/m²/leto). Na ta način so začetni stroški na enoto proizvodne zmogljivosti tovarne rastlin skoraj enaki kot za rastlinjak, treba pa je poudariti, da je ta ocena zgolj približna, saj je odvisna od številnih dejavnikov, ki jih je treba upoštevati Kozai *et al.* ).

Visokotehnološki sistemi komercialnega urbanega kmetijstva imajo visoke naložbene in obratovalne stroške. Slednje tudi zaradi večjih potreb po energiji (Thomaier *et al*. 2015). Medtem ko podeželske kmetije za kmetovanje običajno prejmejo subvencije za vodo in energijo, morajo urbani kmetovalci plačati stroške oskrbe z vodo in energijo v skladu z območjem, v katerem kmetujejo. Če je urbano kmetijstvo v stanovanjski coni, so stroški višji, kot če je v gospodarski coni (Benis & Ferrão 2018).

Stroški proizvodnje (delovna sila, elektrika, amortizacija in drugo) so po svetu različni. Na Japonskem npr. so stroški tovarn rastlin v povprečju naslednji: 25–30 % za delo, 25–30 % za elektriko, 25–35 % za amortizacijo in 20 % za druge proizvodne stroške (najemnina zemljišč, semena, voda, zamenjava svetil, pisarniški material, pakirni material, stroški dostave itd.). Stroški dela so tako visoki, ker je večina tovarn rastlin majhna in je zato obratovanje treba izvajati ročno. Ocenjujejo, da 15-nadstropna tovarna rastlin s površino 1 ha potrebuje več kot 300 redno zaposlenih, medtem ko je večina ročnih postopkov obratovanja v rastlinjakih s površino 10 ha ali več avtomatizirana, zato je lahko zaposlenih le nekaj ljudi na hektar (Kozai *et al.* 2016).

Tabela 1 prikazuje postopek pretvorbe energije v obdelovalnem prostoru energetsko učinkovite tovarne rastlin. Električne energije, določene kot kemična energija v prodajnem delu rastlin, je 1–2 %. Preostala električna energija se v prostoru pretvori v toplotno energijo, zato so stroški ogrevanja toplotno dobro izolirane tovarne rastlin skoraj nični. Pri obvladovanju stroškov proizvodnje v tovarni je masni odstotek užitnega oz. uporabnega dela rastline v primerjavi s skupno maso rastline pomemben pokazatelj izboljšanja stroškovne učinkovitosti. Rast korenin porabi nekaj električne energije, zato je (če le-teh ne moremo prodajati) njihovo biomaso treba zmanjšati, ne da bi pri tem ogrozili rast zračnega dela rastline.

Tabela 1: Pretvorba energije v tovarni rastlin (iz Kozai *et al.* 2016)

| | |
|---|---|
| Količina energije, ki jo porabljajo svetilke | 100 % |
| Svetlobna energija, ki jo oddajajo svetilke | 25–35 % |
| Svetlobna energija, ki jo uspe absorbirati listom | 15–25 % |
| Kemična energija v rastlini | 1.5–2 % |
| Kemična energija, vsebovana v prodajanem delu rastline | 1–2 % |

Stroške električne energije je mogoče zmanjšati: (1) z uporabo naprednih LED-diod za izboljšanje pretvorbenega faktorja iz električne v svetlobno energijo; (2) z izboljšanjem sistema razsvetljave z dobro zasnovanimi reflektorji za povečanje razmerja svetlobne energije, ki jo oddajajo svetilke, in energije, ki jo absorbirajo rastlinski listi; (3) z izboljšanjem kakovosti svetlobe za povečanje rasti in kakovosti rastlin; (4) z optimalnim nadziranjem temperature, koncentracije $CO_2$, hranilne raztopine, vlažnosti in drugih dejavnikov; in (5) s povečanjem odstotka pridelanega dela rastlin z izboljšanjem metode gojenja in izbire kultivarjev (Kozai *et al.* 2016).

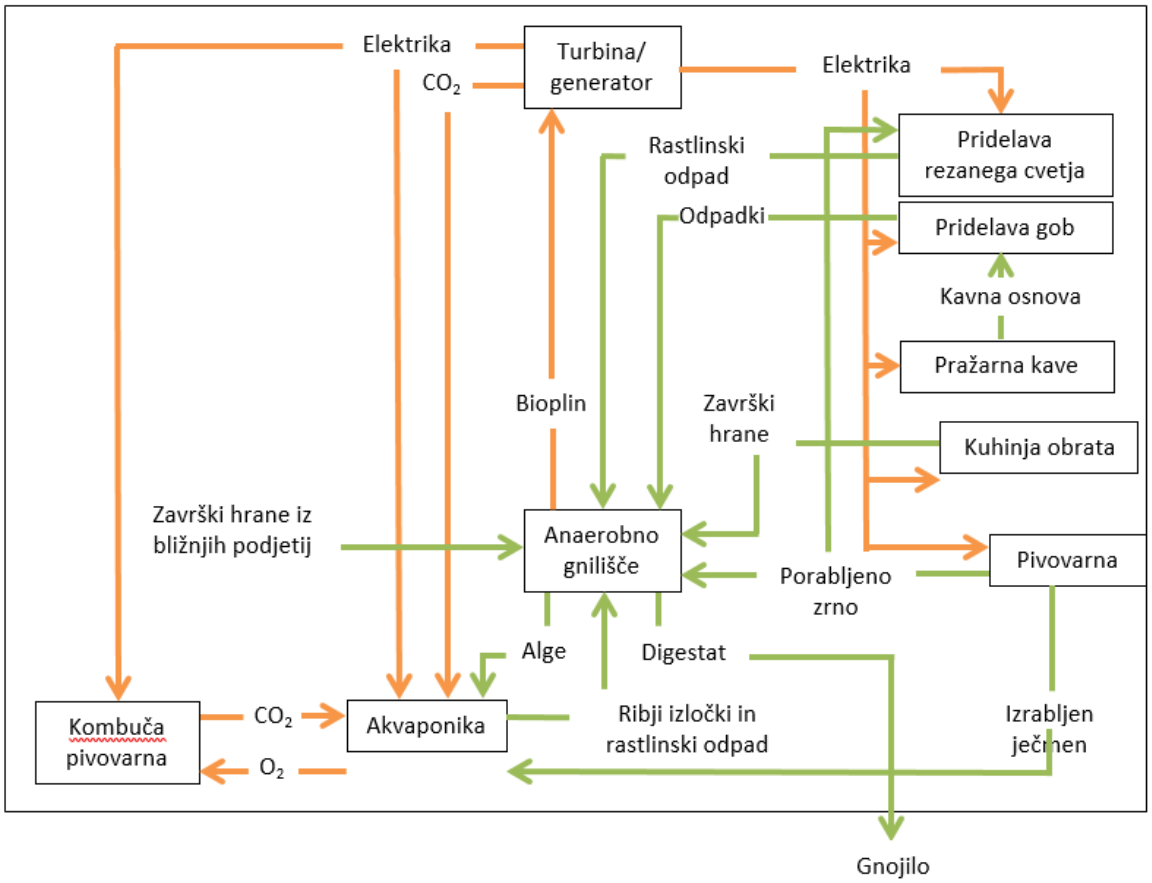
Stroške električne energije se lahko zmanjša tudi z uporabo solarnih panelov. Urbane tovarne rastlin v prosto stoječih stavbah, kot so nekdanja skladišča in tovarne, imajo več možnosti za proizvodnjo lastne električne energije od tistih, ki so v stavbah, ki so del gosto poseljenih mestnih območij. Količina energije, ki je potrebna za napajanje prostostoječih tovarn, je odvisna od velikosti stavb. Če je stavba večja, so večje tudi potrebe po razsvetljavi, vodi in energiji, ki je na voljo prek solarnih panelov na strehi in morebiti tudi na fasadi. Količina energije, ki jo lahko ustvarijo solarni paneli, je precej odvisna od geografske lege tovarne rastlin.

Neto poraba vode za namakanje v tovarni rastlin znaša približno 2 % porabe rastlinjaka, saj se približno 95 % transpirirane vodne pare iz rastlinskih listov kondenzira na hladilnem panelu (uparjalniku) klimatskih naprav kot tekoča voda oz. kot voda, ki se zbere in nato po sterilizaciji vrne v rezervoar s hranilnimi raztopinami. Tudi hranilna raztopina, ki se izcedi iz gredic, se po sterilizaciji vrne v rezervoar s hranilnimi raztopinami. Tako je količina vode, ki jo je treba dodati v rezervoar, enaka količini vode, ki jo porabijo rastline za rast, in količini vode, ki kot vodna para uhaja skozi zračne reže prostora. Prav tako je količina dodanih hranil enaka količini hranil, ki jo absorbirajo rastline, zato je izkoristek porabe vode in hranil več kot 0,95 oz. 0,90 (Kozai *et al.* 2016).

### 13.3.3 Urbano kmetijstvo in krožno gospodarstvo

Krožno gospodarstvo je ena najpogosteje obravnavanih tem med okoljskimi ekonomisti in osrednja tema strategije znanstvenega program Obzorje 2020 Evropske unije. Njen osrednji element je raba obnovljivih virov: surovine se, da se ne bi zavrgle kot odpadki, reciklirajo in ponovno uporabijo (Geisendorf & Pietrulla 2018). Urbano kmetijstvo ponuja različne možnosti za uveljavitev tega pristopa, kar najbolje ponazarja podjetje The Plant. Leta 2010 je socialno podjetje Bubbly Dynamics LLC kupilo nekdanji obrat za pakiranje mesa v Chicagu in naredilo načrt, kako zgradbo uporabiti kot prostor za inkubacijo živilskih in kmetijskih podjetij ter skupnosti, v katero ni nihče več investiral in ki ni imela dostopa do zdrave hrane, ponuditi delovna mesta.. V objektu s površino 8686 $m^2$ je trenutno več kot ducat malih podjetij, vključno s pokritimi (notranjimi) oblikami kmetovanja in kmetovanja na prostem, varilnicami piva in kombuče, pekarnami, distributerji sira, pražarnami kave ter drugih proizvajalcev in distributerjev hrane. V začetku leta 2018 je bilo v ustanovi približno 85 zaposlitev za polni delovni čas. Obrat se še vedno gradi in je približno 70-% v najemu; polna obratovanje je bilo predvideno za leto 2019. Tovarna temelji na modelu zaprte zanke odpadkov, dobrin in energije, da bi pokazala, kako poteka resnično trajnostna urbana proizvodnja hrane. Glavna posebnost je načrtovano anaerobno gnilišče, ki je zasnovano za reševanje več kritičnih vprašanj glede ponovne uporabe tistega, kar običajno velja za »odpadke«, in bi od tega lahko imeli kar nekaj koristi. Odpadki iz celotne stavbe bodo le del količine odpadkov, ki se bo v gnilišču predelal, vseeno pa bo gnilišče lahko dokazalo, da celo podjetja za proizvodnjo hrane, ki so običajno veliki potrošniki

energije in hkrati proizvedejo veliko odpadkov, lahko trajnostno delujejo z zapiranjem krožnega sistema odpadkov. Slika 8 je konceptualni diagram različnih postopkov, predvidenih v obratu The Plant pri polni zasedenosti.




Slika 8: Odpadki (zeleno) in krogotoki energije oz. plina (oranžno) v obratu The Plant v Chicagu

## 13.4 Zakonodaja in upravljanje

Različni dejavniki (trenutna urbana postavitev, dojemanje in odnos do rabe mestnega prostora in prevladujoča politična klima) delujejo na določenih ravneh mesta in vplivajo na razvoj urbanega kmetijstva. V načrtih občinskih območij v večini držav na severni polobli ni nobene neodvisne kategorije za urbano kmetijstvo, saj je bilo kmetovanje v preteklosti razumljeno kot podeželska dejavnost. Zdi se, da je urbano kmetijstvo v Evropi umeščeno med različna politična področja, čeprav je Evropska komisija zagotovila, da se programi za razvoj podeželja držav članic lahko uporabljajo v korist urbanega kmetijstva. Nekaterim se urbano kmetijstvo morda ne zdi dovolj kmetijsko, da bi zagotovili podporo stebru I skupne kmetijske politike (kot to opredeljuje bolj tradicionalno kmetijstvo), drugim pa se ne zdi dovolj podeželsko, da bi zagotovili podporo v omenjenih programih za razvoj podeželja. V prihodnosti je za urbano kmetijstvo izziv, kako doseči potrebno integracijo na vseh področjih politike EU v naslednjem programskem obdobju, torej po letu 2020 (McEldowney 2017). Za sektor urbanega kmetijstva v Evropi so značilne iniciative »od spodaj navzgor«, ki so neformalne in neinstitucionalizirane. Čeprav je urbano kmetijstvo v nekaterih državah prepoznano na institucionalni ravni, še vedno primanjkuje javne politike ali reda, ki bi se usmeril neposredno nanj. Urbano kmetijstvo je običajno v pristojnosti lokalnih oblasti, in ker formalna podlaga pogosto

manjka, podpora na ravni lokalnih oblasti navadno teži k neformalnosti in razdrobljenosti. Npr. v strategiji prostorskega razvoja območja velikega Londona (The London Plan) je navedeno, da bi morale pokrajine v svojih razvojnih načrtih določiti potencialna območja mesta, ki bi jih lahko uporabila za komercialno pridelavo hrane. S primerno politično podporobi bile pobude lahko bolj utemeljene in zavarovane. Vključitev kmetijstva, integriranega v stavbe, v politiko razvoja mest ali okvirnih načrtov za urbanističen razvoj, bi povečala njegov pomen pri razvoju mest. Npr. spreminjanje pravilnikov razdelitve mest (z dovoljevanjem dejavnosti pridelave hrane v določenih kategorijah ali s sprejetjem formalnih območij, namenjenih samo za uporabo v urbanem kmetijstvu), prepoznavanje urbanega kmetijstva kot strategijo gospodarskega razvoja, olajšanje dostopa do zemljišč in odpravljanje omejitev, ki izhajajo iz drugih področij politike, bi lahko vse pozitivno vplivale na razvoj urbanega kmetijstva (Prové *et al.* 2016).

Kar nekaj mest je storilo prve korake k prilagoditvi lokalnih kodeksov za spodbujanje urbanega kmetijstva. Pariz je uporabil zelo strukturiran in proaktiven pristop, ki se je začel z revizijo vseh nerazvitih in praznih javnih zgradb, ki bi lahko ustrezale urbanemu kmetijstvu. Leta 2016 so bili spremenjeni urbanistični načrti, pri čemer so za gradnje rastlinjakov za urbano kmetijstvo povišali višinsko omejitev za 7 m, pariški župan pa je začel s pobudo Parisculteurs. Njegov cilj je do leta 2020 ozeleniti 247 hektarjev streh in sten v Parizu, od katerih bo tretjina namenjena urbanemu kmetovanju. Javni in zasebni lastniki nepremičnin so bili pozvani, naj predstavijo prostore, ki bi jih lahko uporabili v ta namen, arhitekti in oblikovalci pa so nato predložili predloge za posamezne lokacije. Eden izmed zmagovalcev prvega kroga natečaja je bil projekt Green'elle, ki je predlagal prvi akvaponski sistem na strehi v mestu. Dovoljenje za načrtovanje so dobili leta 2018, med obratovanjem pa bo na 3.000 $m^2$ možno letno proizvesti do 30 ton sadja in zelenjave ter 3 tone postrvi. Izdelke bodo prodali lokalnim prebivalcem prek sheme skupnosti, ki podpira kmetijstvo, ter tržnicam, restavracijam in veletrgovcem. Še en zmagovalec je bil projekt La Caverne, ki je predlagal vertikalno pridelavo hrane za gojenje gob, endivije in kalic v podzemnem parkirišču. Projekt HRVST dans le Métro je bil eden izmed zmagovalcev drugega kroga. Podjetje je v zapuščeni podzemni obračalni zanki za metro pod parkom Parc Monceau. Gre za vertikalno kmetijsko pridelavo, veliko 5000 $m^2$, kjer bodo gojili predvsem pridelke, namenjene restavracijam višjega razreda. Leta 2019 je potekal tretji krog natečaja. Druga pobuda, ki jo je sprožil pariški župan, je Reinventir Paris, ki je poziv k inovativnim projektom za razvoj mesta in s katerim bi radi razkrili vse potenciale podzemne prostore v Parizu. Obseg te pobude je bil širši od Parisculteursa, ekipe pa so povabili, da predlagajo projekte, ki so hkrati arhitekturni, gospodarski, kulturni in družbeni. Eden od zmagovalcev prvega kroga, FlabFarm, je 450 $m^2$ velika mikro farma žuželk in restavracija v dvonadstropni kleti. Odprta naj bi bila leta 2021.

V zadnjih letih je New York postal središče urbanega kmetijstva. Pred zakoni o razdelitvi mesta leta 2012 se je na rastlinjake na strehah v New Yorku gledalo kot na dodaten stanovanjski prostor, ki se šteje v izračun razmerja talne površine (angl. *Floor Area Ratio* – FAR), zato niso bili dovoljeni na stavbah, ki so blizu vrednosti FAR oz. že dosegajo največjo dovoljeno vrednost FAR. To se je spremenilo leta 2012, ko je oddelek za urbanizem sprejel amandma Zone Green Text, ki je spodbudil gradnjo novih stavb in obnovo obstoječih, da bi bile tako energetsko učinkovitejše in bolj trajnostne

ter hkrati podprl ideje o urbanem kmetijstvu. Amandma, ki spodbuja kmetijstvo v nadzorovanem okolju, določa, da so rastlinjaki na strehah »dovoljene ovire« in se jih tako izvzame iz območja razdelitve FAR, če izpolnjujejo naslednje pogoje: so na stavbah brez prebivališč, uporablja se jih predvsem za gojenje rastlin, so nižji od 7,6 metra, so večinoma prozorni in postavljeni vsaj 1,8 metra proč od robne stene, če presegajo dovoljeno višino stavbe v določenem okrožju (Goodman & Minner 2019).

Tudi številni javni uslužbenci so dejavno podprli razvoj urbanega kmetijstva. Npr. leta 2015 je župan New Yorka razglasil lokalni zakon za spremembo newyorške listine za ustanovitev mestnega svetovalnega odbora, leta 2017 pa je predsednik okrožja iz Brooklyna uvedel zakonodajo, ki je newyorški oddelek za načrtovanje mesta pozvala, naj oblikuje izčrpno zasnovo za urbano kmetijstvo, ki bo gibanje za urbano kmetijstvo izkoristilo za krepitev lokalnih skupnosti in mladih, gospodarskega razvoja in zdravstva. Čeprav načrt ni bil uresničen, je začasni lokalni zakon omogočil ustanovitev uradnega spletnega mesta New York City urban agriculture website za zainteresirane pridelovalce. Lokalne oblasti so kljub temu v zvezi s kmetijstvom v nadzorovanem okolju spodbujale financiranje hidroponskega kmetovanja v šolah, ne pa komercialnega kmetijstva. Nedavna študija je pokazala, da v primerjavi s 131 objekti v javnih šolah v mestu deluje samo 8 komercialnih kmetij CEA: šest rastlinjakov na strehah (pet hidroponskih in en akvaponski), ena tovarna rastlin in ena urbana pridelava hrane v ladijskem zabojniku (Goodman & Minner 2019).

Čeprav je komercialni CEA omogočil ustvarjanje majhnega števila urbanih zelenih služb, morda ne bo zagotovil zadostnega dobička za podporo javnemu sektorju. Proizvod, ki ga gojijo newyorške kmetije CEA, minimalno prispeva k ocenjenim 1.848.842.500 kilogramov sadja in zelenjave, ki ga prebivalci porabijo v enem letu. Prav tako je malo dokazov, da proizvodi CEA, pridelani v New Yorku, pripomorejo k reševanju oskrbe s hrano in njeno dostopnostjo, ki zadeva skoraj tri milijone Newyorčanov, zlasti tistih z nizkimi dohodki. To je lahko posledica več dejavnikov: ker so npr. lokalno pridelani proizvodi CEA predragi, niso na voljo v zadostnem številu trgovin ali pa niso na voljo iz še neznanih razlogov. Povprečen pridelek, vzgojen na komercialnih kmetijah CEA v New Yorku, ima po navadi le zmerne hranilne vrednosti: visoki začetni stroški namreč pomenijo, da morajo urbani kmetje pokriti te stroške z gojenjem visokokakovostnih pridelkov za bogate potrošnike. Ti pridelki so npr. solata in bazilika, ne pa prehranski proizvodi (npr. špinača in ohrovt), ki so namenjeni prebivalcem z nizkimi dohodki. Cilj izvoljenih uradnikov je bil povečati uživanje zdravega sadja in zelenjave zlasti pri tistih ljudeh, ki jim grozijo debelost, diabetes in z njima povezane kronične zdravstvene bolezni, vendar omenjeni proizvodi le malo prispevajo k omenjenemu cilju (Goodman & Minner 2019).

Čeprav so ugotovitve te študije specifične le za mesto New York, vplivajo na sprejetje CEA tudi v drugih mestnih središčih. Občine bodo takšne pobude podprle le ob domnevnih koristih projektov (okoljski, gospodarski in družbeni potencial) na javnih strehah in zemljiščih.

## 13.5 Poslovni modeli urbanega kmetijstva

Uspešno vodenje podjetja je mogoče ob uporabi različnih vrst poslovnih modelov. Poslovni model je strategija, kako lahko podjetje ustvari dobiček: opredeli izdelke oz. storitve, ki jih bo prodajalo, ciljni trg in predvidene stroške. Razvijajoče se podjetje mora imeti dober poslovni model, ki pritegne naložbe, pomaga pridobivati talente ter motivira vodstvo in osebje. Ustanovljena podjetja morajo redno pregledovati in posodabljati svoje poslovne načrte, da predvidijo usmeritve in izzive, ki jih čakajo. Jan Wilhelm van der Schans z univerze Wageningen opredeljuje pet vrst poslovnih modelov urbanega kmetijstva (van der Schans 2015; van der Schans *et al.* 2014).

### 1. Diferenciacija

Strategija diferenciacije temelji na ustvarjanju razlik s konvencionalnimi dobavnimi verigami. Urbano kmetijstvo lahko samo skrbi za proizvodnjo, predelavo in distribucijo (vertikalna integracija). Z vključitvijo več korakov dobavne verige mu bo morda uspelo ustvariti več dobička ali vsaj ohraniti boljši nadzor nad razlikovalnim učinkom izdelka. Urbano kmetijstvo npr. lahko goji nenavadne pridelke, kot so tradicionalna ali etnična zelenjava in hitro pokvarljive sorte, ki jih je težje prevažati na velike razdalje, ali proizvodi z visokimi prevoznimi stroški in poudarjanje sezonske narave pridelka v nasprotju s pridelki, ki so v nakupovalnih središčih na voljo vse leto.

### 2. Diverzifikacija

Strategija diverzifikacije je poleg proizvodnje hrane namenjena zagotavljanju drugih dobrin in storitev. Podjetje, ki se ukvarja z urbanim kmetovanjem, lahko ponudi tržno usmerjene dejavnosti, kot sta izobraževanje in socialna oskrba, ter poslovne dejavnosti, kot sta kompostiranje in proizvodnja energije iz zelenih mestnih odpadkov. Pobude urbanega kmetijstva lahko izboljšave v smeri decentraliziranega ravnanja z odpadki.

### 3. Nizka cena

Strategija nizkih stroškov v običajnem kmetijstvu ponavadi širi poslovanje, da bi lahko dosegli ekonomijo obsega. Gre za strategijo poslovnega razvoja, ki v mestu ni uresničljiva zaradi pomanjkanja prostora. Urbano kmetijstvo lahko zniža stroške z uporabo mestnih virov, ki jih trenutno premalo uporablja, kot so prosta zemljišča, prazne zgradbe, mestni organski odpadki, odvečna deževnica in odvečna toplota. Stroške se lahko zmanjša tudi z uvedbo prostovoljnega dela, zaposlovanjem prikrajšanih ljudi v delo ali vertikalno integracijo, ki ne potrebuje posrednika.

### 4. Ponovna uporaba javnih dobrin

Urbano kmetijstvo državljanom omogoča ponovni nadzor nad preskrbo s hrano in zavedanje, od kod prihaja njihova hrana. Ponovno uvaja občutek lastništva, včasih dobesedno, saj državljani lahko postanejo solastniki podjetja z množičnim financiranjem. Sheme skupnosti, ki podpirajo kmetijstvo (CSA), pri katerem kmet svojim naročnikom ponudi delež proizvodnje v zameno za fiksno naročnino in kjer se člani lahko povežejo s pridelovalci, s tlemi, na katerih raste njihova hrana, ter drug z drugimi na rednih družabnih dogodkih, postajajo vse bolj priljubljene. Delež se sicer lahko razlikuje

glede na spremenljivost proizvodnje, zato pa se tveganja in koristi delijo, medtem ko so naročnine na splošno plačane vnaprej in razmeroma dolgoročne, kar proizvajalcu zagotavlja varen dohodek.

### 5. Doživetje (izkustvo)

Ta strategija temelji na uvidu, da se z zagotavljanjem nepozabnih doživetji ceni doda več vrednosti kot z zagotavljanjem osnovnih dobrin in storitev (izkustvena ekonomija). Urbani kmetje so sposobni pripraviti edinstvena doživetja prav zaradi kratke razdalje med kmetijo in kupci. Urbano kmetijstvo je izkušnja podeželske in mestne dinamike v edinstveni simbiozi in obogatitvi mestne krajine.

Z vidika poslovnega upravljanja je urbano kmetovanje neznačilno: pri upravljanju podjetij velja zlato pravilo, da mora strategija podjetja temeljiti na jasnem modelu prihodkov. Za urbano kmetovanje pa je lahko kombinacija poslovnih modelov dobra podlaga za preživetje: npr. zaposlitev prostovoljcev (nizki stroški) in odjemalcev, ki potrebujejo socialno oskrbo (diverzifikacija) za gojenje, predelavo in distribucijo različnih izdelkov (diferenciacija) s pomočjo sheme CSA zelenjavnega zabojnika (ponovna uporaba javnih dobrin) in plačljiv obisk kmetij za obiskovalce (izkustvo) (van der Schans 2015; van der Schans *et al.* 2014).

Nekateri začetniki urbanega kmetijstva (Lufa Farms, Gotham Greens) so za povečanje dobičkonosnosti izboljšali svoj poslovni model s povečanjem svojih rastlinjakov na strehah, da bi dosegli ekonomijo obsega, po drugi strani pa Sky Vegetables, ki je tako kot Lufa Farms in Gotham Greens začel proizvodnjo leta 2011, še vedno deluje z razmeroma majhnim rastlinjakom (743 $m^2$). Ekonomija obsega je pomembna tudi za notranje vertikalne kmetije, saj je podjetje GrowUp Urban Farm v Londonu (762 $m^2$) kot razlog za svoje zaprtje navedlo ravno velikost svoje komercialne proizvodne enote. Po drugi strani se je podjetje FarmedHere, ki je bilo leta 2013 ob odprtju v Chicagu z 8361 $m^2$ rastnih korit največja kmetija v ZDA, po štirih letih zaprlo zaradi zelo visokih stroškov za energijo in delovno silo. Zaradi stroškov je podjetje postalo nedonosno (Beytes 2017).

Trije začetniki urbanih kmetij imajo zelo različne poslovne modele. Sky Vegetables goji le osem sort zelišč in zelenjave, ki jih prek spleta prodaja trgovcem. Gotham Greens goji 13 različnih vrst listnatih solat, bazilike in paradižnika, ki jih potrošnikom prek spletnih trgovin z živili prodaja v več kot 500 veleblagovnicah, trgovinah z živili in tržnicah v 15 vzhodnih državah ZDA. Svoje izdelke prodaja tudi 115 restavracijam v New Yorku in Chicagu ter letalski družbi Delta Airlines. Lufa Farms goji 89 različnih sort listnate zelenjave in sadnih pridelkov v treh velikih rastlinjakih na strehah s hidroponiko, optimizirano za različne rastline: en rastlinjak se uporablja samo za gojenje paradižnikov in jajčevcev, drugi se uporablja za gojenje solate, druge zelenjave in zelišč, tretji pa za gojenje kumar, čilija, kalic, zelišč in užitnih cvetov. Poslovni model podjetja Lufa Farms uporablja kombinacijo neposredne prodaje, ki 1) odpravlja maloprodajne marže in druge stroške, naročnino, 2) podjetju omogoča prilagajanje proizvodnje glede na povpraševanje in navzkrižno prodajo, 3) vključuje ponujanje dopolnilnih izdelkov in storitev zunaj lastne ponudbe podjetja, da bi doseglo večjo prodajo blaga. Podjetje Lufa Farms je sodelovalo z drugimi, večinoma lokalnimi in ekološkimi kmeti, da bi skupaj z lastnimi pridelki prodalo več živil, vključno s sirom, mesom, morskimi sadeži in

pekovskimi izdelki, sodelovalo pa je tudi z nekaj pridelovalci na Floridi, ki gojijo tropsko sadje (banane, avokado in pomaranče). Kupci se prek spletne strani kmetije spletna tržnica naročijo na tedenski zaboj pridelkov z minimalno vrednostjo 15 kanadskih dolarjev: zaboj jim je z doplačilom dostavljen na dom, lahko pa ga prevzamejo na različnih prevzemnih točkah v Montrealu, vključno z lekarnami, brivci, veleblagovnicami, trgovinami, kavarnami in univerzitetnimi kampusi. Takšen hibridni poslovni model so kupci podprli: kmetija lahko omogoči prihranke, ki izhajajo iz neposredne prodaje, medtem ko naročnina in navzkrižna prodaja prihranita kupcem čas. Lufa Farms vsak teden odda 10.000 naročil.

Podjetje Fresh Impact Farms na svoji kmetiji v predmestnem nakupovalnem središču v Arlingtonu v Virginiji izkorišča nadzorovano okolje za gojenje užitnega cvetja in zelišč, prilagojenih željam vrhunskih kuharjev. Okusi so izrazitejši ali subtilnejši s spreminjanjem mešanice hranil, temperature vode ali svetlobnega spektra. Kmetija je od začetka delovanja leta 2016 eksperimentirala z 250 sortami rastlin, trenutno pa jih goji med 50 in 60 naenkrat. Številne najuspešnejše sorte so prvotno predlagali kuharji. Kmetija je sodelovala z zunanjim podjetjem, da je razvila lastno programsko opremo, ki spremlja povratne informacije kuharjev za vsak pridelek, da se lahko okus prilagodi v naslednji seriji.

Nekatere urbane kmetije uporabljajo mešanico profitnega in neprofitnega poslovnega modela. Vertical Harvest v Jacksonu v zvezni državi Wyoming je podjetje, ki združuje zasebne naložbe, javne vire in filantropijo, da bi ustvarilo pozitiven gospodarski in družbeni učinek za lokalno skupnost. Na kmetiji so zaposleni ljudje s telesnimi in intelektualnimi motnjami. Zelena solata, kalice in paradižnik se prodajajo lokalnim trgovinam in restavracijam. BetterLife Growers je aeroponska dejavnost gojenja solat in zelišč, ki je bila v Houstonu v Teksasu razvita za zagotavljanje novih delovnih mest z dostojno plačo za ljudi, ki so sicer težko zaposljivi, tudi tiste s kazensko evidenco. Zaposleni so deležni usposabljanja o delovnih spretnostih in davčni pismenosti. Proizvodi pa se prodajajo lokalnim ustanovam, kot so univerze, bolnišnice in vladni zavodi, pa tudi veleprodajnim distributerjem in maloprodajnim trgovinam z živili.

Porast urbanega kmetijstva je povzročil nastanek več zagonskih podjetij, ne samo urbanih kmetij, temveč tudi podjetij za dobavljanje opreme in svetovanje. Nekatera od teh so postala zelo uspešna: npr. podjetje Infarm so v Berlinu leta 2013 ustanovili trije mladi podjetniki z ambicioznim načrtom nahraniti mesta prihodnosti tako, da bi kmetije približali potrošnikom. Podjetje je razvilo enostavno razširljiv in hitro uporabljiv hidroponski modularni kmetijski sistem za gojenje solate, zelišč in kalic v katerem koli mestnem trgovskem prostoru ali restavraciji. Vsaka urbana kmetijska pridelava je svoj lastni ekosistem z recepti za gojenje, ki prilagajajo svetlobne spektre, temperaturo in hranila, da se zagotovi največji možni pridelek za vsako rastlino. Mreža senzorjev zbira in beleži podatke o rasti iz vsake pridelave, vse potrebne prilagoditve pa se nadzorujejo na daljavo. Podjetje zaposluje že 250 ljudi in je na dobri poti, da zabeleži pogodbeno vrednost več kot 100 milijonov dolarjev. Infarm se je povezal s 25 večjimi trgovci z živili v Nemčiji, Švici in Franciji ter postavil več kot 200 kmetij v trgovinah in 150 kmetij v distribucijskih centrih spletnih trgovcev z živili. 100 milijonov dolarjev novega financiranja, pridobljenega v letu 2019 od vlagateljev tveganega kapitala, bodo porabili za

rast podjetja v Evropi in za širjenje v ZDA in tudi drugod ter za razvoj raziskovalno-razvojnih, funkcionalnih in komercialnih skupin (HortiDaily 2019).

Drugi podjetji, ki dobavljata opremo za urbano kmetovanje, sta ameriški podjetji Freight Farms in Vertical Crop Consultants, ki prodajata kmetijsko pridelavo v ladijskih zabojnikih na ključ. Poleg tega, da v svojih zabojnikih uporabljata različne sisteme gojenja (Freight Farms uporablja rastne stolpe, medtem ko Vertical Crop Consultants uporablja sistem z vodoravno zloženimi koriti), uporabljata tudi vsak svoj poslovni model. Freight Farms poleg svojih zabojnikov GreeneryTM prodaja programsko opremo za upravljanje tovrstne pridelave in aplikacijo, ki kmetom omogoča daljinsko spremljanje podatkov iz senzorjev (od ravni hranil in pH do temperature in $CO_2$) ter analizira razmerje med nastavitvami v zabojniku in donosom. Če je potrebno, lahko služba za odjemalske storitve dostopa do meritev in pomaga odpravljati težave in iskati enostavne popravke. Za enkratno plačilo Freight Farms ponuja spletni tečaj o uporabi pridelave v zabojnikih, trenutna naročnina na programsko opremo za upravljanje take pridelave hrane pa omogoča celoten dostop do spletnih vsebin. Podjetje Freight Farms je zato sprejelo poslovni model ponudnika rešitev, ki ponuja izdelke in storitev na določenem področju. S plačilom letne naročnine za programsko opremo za upravljanje pridelave kmetijskih pridelkov v zabojnikih v oblaku in ne enkratno licenco je kmetu zagotovljen dostop do najnovejše različice. Zmožnost Freight Farms, da dostopa do meritev kmetov, kar omogoča uporabo podatkov o strankah, ki jih lahko nato uporabijo za optimizacijo sistema t. i. zabojniške pridelave. Svetovalci za vertikalne posevke na drugi strani prodajo veliko bolj raznoliko paleto pridelkov. Poleg svoje pridelave v zabojnikih CropBox in z njo povezane aplikacije za pametne telefone prodajajo vertikalne in vodoravne hidroponske sisteme. Imajo tudi spletno trgovino, ki prodaja več kot 5.000 različnih izdelkov za gojenje hidroponskih rastlin: razsvetljavo, hranilne raztopine, črpalke, namakalne sisteme, prezračevalne naprave itd., ki jih izdelujejo druga podjetja.

V Evropi je francosko zagonsko podjetje Refarmers, ustanovljeno leta 2015, uradni evropski distributer ameriškega vertikalnega sistema zasaditve ZipGrow. V Veliki Britaniji podjetje LettUs Grow, ustanovljeno leta 2015, prodaja aeroponske sisteme in modularen način kmetijske pridelave ter programsko opremo za upravljanje pridelovanja hrane za daljinsko avtomatski nadzor, zbiranje podatkov in analizo rasti pridelkov. V-Farm, ki se je leta 2006 začel kot projekt za proizvodnjo krme in pirnic, je leta 2011 razvil svoj prvi nadstropni sistem za gojenje zelišč, zdaj pa ponuja vrsto modularnih sistemov NFT in poplavno odtočnih sistemov, primernih za gojenje v komercialnem obsegu. V Belgiji podjetje Urban Crop Solutions, ustanovljeno leta 2014, ponuja vse na enem mestu, in sicer opremo za gojenje rastlin na ključ in poprodajne storitve. Njihov oddelek za raziskave in razvoj je izdelal rastne recepte za več kot 200 sort poljščin.

Švedsko zagonsko podjetje Bonbio, ustanovljeno leta 2018, se opredeljuje kot »ponudnik na ključ, ki deluje na področju krožnega kmetovanja in pridelave rastlin«. Razvilo je lastniški koncept krožnega kmetovanja, kjer odpadno hrano pretvorijo v organska rastlinska hranila, ki so nato optimizirana za hidroponsko kmetovanje. Dolgoročno bodo Bonbio Nutrients na voljo pri prodajalcih ali v vrtnih centrih. Poleg tega podjetje sodeluje tudi z Ikeo. Zavržke hrane iz njihovih restavracij pretvorijo v

hranilno raztopino in jo nato uporabijo za gojenje solate v posodah zunaj trgovin, listi solate pa se uporabljajo v restavracijah.

iFarm je rusko start-up podjetje, ustanovljeno leta 2017, ki želi spremeniti kmetijstvo z zagotavljanjem avtomatiziranih vertikalnih kmetijskih sistemov, rastlinjakov in gojitvenih modulov, ki uporabljajo zemljo in ne hidroponiko. Modularni avtomatizirani rastlinjaki iFarma, namenjeni malim in srednje velikim podjetjem, lahko sprejmejo vse vrste pridelkov in so zasnovani tako, da so primerni za vsa mestna območja?, kot so prazne parcele in strehe, modularni vertikalni sistem pa se lahko postavi kjer koli v zaprtih ali pokritih prostorih. Rastni moduli so namenjeni gojenju zelenjave in jagod v restavracijah in trgovinah z živili. Vse tri sisteme upravlja programska oprema, povezana z oblakom, ki samodejno nadzoruje vse vidike okolja, vključno s temperaturo, oskrbo z vodo, razsvetljavo in hranili, pomešanimi v tla, in tako podjetju omogoča učinkovito programiranje kakovosti rastlin. Na podlagi zbranih podatkov, ki jih je analizirala skupina znanstvenikov iFarma, lahko urbani kmetje s pomočjo centralizirane zbirke podatkov prenesejo rastne recepte, namenjene maksimiranju kakovosti določenih pridelkov. Z vsakega kvadratnega metra zemlje se zbere več kot 50 različnih podatkovnih parametrov: ti preverjajo stopnje rasti in sporočajo, kdaj je treba žeti in kaj narediti z vsakim pridelkom. Ker so recepti enostavno dostopni, je ta vrsta sistema zasnovana tako, da bo prijala novemu tipu urbanega kmeta – tistemu, ki je morda tehnološko spreten, vendar o vrtnarstvu ne ve veliko. Všeč bo tudi pridelovalcem, ki želijo, da bi lahko svoj pridelek certificirali kot ekološki, kar v Evropi trenutno ni mogoče za pridelke, pridelane z uporabo hidroponike. Podjetje je razvilo tudi zasaditvenega robota.

Leta 2019 je podjetje iFarm prejelo skoraj milijon evrov finančne podpore ruskega vlagatelja tveganega kapitala v visokotehnološka podjetja, imenovanega Gagarin Capital, ta denar pa bo uporabilo za rast poslovanja v Rusiji in širitev v Evropo. Kar zadeva urbano kmetijstvo, je bilo v zadnjih letih v industriji veliko odmevnih naložb. Družba Plenty s sedežem v San Franciscu je zbrala rekordnih 180 milijonov evrov prek japonskega konglomerata SoftBank Group Corp (Cosgrove 2017). Eden od francoskih start-up podjetij za urbano kmetijstvo, ki mu je uspelo zbrati milijone sredstev, je Agricool, ki goji jagode v ladijskih zabojnikih v Parizu. Podjetje je bilo ustanovljeno leta 2015 in je prek zasebnih vlagateljev zbralo kar 11 milijonov evrov, prvič v francoski zgodovini urbanega kmetovanja. Jagode prodajajo lokalnim trgovcem na debelo, veleblagovnicam in trgovinam z gurmansko hrano. Podjetje ima štiri operativne zabojnike, ki dnevno proizvedejo povprečno 200 škatel jagod, kar pa še ni dobičkonosno. S povečanjem obsega poslovanja upajo, da bodo do leta 2021 postali donosni (Luquet 2018).

Zelo uspešna so postala le nekatera zagonska podjetja. V Vancouvru je Alterrus po manj kot dveh letih poslovanja razglasil bankrot. Ko je podjetje novembra 2012 začelo obratovati, je obljubljalo, da bo letno v rastlinjaku na strehi s hidroponsko pridelavo proizvedlo približno 68.000 kg listnate zelenjave in zelišč. Poslovni model pridelave je vključeval prodajo zelenjave in zelišč brez pesticidov v restavracijah višjega cenovnega razreda (Howell 2014). Podjetje Plantagon iz Stockholma je nameravalo preseliti proizvodnjo hrane v velemesta z razvojem in upravljanjem kmetijske pridelave, ki bi bila vključena v obstoječo mestno infrastrukturo: v poslovne stolpe, podzemne garaže in na fasade obstoječih stavb. Oblike urbanega kmetijstva bi lahko bile nameščene v naknadno

opremljenih oz. razširjenih obstoječih nepremičninah ali novih stavbah in bi se jih uvedlo kot simbiotične sisteme z uporabo obstoječe infrastrukture (kot je hlajenje/ogrevanje, proizvodnja bioplina, ravnanje z odpadki/vodo in proizvodnja energije) za proizvodnjo hrane. Prva oblika tovrstne pridelave podjetja Plantagon CityFarm se je leta 2018 odprla v kleti poslovne stavbe v Stockholmu, podjetje pa je nameravalo do leta 2020 razgraditi še 10 CityFarm v mestu. Sistem podzemne pridelave hrane v obsegu 100 kg zelenjave na dan je omogočal shranjevanje toplote, ki jo oddajajo LED-svetilke, in jo nato ponovno uporabil za ogrevanje zgornjih pisarn, zato je bila kmetija oproščena najemnine. Kakor koli, podjetje je imelo težave pri prodaji pridelkov, saj ti niso dosegali cen, ki so jih potrebovali, zato je Plantagon leta 2019 razglasil bankrot. Ob bankrotu so navedli težave s pretokom denarja in težave pri pridobivanju zadostnega kapitala, s čimer bi lahko ostali finančno neodvisni. Plantagon je bilo morda preveč napredno podjetje, kar zadeva projekte in hitrost pri uresničevanju svojih načrtov. Razkorak med obetajočimi inovacijami in njihovim dejanskim uresničevanjem je nekaj, kar znova in znova spodbuja agritehnološko industrijo (Marston 2019).

Številna neuspešna zagonska podjetja so bila urbani akvaponski sistemi. Eden glavnih dejavnikov, ki določa morebiten uspeh akvaponike, je konkurenčnost v primerjavi z alternativnimi proizvodnimi metodami. Investicijski stroški v ribogojnicah so skoraj dvakrat višji od stroškov hidroponskih sistemov. Da bi bila pridelava dobičkonosna, mora čim bolj povečati rastlinsko in ribjo proizvodnjo ter prihodke. Propad kmetij FarmeHere in GrowUp Urban Farm je bil že omenjen. Green & Gills je v kletnih prostorih The Plant v Chicagu delovalo le med letoma 2012 in 2015. Podjetje Urban Organics, 8083 $m^2$ velika akvaponska enota v St. Paulu v Minnesoti, kjer so gojili listnato zelenjavo in zelišča v zapuščeni pivovarni za trgovce na debelo, restavracijam pa so prodajali ribo tilapijo, jezersko zlatovčico in postrvi, se je zaprlo leta 2019 po šestih letih delovanja. UF002 De Schilde, akvaponski sistem v lasti UrbanFarmers v Haagu na Nizozemskem, je deloval med letoma 2015 in 2018. V rastlinjaku na strehi so gojili paradižnike, kumare, papriko in listnato zelenjavo, medtem ko je bil sistem ribogojstva za vzrejo ribe tilapije nameščen v zgornjem, šestem nadstropju nekdanje zgradbe Philipsa; od tod ideja, da bi celotno zgradbo napolnili z novoustanovljenimi podjetji, da bi delovali kot center za inovacije in znanje za urbano kmetijstvo. Ironično se je kmetija New Urban Farm odprla v istem mesecu, ko je UrbanFarmers bankrotiral. Trenutni najemnik četrtega nadstropja je podjetje HaagseZwam, ki goji gobe na kavnih usedlinah in prodaja komplete za gojenje gob. Druga start-up podjetja, ki so bila prisotna ob odprtju središča leta 2018 (npr. Rebel Urban Farms in Uptown Greens) ne kažejo, da bi bila aktivna.

UF002 De Schilde je izgubljal denar že na začetku, saj so bili stroški visoki, prihodki prenizki, vlagatelji pa niso bili več pripravljeni financirati kmetijske pridelave. Morda je bil napačen poslovni model. Višja vrednost, bolj specializirani pridelki, kot so kalice, ki jih je mogoče prodati restavracijam višjega cenovnega razreda in drugim potrošnikom, je morda boljša izbira kot paradižnik ali drugi sadni pridelki, ki se na veliko pridelujejo na nizozemskem podeželju in so na voljo v veleblagovnicah po zelo konkurenčnih cenah. Najpomembnejše vprašanje, ki si ga bodo zastavili vsi pridelovalci začetniki, ne glede na tehniko gojenja, je, kaj bodo gojili in za koga. Če pridelka ne moremo prodati, ga ne smemo gojiti. Če želimo odgovoriti na to vprašanje, je treba narediti dobro tržno raziskavo in ugotoviti, česa se na trgu ne da dobiti oz. česa trg potrebuje več, kdo bodo kupci in določiti cene, ki

bi jih bili kupci pripravljeni plačati. Družbena sprejemljivost in želje potencialnih kupcev so odločilni dejavniki za uspeh ali neuspeh podjetnika. V Berlinu so izvedli obsežno raziskavo, da bi izvedeli, kakšen odnos imajo potrošniki do različnih oblik urbanega kmetijstva. Izsledki raziskave so pokazali, da so javnost bolj podpira rastlinjake na strehi kot vertikalno ali akvaponsko pridelavo hrane (Specht *et al.* 2016b). Ti rezultati so skladni s tistimi iz prejšnjih raziskav, ki so pri zainteresirani javnosti preučevale dojemanje rastlinjakov na strehah v Barceloni (Sanyé-Mengual *et al.* 2015b) in Berlinu (Specht *et al.* 2016a). Tudi raziskava odnosa potrošnikov v Adelajdi v Avstraliji do urbanih akvaponskih enot je pokazala nizko stopnjo sprejetosti, kar je bilo medsebojno povezano z nepoznavanjem akvaponike (Pollard *et al.* 2017). To potrjuje ugotovitve vseevropske raziskave o sprejemanju akvaponike s strani potrošnikov (Milicic *et al*. 2017).

Izsledki vseh teh raziskav kažejo, da je kmetovanje brez tal v javnosti razumljeno kot »nenaravna« tehnika gojenja, le nekaj interesnih skupin pa ima o omenjenem kmetovanju nevtralno mnenje. Na splošno so idejo bodisi sprejeli bodisi radikalno zavrnili. To lahko pojasni majhno povpraševanje, kar pomeni, da številne dejavnosti v urbanem kmetovanju še vedno niso v polnem celoletnem zagonu pridelave, čeprav je 12-mesečna rastna sezona glavna prednost te industrije. Pri pridelavi v notranjih prostorih, ki dosega stalno prodajo, npr. Gotham Greens s svojimi rastlinjaki na strehah v New Yorku in Chicagu, se kupci odzivajo predvsem na močno »lokalno« blagovno znamko in ne na tehnologijo, ki je potrebna za proizvodnjo hrane.

Urbano kmetijstvo za gojenje gob, kot je HaagseZwam, je uspešno zaradi upoštevanja načel krožnega gospodarstva. Pariški La Boîte à Champignons v kavnih usedlinah goji bukovega ostrigarja v kleti veleblagovnice in prodaja svoje pridelke v tej in drugih bližnjih veleblagovnicah in restavracijah. Svoje delovanje še dodatno popestrijo tako, da prodajajo komplete za gojenje na domu, ki jih je mogoče naročiti po spletu, ter izobraževalne komplete za učence. Tudi v podjetju RotterZwam v nekdanjem bazenu v Rotterdamu gojijo bukovega ostrigarja. Poleg kavne usedline kot substrat uporabljajo tudi kavno lupino – še en odpadek. Da bi si zagotovili potrebno količino kave, so se o dobavi dogovorili z večino mikro pražarn v Rotterdamu in s pražilci v okoliški regiji, kavo pa brezplačno zbirajo tedensko osnovi. Ker večino kave porabimo doma (približno 70 %), so razvili rastni komplet, tako da lahko ljudje uporabljajo lastne kavne odpadke za gojenje gob. Prodajajo tudi vstopnice za oglede lastne pridelave gob. Podjetje GroCycle v neuporabljeni poslovni zgradbi v Exeterju (Velika Britanija) goji bukovega ostrigarja v kavni usedlini (slika 9). Poleg tega, da svoje izdelke prodaja v restavracijah in prodajalnah s hrano, prodaja tudi komplete gob za gojenje doma, odpadke iz svojega rastnega cikla pretvori v kompost in ponuja spletni tečaj gojenja gob z nizko tehnologijo. Tudi podjetje Hut und Stiel na Dunaju uporablja kavno usedlino za gojenje bukovega ostrigarja. Najboljše pridelke prodaja trgovcem z živili, medtem ko se gobe slabše kakovosti v sodelovanju z dunajskimi delikatesami uporabljajo za namaze in omake. Za domačo gojenje podjetje prodaja tudi kulture za začetnike.

Slika 9: Micelij bukovega ostrigarja, ki raste na kavni usedlini v visečih vrečkah, težkih 12 kg (https://grocycle.com/)

Ti primeri urbane pridelave gob ponazarjajo različne pridelke in storitve, ki jih lahko podjetje ponudi poleg samih gob. Gurmanske sorte gob, kot sta bukov ostrigar in šitake, so vrhunski pridelek. V Veliki Britaniji je npr. maloprodajna cena približno 13 €/kg v primerjavi s 3 €/kg za češnjev paradižnik. Gobe lahko zrastejo od začetka do konca v samo 3–4 tednih, na 10 $m^2$ rastne površine pa lahko podjetja proizvedejo do 10 kg gob na teden. Poleg tega, da lahko zmanjšajo stroške z uporabo brezplačnega substrata za gojenje svojih pridelkov, imajo urbane farme gob precej nižje obratovalne stroške v primerjavi z urbanimi kmetijskimi pridelavami, ki gojijo listnato zelenjavo in sadne pridelke: za razliko od rastlin lahko gobe rastejo brez svetlobe, zato ni potrebe po dragih LED-svetilkah, čeprav obarvane sorte ostrigarjev za obarvanje potrebujejo svetlobo. Kleti so popolne za gojenje gob, saj je v njih razmeroma enostavno stabilizirati tako temperaturo kot vlažnost samo z vzdrževanjem dobrega pretoka zraka, poleg tega pa so v mestih tudi zelo pogost prostor.

## 13.6 Zaključki

Komercialno urbano kmetovanje v pokritih ali notranjih prostorih zahteva inženirje, vrtnarje, podatkovne strokovnjake, strokovnjake za HVAC, rastlinske znanstvenike in še druge strokovnjake z znanjem in razumevanjem kmetijstva v nadzorovanem okolju. Urbani kmet se prav tako srečuje s specifično logistiko in upravljanjem dobavne verige na nižji stopnji, zato mora poznati poslovne in operativne strani urbanega kmetovanja. Teme, kot so analiza trga, operativno upravljanje, modeliranje delovne sile, trženje, določanje cenovnih točk, logistika in distribucija, so v vseh urbanih kmetijstvih zelo pomembne. Komercialno urbano kmetijstvo v zaprtih prostorih je novo in razmeroma nepreverjeno področje poslovanja. V mestih v Vzhodni Aziji in na Bližnjem vzhodu lahko pomembno prispeva k verigi mestne preskrbe s hrano. V Severni Ameriki in Evropi pa urbana kmetijska pridelava preprosto ne more konkurirati obmestnim in podeželskim kmetijam zaradi svoje omejene velikosti in višjih proizvodnih stroškov na enoto proizvodnje, zato se širokih sprememb zakonodaje in upravljanja, ki bi jim razvoj olajšale, ne pričakuje. Po drugi strani urbano kmetijstvo ponuja priložnosti za ustvarjanje vrhunskih pridelkov, ki so lahko zelo donosni. Medtem ko sadja in zelenjave v Evropi ne moremo tržiti kot »ekološko«, saj je certificiranje omejeno na kmetije, ki svoje pridelke gojijo na tleh, je mogoče višje cene še vedno določiti s sklicevanjem na lokalno pridelavo namesto na tehnologijo, ki je bila uporabljena za njihovo pridelavo. Drugi pridelki visoke vrednosti, ki

bi jih bilo koristno gojiti v urbanih zaprtih okoljih, vključujejo zdravilne rastline, žafrane, morski koprc, vodno krešo in užitne polže. Ne glede na izdelek mora biti tipologija pridelave (rastlinjak na strehi, tovarna rastlin, zabojniki itd.) prilagojena pridelku, ta pa mora ustrezati zahtevam kupca. Čeprav so kakovostni pridelki in procesi zelo pomembni, pa ne bodo odločali o uspehu ali neuspehu podjetja: usoda podjetja je vedno bolj odvisna od njegove zmožnosti uporabe ustreznega inovativnega poslovnega modela, kar ga razlikuje od tekmecev.

## 13.7 Literatura


Benis, K. & Ferrão, P. 2018. Commercial farming within the urban built environment – Taking stock of an evolving field in northern countries. *Global Food and Security* 17, 30-37.

Benis, K., Reinhart, C. & Ferrão, P. 2017. Development of a simulation-based decision support workflow for the implementation of Building-Integrated Agriculture (BIA) in urban contexts. *Journal of Cleaner Production* 147, 589-602.

Beytes, C. 2017. FarmedHere shuts down. Grower Talks.

Buehler, D. & Junge, R. 2016. Global trends and current status of commercial urban rooftop farming. *Sustainability* 8 (11), 1108.

Cerón-Palma, I., Sanyé-Mengual, E., Oliver-Solà, J., Montero, J.I & Rieradevall, J. 2012. Barriers and opportunities regarding the implementation of Rooftop Eco.Greenhouses (RTEG) in Mediterranean cities of Europe. *Journal of Urban Technology* 19, 1-17.

Cosgrove, E. 2017. SoftBank invests in largest ever agtech deal, a $200m Series B for indoor ag startup Plenty. AgFunder News.

Delaide, B., Delhaye, G., Dermience, M., Gott, J., Soyeurt, H. & Jijakli, M.H. 2017. Plant and fish production performance, nutrient mass balance, energy and water use of the PAFF Box, a small-scale aquaponics system. *Aquacultural Engineering* 78, 130-139.

Despommier, D. 2010. *The Vertical Farm: Feeding the World in the 21st Century*. St Martin's Press, New York.

Geisendorf, S. & Pietrulla, F. 2018. The circular economy and circular economic concepts – a literature analysis and redefinition. *Thunderbird International Business Review* 60, 771-782.

Goodman, W. & Minner, J. 2019. Will the urban agricultural revolution be vertical and soilless? A case study of controlled environment agriculture in New York City. *Land Use Policy* 83, 160-173.

HortiDaily 2019. Infarm gets $100 million financial boost. HortiDaily.com.

Howell, M. 2014. Alterrus bankruptcy soils garden vision. Vancouver Daily.

Jachec, H. 2019. Swedish grocery store reveals line of produce grown on-site. iGrow.

Kozai, T. 2013. Plant factory in Japan – current situation and perspectives. *Chronica Horticulturae* 53 (2), 8-11.

Kozai, T., Niu, G. & Takagaki, M. 2016. *Plant Factory: An Indoor Vertical Farming System for Efficient Quality Food Production*. Academic Press, London.

Luquet, A. 2018. Paris leads the way in France's growing urban farming history. The Epoch Times.

Marston, J. 2019. What Plantagon's bankruptcy could tell us about the future of large-scale vertical farming. The Spoon.

McEldowney, J. 2017. *Urban agriculture in Europe: Patterns, challenges and policies*. European Parliamentary Research Service.

Miličič, V., Thorarinsdottir, R., Dos Santos, M. & Turnšek Hančič, M. 2017. Commercial aquaponics approaching the European market: To consumers' perceptions of aquaponics products in Europe. *Water* 9 (2), 80.

Nehls, T., Jiang, Y., Dennely, C., Zhan, X. & Beesley, L. 2016. From waste to value: Urban agriculture enables cycling of resources in cities. In F. Lohrberg, L. Lička, L. Scazzosi & A. Timpe (eds.) *Urban Agriculture in Europe*, pp. 170-173. Jovis, Berlin.

Pollard, G., Ward, J.D. & Koth, B. 2017. Aquaponics in urban agriculture: Social acceptance and urban food planning. *Horticulturae* 3 (2), 39.

Prové, C., Kemper, D., Loudiyi, S., Mumenthaler, C. & Nikolaidou, S. 2016. Governance of urban agriculture initiatives: insight drawn from European case studies. In F. Lohrberg, L. Lička, L. Scazzosi & A. Timpe (eds.) *Urban Agriculture in Europe*, pp. 64-69. Jovis, Berlin.

Sanyé-Mengual, E., Céron-Palma, I., Oliver-Solà, J., Montero, J.I & Rieradevall, J. 2013. Environmental analysis of the logistics of agricultural products from rooftop greenhouses in Mediterranean urban areas. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 93, 100-109.

Sanyé-Mengual, E., Oliver-Solà, J., Montero, J.I. & Rieradevall, J. 2015a. An environmental and economic life cycle assessment of rooftop greenhouse (RTG) implementation in Barcelona, Spain. Assessing new forms of urban agriculture from the greenhouse structure to the final product level. *International Journal of Life Cycle Assessment* 20, 350–366.

Sanyé-Mengual, E., Anguelovski, I., Oliver-Solà, J., Montero, J.I. & Rieradevall, J. 2015b. Resolving differing stakeholder perceptions of urban rooftop farming in Mediterranean cities: promoting food production as a driver for innovative urban forms. *Agriculture and Human Values* 33, 101-120.

Specht, K., Siebert, R. & Thomaier, S. 2016a. Perception and acceptance of agricultural production in and on buildings (ZFarming): a qualitative study from Berlin, Germany. *Agriculture and Human Values* 33, 753-769.

Specht, K., Weith, T., Swoboda & Siebert, R. 2016b. Socially acceptable urban agriculture businesses. *Agronomy for Sustainable Development* 36, 17.

Theurl, M.C., Haberl, H., Erb, K.-H. & Lindenthal, T. 2013. Contrasted greenhouse emissions from local versus long-range tomato production. *Agronomy for Sustainable Development* 34 (3), 593-602.

Thomaier, S., Specht, K., Henckel, D., Dierich, A., Siebert, R., Freisinger, U.B. & Sawicka, M. 2015. Farming in and on urban buildings: Present practice and specific novelties of Zero-Acreage Farming (ZFarming). *Renewable Agriculture and Food Systems* 30, 43–54.

Thomasson, E. 2019. IKEA to start serving salad grown at its stores. Reuters.

van der Schans, J.W. 2015. *Business Models Urban Agriculture*. Wageningen University.

van der Schans, J.W., Renting, H. & van Veenhuizen, R. 2014. Innovations in urban agriculture. *Urban Agriculture Magazine* 28, 3-12.

Wei, L.D. 2018. Berry fresh prospects for vertical farming. The Straits Times.

Vermeulen, S., Campbell, B.M. & Ingram, J.S.I. 2012. Climate change and food systems. *Annual Review of Environment and Resources* 37, 195-222.

**Sarah Milliken**

# 14. VERTIKALNA AKVAPONIKA

## 14.1 Uvod

V večini akvaponskih sistemov se uporablja vodoravne rastne grede, kar je podobno tradicionalnim praksam gojenja zelenjave v tleh. V zadnjih letih so se pojavile tudi nove tehnologije: t. i. vertikalno kmetovanje omogoča v primerjavi z vodoravnimi rastnimi gredami gojenje večjega števila rastlin, če ga povežemo z ribogojnim delom akvaponskega sistema. Pri tem uporabimo tisti del prostora v vertikalni smeri, ki ga v rastlinjakih običajno ne. To pa bi lahko povečalo produktivnost akvaponskih sistemov zlasti v mestih, kjer je prostora manj (Palm *et al.* 2018). To podpirajo tudi primerjalne študije vertikalnih in horizontalnih hidroponskih sistemov; te so pokazale precej večjo produktivnost vertikalnih sistemov, upoštevajoč razmerje med donosom in izkoriščenostjo talne površine (Liu *et al.* 2004; Neocleous *et al.* 2010; Ramírez-Arias *et al.* 2018; Ramírez-Gómez *et al.* 2012; Touliatos *et al.* 2016).

Kljub temu da se optimalna izraba prostora najpogosteje omenja kot prednost vertikalne akvaponike, je treba upoštevati tudi njene pomanjkljivosti. Zadrževanje biološkega materiala je značilno za akvaponske sisteme, za kar so vertikalni sistemi še posebej dovzetni, kar zmanjša pretoke in povzorči povzročijo primanjkljaj vode v rastlinah. Da se temu izognemo, je treba rutinsko čistiti sestavne dele sistema (Patillo 2017). V primerjavi s horizontalnimi sistemi je za dvig vode do vrha vertikalnega akvaponskega sistema potrebno še dodatno črpanje vode. Prednost gojenja rastlin na horizontalnih rastnih gredah je tudi naravna svetloba, ki praviloma neposredno pada na rastline z vseh strani, medtem ko bi oprema in drugi sestavni deli akvaposnkega sistema predstavljali le oviro. Če je potrebna umetna razsvetljava, jo je brez kakršnih koli motenj možno namestiti nad rastline. Pri vertikalni akvaponiki je naravna svetloba intenzivnejša v zgornjemu delu sistema kot v spodnjem. Navpični elementi le ovirajo svetlobo, zato umetna razsvetljava lahko nadomesti izgube svetlobe (Khandaker & Kotzen 2018). Preden se odločimo za vertikalno akvaponiko, je treba opraviti analizo stroškov ter pretehtati prednosti potencialno višjih donosov in dodatnih stroškov električne energije.

Na voljo je več različnih vertikalnih oblik hidroponskega sistema, ki ga lahko povežemo z enoto za gojenje rib. Navpično gojenje lahko vključuje več plasti t. i. globokovodnih kultur (angl. *Deep water culture* – DWC), tehniko hranilnih filmov (angl. *Nutrient film technique* – NFT), poplavno-odtočne sisteme in t. i. rastne stolpe (angl. *growing towers*), ki vključujejo aeroponsko gojenje rastlin, pri čemer korenine rastline poškropimo z vodo, obogateno s hranili. Zasnova sistema določa, koliko rastlin lahko gojimo na enem kvadratnem metru, kar vpliva tudi na donos. Številne študije so pokazale, da so rast sadik, razmerje med rastlinami in vodo, vnos hranil, transpiracija in donos omejeni z rastjo korenin. Rastline so lahko bolj dovzetne za rastne nepravilnosti, kot so gniloba v paradižniku in papriki ter osmojene konice listov na solati. Čim manjše je koreninsko območje, tem intenzivneje je treba upravljati s sistemom, da bi zagotovili rizosferno okolje brez stresa za optimalno rast rastlin (Heller *et al.* 2015).

## 14.2 Rastni stolpi

Rastni stolpi so sistemi, kjer preko vertikalnih cevi vodo, bogato s hranili, z vrha razpršimo skozi šobe, s čimer v stolpu ustvarimo »dež«, ki kaplja po koreninah rastlin, ki so izpostavljene stolpu. Stolpi oz. stebri so lahko votli ali napolnjeni s polnilom, ki zagotavlja podporo koreninam in napravam za razprševanje vode. Najpreprostejša izvedba rastnega stolpa je PVC-cev z na straneh vrezanimi luknjami. Touliatos *et al.* 2016 so v primerjalni študiji ugotovili, da v hidroponskem rastnem stolpu zraste 13,8-krat več solate kot v običajnem horizontalnem sistemu NFT, izračunano kot donos na zasedeno talno površino. Vendar pa je bila povprečna teža sveže solate, gojene v horizontalnem sistemu, precej večja od teže solate, gojene v vertikalnem sistemu. Medtem ko je bila produktivnost v horizontalnem sistemu enakomerna, se je sveža teža v vertikalnem sistema zmanjševala od vrha proti spodnjemu delu stolpa. Razlog je lahko gradient razpoložljivosti hranil in intenzivnost svetlobe. O podobnih gradientih svetlobe so poročali tudi v drugih študijah o uporabi hidroponskih stolpnih sistemov v rastlinjakih (Liu *et al.* 2004; Ramírez-Gómez *et al.* 2012). Pri jagodah, gojenih v vertikalnih PVC-stolpih, napolnjenih s hidroponskim polnilom perlit pri gostoti 32 rastlin/$m^2$, je bil donos 11,8 kg/$m^2$, pri čemer se je donos na rastlino zmanjšal za 40 g na vsakih 30 centimetrov višine stolpa, kar je posledica nezadostne svetlobe v spodnjih ravneh stolpa (Durner 1999). Tudi premer stolpa vpliva na rast rastlin. Vsebnosti hranil v vodi visokih ozkih stolpov bodo nižje kot v nižjih širokih stolpih, kljub istemu volumnu rastnega medija na enoto dolžine. Prav tako bodo korenine rastlin podvržene večjim dnevnim temperaturnim spremembam, ki vplivajo na vnos hranil in motijo presnovo ogljikovih hidratov v koreninah, kar zavira rast (Heller *et al.* 2015).

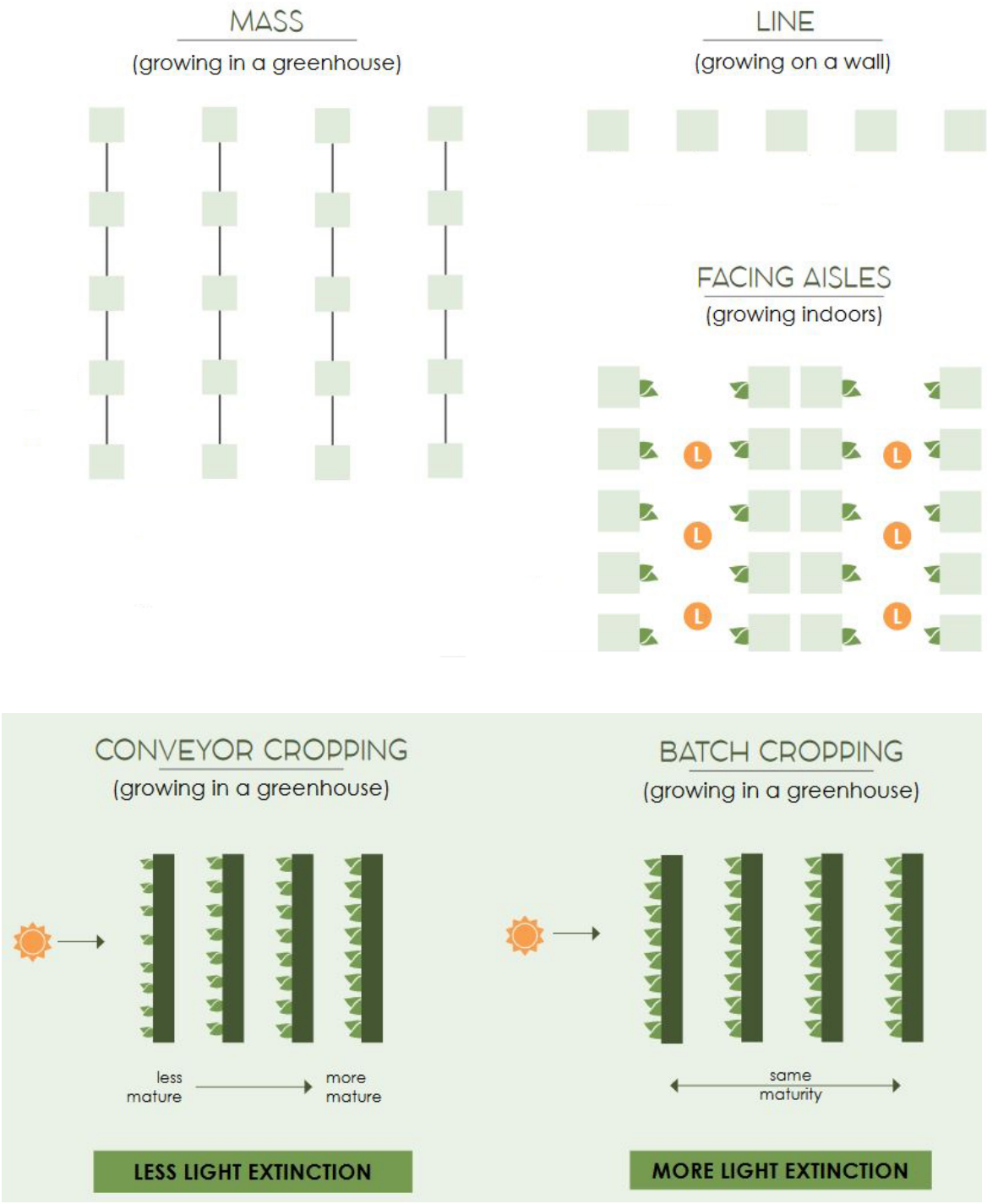
Primer akvaponskega sistema Tower Farms (slika 1) je modularen sistem: na tri metre visokem stolpu lahko gojimo 52 sadik listnate zelenjave, zelišč ali drugih pridelkov ali 208 kalic oz. mikrozelenjave (angl. *microgreens*). Vsak stolp je opremljen z manjšo črpalko (50 W) in časovnikom, ki črpalko v 12-minutnih intervalih vklopi za 3 minute. Čeprav tehnično vsak stolp zaseda 1 m², bi bilo 2 m² na stolp dovolj, da ob stolpu postavimo še dozirno postajo in zagotovimo dovolj prostora med stolpi za prehod. V Evropi sistem Tower Farms distribuira podjetje Ibiza Farm.

Slika 1: Sistem Tower Farm
(vir: https://ibiza.farm/)

Love *et al.* (2015) v raziskavi med komercialnimi akvponskimi pridelovalci ugotavljajo, da jih skoraj tretjina uporabljala rastne stolpe, vendar pa ni na voljo primerjalnih podatkov glede donosa akvaponskih stolpnih sistemov in običajnih horizontalnih akvaponskih sistemov. ZipGrow je primer vertikalno zasnovane hidroponske tehnologije za visoko gostoto pridelave v podjetju Bright Agrotech, ki v mestu Laramie (Wyoming) upravlja vertikalni akvaponski sistem s 400 stolpi (slika 2). Gostota stopov je en stolp na vsakih 0,7 $m^2$. Pridelek je posajen v kanalu, ki vodi vzdolžno ene strani vsake toge PVC-cevi, odporne proti UV-žarkom. Rastline rastejo v lastnem patentiranem gojišču podjetja Matrix Media, ki je narejeno iz recikliranih vodnih steklenic in veziva iz silikonskega oksida. Rastoče gojišče, ki ga z vrha kapljično namakajo, ima za akvaponski sistem več koristi. Ima izjemno veliko biološko površino (82–88 $m^2/m^3$), kar sistemu omogoča zelo visoke ravni nitrifikacije in spodbuja rast rastlin. Zaradi svoje vlaknaste narave ima 91-% razmerje med praznim prostorom in polnilom (angl. *void ratio*). Ta velika poroznost ustvarja visoko aerobno okolje za korenine rastlin in obogatitev vode s kisikom, prav tako pa omogoča visoke ravni perkolacije. Poleg tega se lahko trdne snovi zaradi aerobnega okolja zbirajo in razgrajujejo na polnilnem mediju, ne da bi se ustvarilo anaerobno mikrookolje (Michael 2016). Sistem ZipGrow v Evropi distribuira podjetje Refarmers. Standardni stolp (152 cm) zagotavlja mehansko in biološko filtracijo za od 0,7 do 1,1 kg odraslih rib. Priporočljiva gostota ribjega staleža je med 12 kg in 15 kg na $m^3$.

Slika 2: Sistem ZipGrow
(vir: https://www.greenlifeplanet.net/product-page/zipgrow-tower)

Večina stolpnih sistemov ima velike izgube zaradi neenakomerne osvetlitve. To še posebej velja za 4-stranske sisteme, ki imajo skoraj 90 % izgube svetlobe od zgornjega sprednjega dela do spodnjega zadnjega dela stolpa, tudi če stolpi niso gosto razporejeni. Če so stolpi ZipGrow razvrščeni in upravljani pravilno, so izgube svetlobe zelo majhne, tudi 0,5–0,8 $m^2$ na stolp. Obstajajo tri konfiguracije, ki jih lahko uporablja pridelovalec, odvisne pa so od vrste objekta in pridelka: masivna konfiguracija, linijska konfiguracija in obrnjena konfiguracija. Pridelovalci lahko varčujejo s svetlobo tudi s pomočjo aktivnega pridelovanja na gibljivem sistemu (angl. *conveyor cropping*) (slika 3).




Slika 3: Konfiguracije in režimi obrezovanja rastlin v rastnih stolpih ZipGrow
(vir: https://info.brightagrotech.com/hubfs/blog-files/Infographics/ZipGrow_Tower_Spacing_Guide_-Bright_Agrotech.pdf)

V 1,5-metrskem stolpu ZipGrow lahko gojimo 8–10 rastlin v velikosti solate ali 5–8 rastlin v velikosti bazilike, odvisno od sorte. Masne konfiguracije stolpov, ki stojijo v vrstah na stojalu, so ponavadi najbolj optimalna izbira za komercialne pridelovalce, ki želijo visoke donose. Ko so stolpi nameščeni pravilno (0,7 $m^2$ na stolp), je to dovolj, da dobimo zadosten pridelek z naravno svetlobo. 50 cm prostora med vrstami omogoča dostop do stolpov. Stolpe je mogoče namestiti tudi na stene (slika 4).

Slika 4: Sistem ZipGrow sistem, pritrjen na steno (Vir: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Urban_Vertical_Farm_With_Woman_%26_Child.jpg)

Sistem ZipGrow je bil nameščen tudi v ladijski zabojnik kot del akvaponskega sistema z rastlinjakom na strehi v osrednjem Londonu – GrowUp Box (slika 5). GrowUp Box zaseda samo 14 $m^2$ in na leto lahko pridela več kot 435 kg solate in zelišč ter 150 kg rib.

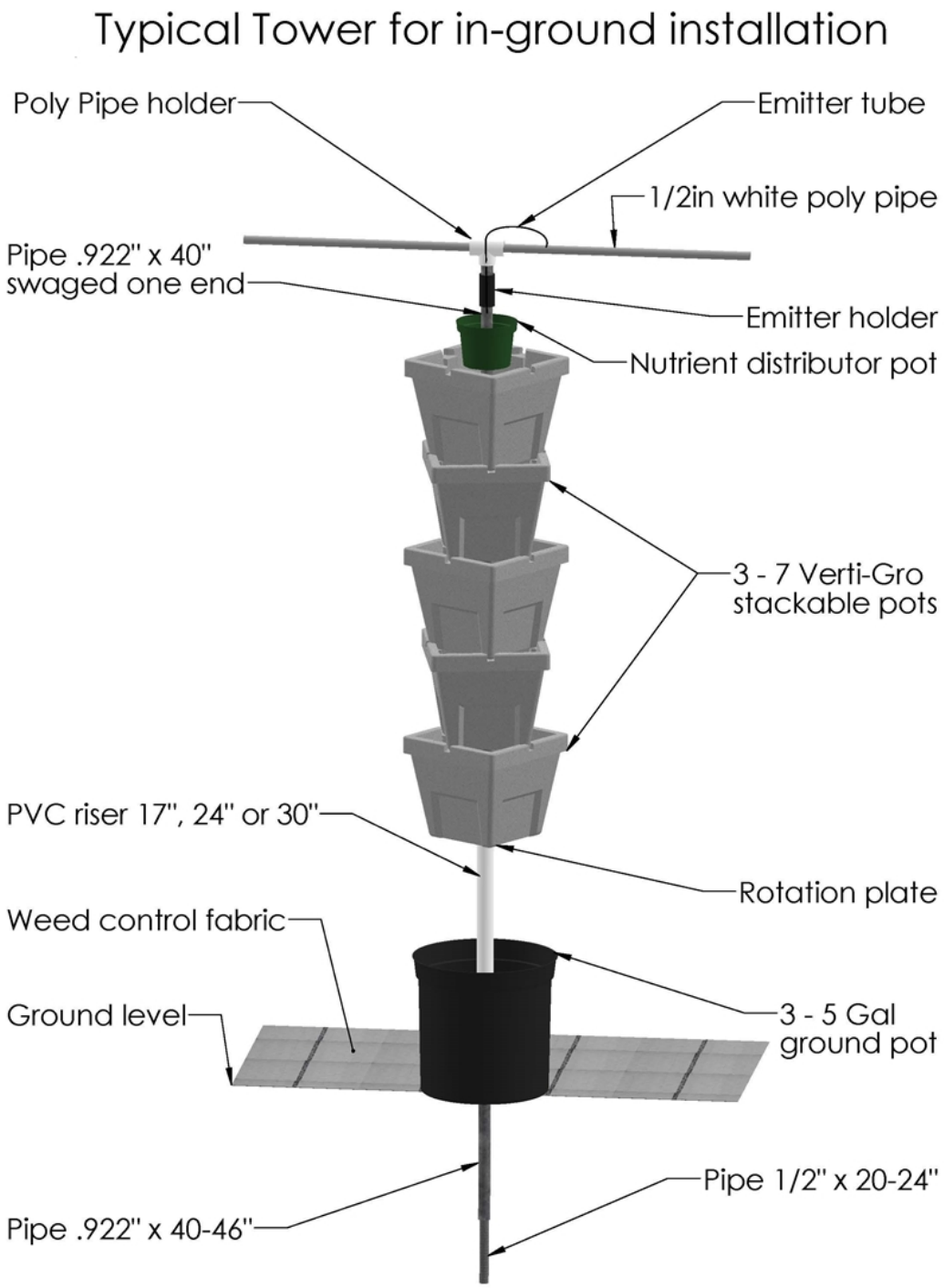
Slika 5: GrowUp Box
(vir: https://www.timeout.com/london/things-to-do/growup-box-tours)

V ZDA je podjetje NaturePonics z uporabo bambusa, gojenega v Indoneziji in na Filipinih, razvilo vertikalni sistem BooGardens (slika 6). Sistem je mogoče uporabiti v domači in komercialni akvaponiki, hidroponiki ali aeroponiki. Stolpi iz bambusa, ki jih je mogoče požeti vsaka tri leta, so najbolj trajnostni rastni stolpni sistem, ki je trenutno na trgu.

Slika 6: Komercialna enota akvaponike BooGardens
(vir: http://www.natureponics.net/boo-gardens/)

Druga različica rastnih stolpov je sistem zloženih loncev, kot ga proizvaja Verti-Gro za hidroponsko gojenje. Petlitrske lonce EPS, ki zagotavljajo izolacijo koreninam, je mogoče zložiti do deset loncev visoko, pri čemer je v vsakem loncu dovolj prostora za štiri rastline. Lonci so nameščeni na rotacijskih ploščah na PVC-nosilcu, kar pomeni, da jih je mogoče enostavno obrniti, da omogočimo enakomerno sprejemanje svetlobe (slika 7). Sistem je bil patentiran leta 1994 in je bil podvržen številnim znanstvenim ocenam. Ugotovljeno je bilo, da je sistem s šestimi lonci učinkovitejši kot sistemi s sedmimi ali osmimi lonci tako glede biomase kot količine in kakovosti pridelka. To pa zato, ker se je sestava hranilne raztopine spreminjala, ko je potovala navzdol in negativno vplivala na rast rastlin v spodnjih delih oz. loncih (Al-Raisy *et al*. 2010). Tudi svetloba je lahko težava: intenzivnost sončne svetlobe, ki doseže rastline na dnu stolpa sedmih loncev, je predstavljala le še 10 % tiste, ki je bila izmerjena na vrhu. Suboptimalni svetlobni pogoji na srednjem in spodnjem delu so negativno vplivali na rast jagod in količino pridelka. Rastline v teh delih niso razvile optimalnega števila vej in so pozneje obrodile manj v primerjavi z rastlinami v zgornjem delu (Takeda 2000). Na kakovost plodov vpliva tudi položaj rastlin na stolpu, pri čemer imajo plodovi v zgornjem predelu višjo skupno topno trdno snov (TSS) in nižjo titracijsko kislost v primerjavi s tistimi, ki rastejo v nižjih predelih (Murthy *et al.* 2016). Primerjalna študija hidroponske pridelave jagod v sistemu zloženih štirih loncev Verti-Gro in dveh vrst horizontalnega sistema je pokazala, da je bil zaradi manjše intenzivnosti svetlobe na dnu stolpa in posledično nižje stopnje fotosinteze pridelek manjši, plodovi so bili lažji in manj jih je bilo primernih za prodajo na trgu v primerjavi s horizontalnimi sistemi. Manjša osvetljenost povzroča sterilnost prašnikov in slabšo kakovost cvetnega prahu, kar vpliva na neustreznost plodov (Karimi *et al*. 2013).

Pri večji gostoti rastlin v rastnih stolpih je treba zagotoviti prostor za enakomerno širjenje svetlobe in prostor med vrstami za upravljanje in vzdrževanje. Vrste med rastnimi stolpi morajo biti tako široke, da premikajoči se predmeti, kot so vozički in škarjasta dvigala, ne ogrožajo pridelkov, ko se vozijo mimo njih. Luči lahko ovirajo gibanje ljudi, zato morajo biti del konstrukcije, izvlečne ali premične, da delavci lahko nemoteno opravljajo svoje naloge.




Slika 7: Sistem Verti-Gro

(vir: https://www.vertigro.com/Verti-Gro-4-Tower-System-Automatic-p/vgk-16agp.htm)

Sistem zloženih loncev je najprimernejši za gojenje velikih in težkih rastlin, npr. plodovk. Kmetija akvaponike v Dentonu (Nebraska), imenovana Grow with the Flow, uporablja stolpe iz zloženih loncev za gojenje paradižnikov, kumar in zelišč (slika 8).

Slika 8: Rastni stolpi v akvaponskem rastlinjaku Grow with the Flow (vir: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Vertical_Tower_Aquaponic_System.jpg)

## 14.3 Zložene rastne grede

Pri tem sistemu so vodoravne rastne grede zložene v vertikalne vrste. To pomeni, da je v rastlinjaku samo zgornja greda obrnjena proti naravni svetlobi, medtem ko je spodnjim treba zagotoviti dodatno osvetlitev. Običajno to storimo z lučmi, ki so pritrjene na dno zgornje grede. Čeprav to pomeni, da bi lahko rastne grede zlagali tako visoko, kot to dovoljuje rastlinjak, v praksi rast na višini predstavlja tudi težje upravljanje s sistemom. Zato sta potrebni uporaba škarjastih dvigal za sajenje, vzdrževanje in obiranje ter dodatna energija za črpanje vode na vse ravni. Čim krajša je rast pridelka, več jih je mogoče vstaviti v sistem. To pomeni, da se vodoravne grede večinoma uporablja za gojenje kalic. Rastne gredice so lahko DWC, NFT ali grede s polnilnim medijem. Npr. Hydrogarden v Veliki Britaniji proizvaja različne modele V-Farm: štiri- in petstopenjski NFT, primeren za zelišča, listnato zelenjavo in jagode. Na njem lahko raste do 35 rastlin/$m^2$. Na petstopenjskem poplavno-odtočnem sistemu lahko raste 4,6 $m^2$ kalic na 1 $m^2$.

Kanadsko podjetje VertiCrop je razvilo popolnoma avtomatiziran vertikalni NFT-sistem kmetovanja z visoko gostoto in zaprto zanko (slika 9). Sistem za gojenje kalic listnate zelenjave in zelišč je nameščen na strehi rastlinjaka Local Garden v Vancouvru. 3000 rastnih gred je zloženih po 12 v višino, ki se premikajo na vertikalnem tekočem traku, s čimer je vsaki rastlini zagotovljene največ sončne svetlobe.

Slika 9: Sistem VertiCrop

(vir: https://grow.verticrop.com/vertical-farming/)

Sistem Verticalis (slika 10), ki ga je razvil Friendly Aquaponics iz ZDA, je zasnovan tako, da razvrsti rastne grede v rastlinjaku, pri čemer so nosilci NFT vzdolžno obrnjeni drug proti drugemu, zato je prostor karseda izkoriščen. V takšni konfiguraciji, ki zahteva umetno svetlobo, lahko proizvedejo 300 rastlin/$m^2$. Kolesa na dnu enot omogočajo enostavno premikanje, vsak nosilec pa je možno izvleči iz enote, kar olajša sajenje, vzdrževanje in obiranje.

Slika 10: Sistem Verticalis

(vir: https://www.friendlyaquaponics.com/product/vertical-aquaponics-growing/)

Obstaja tudi nekaj poskusov povezovanja akvaponike s t. i. komercialnimi vertikalnimi kmetijami. S 8361 $m^2$ je bil FarmedHere v Chicagu (slika 11) prvi te vrste in največja notranja vertikalna kmetija v Severni Ameriki. Sistem so odprli leta 2013 ob pričakovanjih, da bo postal nov model za učinkovito pridelavo na visokotehnološki način, vendar so ga leta 2017 zaradi visokih stroškov energije in dela zaprli. Kmetija je bila postavljena v dvonadstropnem skladišču brez oken. Z zlaganjem bazenov za ribe in DWC v vertikalni smeri je objekt predstavljal 13.935 $m^2$ (1,4 hektarja) rastnega prostora in letno omogočal pridelavo 136.000 kg listnate zelenjave in zelišč (Al-Kodmany 2018).

Slika 11: FarmedHere v Chicagu
(vir: https://www.wsj.com/articles/vertical-farming-takes-root-1449237679)

Greens and Gills so leta 2012 v kleti odprli t. i. The Plant v Chicagu (glejte tudi poglavje 13). Kmetija na 300 $m^2$ je uporabljala 6-stopenjski akvaponski sistem DWC za gojenje listnate zelenjave, zelišč in kalic. Tilapijo in zelenjavo so prodajali restavracijam, trgovinam z živili in lokalnim distributerjem. Podjetje se je leta 2015 zaprlo, objekt pa so dali na trg z izklicno ceno 255.000 USD (Sijmonsma 2015). Podjetje ni bilo prodano, akvaponski sistem pa trenutno uporablja podjetje Plant Chicago za usposabljanje posameznikov v obliki mesečnih tečajev.

V Veliki Britaniji so urbane kmetije GrowUp Urban Farms združile akvaponiko z vertikalnimi rastnimi tehnologijami in nadzorovano okoljsko pridelavo (angl. *Controlled Environment Production* – CEP) solat ter zelišč v enem koledarskem letu. Od leta 2015 je GrowUp upravljal z Enoto 84, ki je komercialna akvaponska urbana kmetija v industrijskem skladišču vzhodnega Londona (slika 12). Na 762 $m^2$ rastnega prostora lahko pridelajo več kot 20.000 kg solate in zelišč ter 4000 kg rib vsako leto. V letu 2017 so Enoto 84 zaprli, saj sorazmerno majhen obseg proizvodnje ni ustvarjal dobička.

Slika 12: Enota 84 v Londonu
(vir: https://www.growup.org.uk/gallery/62tsypmu00xml48fks0sjme3rhdg2s)

Podjetje Edenworks v New Yorku goji kalice, pri tem uporablja v štiri ravni zložene grede DWC v skladišču brez oken. Njihove za uživanje pripravljene mešanice kalic (brokoli, rdeče zelje, ruski ohrovt ter redkev in gorčična zelenica) se prodajajo v lokalnih trgovinah z živili, tilapijo pa oddajo lokalnim organizacijam ali postrežejo na poslovnih prireditvah. Edenworks je razvil tudi sistem Farmstack za strešne rastlinjake. Sistem prototipov v velikosti 75 $m^2$ je na vrhu industrijske stavbe v Brooklynu (slika 13). Voda iz bazenov za tilapijo, ki je na dnu vsakega 3 metra visokega sklopa, se prečrpa do vrha in nato filtrira skozi različne ravni nazaj v bazen.

Slika 13: Akvaponski rastlinjak na strehi Edenworks
(vir: https://viewing.nyc/edenworks-rooftop-aquaponic-farmlab-uses-tilapia-fish-to-grow-fresh-produce/)

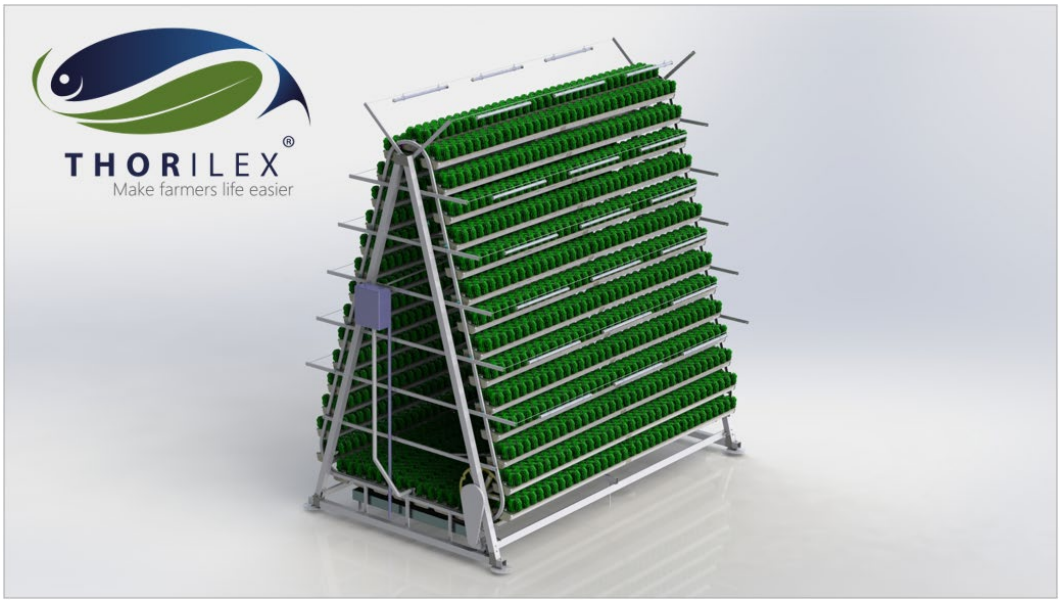
## 14.4 Sistemi z A-okvirjem

Sistemi z A-okvirji so sestavljeni iz stopničaste ureditve hidroponskih kanalov (Sánchez-Del-Castillo *et al.* 2014) ali kotne plošče iz geotekstila za aeroponsko gojenje (Hayden 2006). Plodovke, ki rastejo na spodnjih delih sistema, lahko povzročijo delno senčenje ter posledično veliko število majhnih in nepravilno oblikovanih plodov, povečano gnilobo ploda in težave z obarvanjem ploda. Temu se lahko izognemo z uporabo sistemov z rastnimi gredami, ki se počasi vrtijo okoli A-okvirja, s čimer se rastlinam zagotovi enakomerno sončno svetlobo, namakanje in hranila med prehodom skozi različne točke. Npr. sistem A-Go-Gro (AGG), ki ga je razvilo podjetje Sky Greens iz Singapurja (slika 14), je sestavljen iz aluminijastih in jeklenih A-okvirjev, ki so lahko visoki do 9 metrov, z 38 enotami rastnih gred, ki lahko vsebujejo zemljo ali hidroponsko raztopino. Vsak okvir obsega le 5,6 $m^2$. Celoten sistem lahko proizvede 1000 ton zelenjave na hektar na leto. Okvirji so nameščeni v prosojnih rastlinjakih in se vrtijo s hitrostjo 1 mm/s, kar pomeni, da vsako korito potuje okoli okvirja trikrat na dan. To zagotavlja enakomerno porazdelitev sončne svetlobe in dober pretok zraka ter zmanjša ali celo odpravi potrebo po umetni osvetlitvi na nekaterih območjih rastlinjaka. Vrtenje poganja patentiran nizkoogljični hidravlični sistem, ki učinkovito izkorišča gravitacijo in posledično porabi malo energije. Za napajanje enega okvirja je potrebnih le 60 W električne energije. Deževnica, ki se zbira v nadzemnem bazenu, prehaja skozi sistem vodnih škripcev in se nato s črpalko, ki jo poganja generator, preusmeri nazaj v bazen (Al-Kodmany 2018).

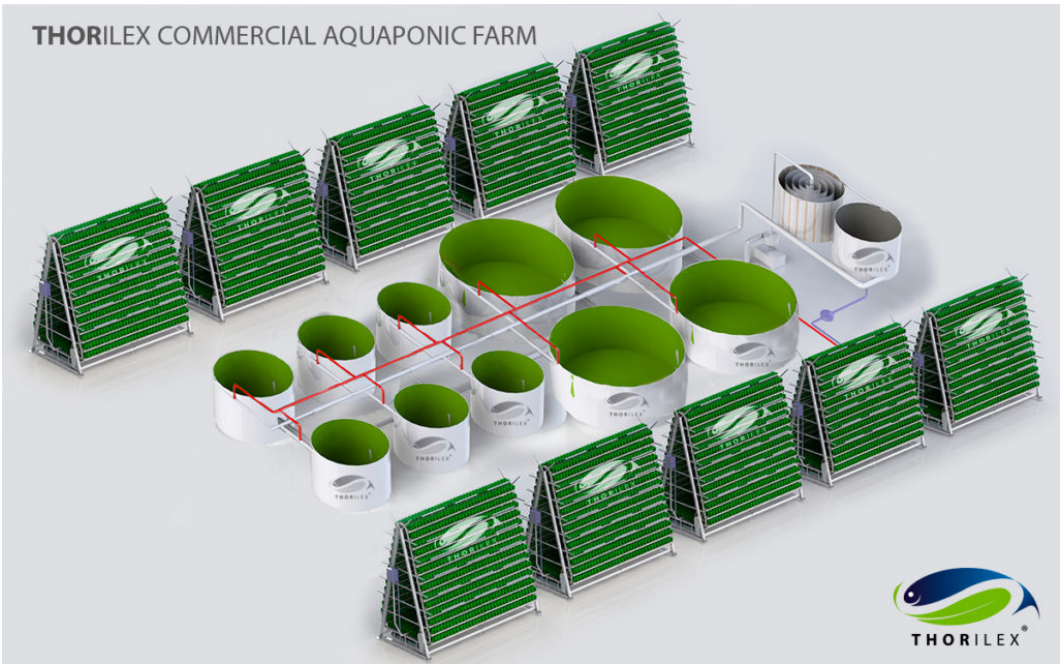
Slika 14: Sistem Sky Greens v Singapurju
(Vir: http://www.skygreens.com/wp-content/uploads/2014/05/Skygreens-Vertical-Farm1.jpg)

THORILEX Ltd je razvil patent za akvaponski sistem, v katerem rastline gojijo na A-okvirjih iz nerjavnega jekla in segajo od 3 do 8 metrov visoko (slika 15). Sadilne košare, namenjene optimizaciji rasti korenin in maksimiranju vnosa hranil, so v kanalih iz nerjavnega jekla nameščene v dveh vrstah. Košare se vrtijo okoli okvirja in tako rastlinam omogočijo enako količino svetlobe, ki prihaja od

LEDdiod, nameščenih nad vsakim okvirjem. Samočistilni bazeni za ribe iz nerjavnega jekla so na voljo v dveh velikostih, za mladice in odrasle ribe. Sistem je prilagodljiv gojenju v komercialnem obsegu (slika 16). Trenutno je sistem mogoče najti le na razstavni kmetiji THORILEX 2 na Češkem. Ker pa je namen, da se ta inovativni sistem predstavi na trgih po vsem svetu, THORILEX svoje izdelke oblikuje po modelu IKEA: to pomeni, da so modularni in da jih je mogoče enostavno pakirati, odpremiti in dostaviti z minimalnimi stroški.




Slika 15: Sistem THORILEX
(vir: http://thorilex.com/)




Slika 16: Komercialna kmetija akvaponike THORILEX
(vir: http://thorilex.com/)

Tudi hidroponski A-okvir, ki ga je razvilo Kitajsko podjetje Jiangsu Skyplant Greenhouse Technology Company (slika 17), se lahko uporablja za akvaponiko. Obsega 5 $m^2$ in vsak U-kanal iz PVC, ki je primeren za uporabo v živilstvu, vsebuje 25 lukenj, to pomeni 250 rastlin na enoto ali 50 rastlin/$m^2$.

Slika 17: Sistem Jiangsu Skyplant Greenhouse Technology Company
(vir: http://thorilex.com/)

## 14.5 Žive stene

Žive stene se v mestni arhitekturi pogosto uporabljajo v estetske, ekološke in okoljske namene. Modularne plošče, ki jih sestavljajo posode iz polipropilenske plastike ali geotekstilne preproge, zagotavljajo rast rastlin, ki niso le prijetnega videza, temveč na zelo majhnem prostoru zagotavljajo tudi biotsko raznovrstnost, toplotne učinke in boljši zrak (Manso & Castro-Gomes 2015; Perini *et al.* 2013).

Prednosti živih sten za gojenje užitnih pridelkov z uporabo akvaponike raziskujejo na dveh univerzah. Na Univerzi v Greenwichu v Veliki Britaniji so izvedli vrsto poskusov, da bi našli najprimernejši model sistema in najboljše polnilo za rast (Khandaker & Kotzen 2018). V prvem poskus so uporabili panel, imenovan Terapia Urbana Fytotextile living wall. Ta delno hidroponski modularni sistem plošč je izdelan iz patentirane geotekstilne tkanine, sestavljene iz treh plasti sintetičnega in organskega materiala, vključno s PVC, fitotekstilom in poliamidom. Vsak kvadratni meter v posameznih žepih omogoča rast do 49 rastlinam. Mogoče je gojiti do 98 rastlin/$m^2$ (odvisno od vrste), če izkoristimo tudi hrbtno stran tega sistema. To je precej več kot v horizontalnem sistemu z 20–25 enotami listnate zelenjave na kvadratni meter. Klobučevina je bila pritrjena na zunanjo steno, obrnjeno proti

vzhodu, in zasajena s sedmimi različnimi rastlinami (špinača, bazilika, radič, špargljev grah, zelena solata, meta in paradižnik) v sedmih različnih rastnih medijih (vrtnarska mineralna volna, vermikulit, oglje, kokosova vlakna, mahov sfagnum, alge iz ribnika in slama). Vsaka rastlinska vrsta je bila razporejena navpično v stebre, rastni medij pa je bil vodoravno razporejen v vrste (slika 18). Vodo so črpali do kapljične namakalne cevi iz rezervoarja nadomestne akvaponske enote z dodanimi hidroponskimi hranili. Voda je nato tekla po hrbtni strani plošče, kjer je bila na voljo substratu in koreninam rastlin. Odvečna voda je kapljala z dna plošče v žleb in nato nazaj v rezervoar za vodo (Khandaker & Kotzen 2018).

Slika 18: Panel Terapia Urbana Fytotextile living wall
(foto: M. Khandaker)

Rezultati prvega poskusa so pokazali, da sta mineralna volna in vermikulit najboljša substrata, saj omogočata večji donos in boljšo rast korenin. Rastline na vrhu in ob straneh so najbolje rastle, kar pomeni, da so bile rastline, zasajene v sredini stene, zasenčene. Glavna težava te žive stene je bila v tem, da so se rastlinske korenine zarasle v geotekstil, kar je otežilo obiranje. Če bi gojili sorte, ki se zgolj obrežejo, to ne bi bilo problematično (Khandaker & Kotzen 2018).

Drugi poskus je bil izveden vzporedno s prvim, uporabljen pa je bil lončni sistem proizvajalca Green Vertical Garden Company (GVGC). Posamezni lonci so bili pritrjeni na armaturno ploščo iz nerjavnega jekla razporejeni v pet vodoravnih in osem navpičnih vrst. V celotni živi steni je bila zasejana ista rastlina (bazilika), pri čemer so v navpični smeri uporabili različne rastne medije (glineni agregat, vermikulit, vrtnarsko mineralno volno in kokosova vlakna) (slika 19). Sistem so namakali z namakalno cevjo za dovod vode, bogate s hranili, v zgornjo vrsto lončkov, voda pa je nato skozi majhno namakalno cev iz luknje na dnu vsakega lonca tekla skozi preostale lonce do spodnjega. V tretjem poskusu je bil prav tako uporabljen sistem GVGC z eno rastlino (radič), posajeno v glineni agregat, vermikulit, vrtnarsko mineralno volno in kokosova vlakna (Khandaker & Kotzen 2018).

V drugem in tretjem poskusu sta bazilika in radič najbolje rastla v kokosovih vlaknih in vrtnarski mineralni volni. Uporaba obeh materialov ima prednosti in slabosti. Kokosova vlakna in korenine v notranjosti se lahko zlahka kompostirajo, vendar se cev lahko hitro zamaši, če se le-te uporabljajo v sistemu z majhnimi namakalnimi cevmi. Vrtnarska mineralna volna sicer deluje dobro, vendar je ni mogoče zlahka kompostirati, zato je manj trajnostna. Glineni agregat in vermikulit je bilo težje obdelovati, saj se je material premikal pri sajenju in obiranju. Prav tako je zasenčenje vplivalo na slabšo rast rastlin na sredni stene (Khandaker & Kotzen 2018).

Slika 19: Živa stena Green Vertical Garden Company
(foto: M. Khandaker)

Raziskovalci univerze v Sevilli v Španiji so primerjali zmogljivost sistema žive stene iz klobučevine z majhnima sistemoma NFT in DWC za gojenje solate in zlatih rib v rastlinjaku (Peréz-Urrestarazu *et al.* 2019). Sistem žive stene je bil sestavljen iz dveh plasti: zunanja plast je bila iz poroznega materiala, ki omogoča zračenje korenin, notranja plast pa je bila iz geotekstila, ki pomaga pri kroženju vode. Plošča je bila nameščena pod kotom 20°. Sadilni žepi so bili napolnjeni s ekspandirano glino, kar naj bi pripomoglo k boljšemu zračenju koreninskega pasu. Čeprav je imela živa stena največjo kapaciteto 20 rastlin/$m^2$, niso bili vsi žepi izkoriščeni, da bi omogočili enako gostoto zasaditve kot druga dva sistema (NFT in DWC). Glede na rast rastlin je imela ta živa stena najslabši rezultat od vseh treh sistemov. Delni vzrok je bil morda manjše sončno sevanje zaradi vertikalne lege, čeprav je bil naklon položen. Medtem ko je voda krožila skozi klobučevino, je bila stopnja izhlapevanja velika, ekspandirana glina v žepih pa zaradi naklona ni dobivala dovolj vode in hranil; substrat z večjim kapilarnim delovanjem, kot je perlit, bi lahko ublažil to težavo. Druga težava je bila rast alg na klobučevini zaradi vlažnega okolja, visoke količine hranil in svetlobe. To je povzročilo tekmovanje s pridelkom za vodo in hranila, kar je vplivalo na večjo porabo vode, oviranje namakalnih enot in več dela za vzdrževanje celotnega sistema. Kar zadeva gojenje rib, je na drugi strani sistem živih sten boljši od sistemov NFT in DWC. To je najverjetneje posledica pogostejšega dotakanja vode zaradi večjega izhlapevanja, kar je vplivalo na boljšo kakovost vode (Peréz-Urrestarazu *et al.* 2019).

Rezultati eksperimentalnih študij Khandaker & Kotzen 2018 in Peréz-Urrestarazu *et al.* 2019 kažejo, da geotekstilne žive stene morda niso najprimernejša rešitev za vertikalno akvaponiko kljub potencialno visokemu številu rastlin, ki jih lahko pridelujemo na majhnem prostoru. Razlog so težave, povezane z rastjo alg, neenakomerno biomaso in donosom, ter težave z obiranjem rastlin. Poleg tega je pomembno upoštevati, da je večina geotekstila sestavljena iz polimera iz poliolefinov, poliestrov ali poliamida in aditivov za izboljšanje njihove stabilnosti. Sčasoma in pod različnimi pogoji se polimeri razgradijo v mikroplastične delce, ki jih ribe lahko zaužijejo. Na splošno višja temperatura okolice pospeši razgradnjo polimera. Možno je tudi izcejanje aditivov ob nastajanju mikroplastičnih delcev, saj aditivi pogosto niso kovalentno vezani na polimerno strukturo (Vé Wiewel & Lamoree 2016), zato je treba pred uporabo omenjenih materialov v akvaponskem sistemu izvesti toksikološke teste. Geotekstil iz biopolimerov naravnih vlaken, kot so juta in kokosova vlakna, bi bil primernejši kot sintetični geotekstil. Primerne bi bile tudi druge vrste živih sten, npr. hidroponski sistem, ki ga proizvaja podjetje Biotecture in je sestavljen iz trdih plastičnih plošč, napolnjenih z vrtnarsko kamnito volno.

## 14.6 Zaključki

Medtem ko vertikalni akvaponski sistemi v primerjavi s horizontalnimi lahko omogočajo pridelavo večjega števila rastlin na enoto površine, je pomembno, da omogočajo tudi večji pridelek. S komercialnega vidika bodo vplivi gradientov v vertikalnem sistemu na vrednost pridelka odvisni od tega, kako bo posevek predelan in tržen. Če se v sistemu goji solata, ki se prodaja kot posamezna rastlina, bi bila neenakomerna produktivnost rastnih stolpov, živih sten in statičnih sistemov A-okvirja potencialna pomanjkljivost v primerjavi s klasičnimi horizontalnimi akvaponskimi sistemi ali vertikalnimi sistemi zloženih rastnih gred. Če pa je pridelek namenjen gojenju rezane solate, potem enotna podoba posevkov ni pomembna, povečan pridelek na enoto površine pa bi lahko bil prednost. Poleg vpliva na kakovost pridelka lahko vertikalni akvaponski sistem negativno vpliva tudi na učinkovitost dela, saj se delo izvaja na različnih višinah. Stroški različnih vrst vertikalnega gojenja so lahko zelo različni, odvisni od zapletenosti in stopnje avtomatizacije gojenja, zato bodo izkoriščenost in trženje pridelka ter razmerje med stroški in koristmi teh sistemov končno merilo pri odločitvi, ali je vertikalna akvaponika lahko alternativa običajnim horizontalnim sistemom.

## 14.7 Literatura


Al-Kodmany, K. 2018. The vertical farm: A review of developments and implications for the vertical city. *Buildings* 8, 24.

Al-Raisy, F.S., Al-Said, F.A., Al-Rawahi, M.S., Khan, I.A., Al-Makhmari, S.M. & Khan, M. 2010. Effects of column sizes and media on yield and fruit quality of strawberry under hydroponic vertical system. *European Journal of Scientific Research* 43, 48-60.

Durner, E.F. 1999. Winter greenhouse strawberry production using conditioned plug plants. *HortScience* 34 (4), 615-616,

Hayden, A. 2006. Aeroponic and hydroponic systems for medicinal herb, rhizome, and root crop. *HortScience* 41, 536-538.

Heller, H., Bar-Tal, A., Assouline, S., Narkis, K., Suryano, A., de la Forge, A., Barak, M., Alon, H., Bruner, M., Cohen, S. & Tsohar, D. 2015. The effects of container geometry on water and heat regimes in soilless culture: lettuce as a case study. *Irrigation Science* 33, 53-65.

Sijmonsma, A. 2015. For sale: urban aquaponics farm of Greens & Gills in Chicago. HortiDaily.com.

Karimi, F., Arunkumar, B., Asif, M., Murthy, B.N.S. & Venkatesha, K.T. 2013. Effect of different soilless culture systems on growth, yield and quality of strawberry cv. Strawberry Festival. *International Journal of Agricultural Sciences* 9, 366-372.

Khandaker, M. & Kotzen, B. 2018. The potential for combining living wall and vertical farming systems with aquaponics with special emphasis on substrates. *Aquaculture Research* 2018, 1-15.

Liu, W., Chen, D.K. & Liu, Z.X. 2004. High efficiency column culture system in China. *Acta Horticulturae* 691, 495-500.

Love, D.C., Fry, J.P., Li, X., Hill, E.S., Genello, L., Semmens, K. & Thompson, R.E. 2015. Commercial aquaponics production and profitability: findings from an international survey. *Aquaculture* 435, 67-74.

Manso, M. & Castro-Gomes, J. 2015. Green wall systems: A review of their characteristics. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 41, 863–871.

Michael, C. 2016. *Understanding biological surface area in aquaponics*. ZipGrow.

Murthy, B.N.S., Karimi, F., Laxman, R.H. & Sunoj, V.S.J. 2016. Response of strawberry cv. Festival grown under vertical soilless culture system. *Indian Journal of Horticulture* 73 (2), 300-303.

Neocleous, D., Kaittanis, C., Seraphides, N. & Polycarpou, P. 2010. Horizontal and vertical soilless growing systems under Cyprus conditions. *Journal of Applied Horticulture* 12 (2), 140-144.

Palm, H.W., Knaus, U., Appelbaum, S., Goddek, S., Strauch, S.M., Vermeulen, T., Jijakli, M.H. & Kotzen, B. 2018. Towards commercial aquaponics: a review of systems, designs, scales and nomenclature. *Aquaculture International* 26, 813-842.

Pattillo, D.A. 2017. *An overview of aquaponic systems: hydroponic components*. NCRAC Technical Bulletin 19.

Peréz-Urrestarazu, L., Lobillo-Eguíbar, J., Fernández-Cañero, R. & Fernández-Cabanás, V.M. 2019. Suitability and optimization of FAO's small-scale aquaponics systems for joint production of lettuce (*Lactuca sativa*) and fish (*Carassius auratus*). *Aquacultural Engineering* 85, 129-137.

Perini, K., Ottelé, M., Haas, E.M. & Raiteri, R. 2013. Vertical greening systems, a process tree for green façades and living walls. *Urban Ecosystems* 16 (2), 265-277.

Ramírez-Arias, J.A., Hernández-Ibarra, U., Pineda, J. & Fitz-Rodríguez, E. 2018. Horizontal and vertical hydroponic systems for strawberry production at high densities. *Acta Horticulturae* 1227, 331-338.

Ramírez-Gómez, H., Sandoval-Villa, M., Carrillo-Salazar, A. & Muratalla-Lúa, A. 2012. Comparison of hydroponic systems in the strawberry production. *Acta Horticulturae* 947, 165-172.

Sánchez-Del-Castillo, F., Bastida-Cañada, O.A., Moreno-Pérez, E.C., Contreras-Magaña, E. & Sahagún-Castellanos, J. 2014. Tomato yield with different hydroponic production methods based on ladder-shaped canopies. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 20 (3), 239-251.

Takeda, F. 2000. Out-of-season greenhouse strawberry production in soilless substrate. *Advances in Strawberry Research* 18, 4-15.

Touliatos, T., Dodd, I.C. & McAinsh, M. 2016. Vertical farming increases lettuce yield per unit area compared to conventional horizontal hydroponics. *Food and Energy Security* 5 (3), 184–191.

Vé Wiewel, B. & Lamoree, M. 2016. Geotextile composition, application and ecotoxicology – A review. *Journal of Hazardous Materials* 317, 640-655.

**Sarah Milliken, Darja Rugelj, Ranka Junge**

# 15. DRUŽBENI VIDIKI AKVAPONIKE

## 15.1 Uvod

Akvaponika je lahko tudi sredstvo za reševanje različnih socialnih vprašanj. Nekateri ljudje z duševnimi in telesnimi težavami se soočajo s socialno izključenostjo, saj nimajo enakih možnosti kot drugi. To velja za področje redne zaposlitve, bivanjskih razmer, izobraževanja in kakovostnega preživljanja prostega časa. Akvaponika ponuja priložnosti za delo (vključevanje v smiselno dejavnost), bitja (spoštovanje in samospoštovanje), razvoj sposobnosti (samoučinkovitost in osnovne veščine osebne rasti) in pripadnosti (sprejetost in medsebojna povezanost), ki so potrebni za spodbujanje občutka socialne vključenosti. Obenem pa akvaponika ponuja inovativno obliko t. i. terapevtskega vrtnarjenja oz. pristop, ki lahko spodbuja dobro počutje ljudi s težavami v duševnem zdravju. Kakovosten odnos med rastlino in človekom spodbuja interakcijo ljudi z njihovim okoljem, s tem pa vpliva na njihovo zdravje, funkcionalnost in počutje (Fieldhouse 2003; Heliker *et al.* 2001). Rastline omogočajo nediskriminatorno odzivanjem na skrb zanje ter krepijo občutek človekove lastne vrednosti. Družbena omrežja, ki jih nudijo akvaponske pobude v skupnosti, lahko delujejo kot zaščitni ukrepi prosti stresu, zagotavljajo strukturo za pridobivanje različnih veščin ter potrjujejo in krepijo občutek posameznikove lastne vrednosti (Cohen & Wills 1985).

Akvaponiko lahko uporabimo tudi za izboljšanje počutja starejših bodisi s spodbujanjem različnih kognitivnih funkcij preko senzorične stimulacijo bodisi izboljšamo njihovo ravnotežje in premičnost, s čimer zmanjšamo ogroženost za padce. Akvaponika se lahko uporablja tudi na področju spodbujanja znanstvene pismenosti, saj je uporabno orodje za poučevanje naravoslovnih ved od osnovnega do terciarnega izobraževanja. Ponuja več načinov za obogatitev pouka naravoslovja, tehnologije, inženirstva in matematike (angl. *Science, Technology, Engineering and Mathematics* – STEM) (Brown *et al.* 2011). Uporabna je tudi za poučevanje predmetov s področja gospodarstva in ekonomije ter za naslavljanje vprašanj s področja trajnostnega razvoja, okoljskih znanosti, kmetijstva, živilskih sistemov in zdravja. Akvaponiko je mogoče uporabiti na področju različnih strategij preživetja oz. samooskrbe revnejših območij, saj zagotavlja lastno hrano in manjše stroške (Pantanella *et al.* 2010). Domača pridelava hrane, dostop do trga ter pridobivanje različnih znanj in veščin so neprecenljivi pri opolnomočenju in emancipaciji žensk v državah v razvoju. Akvaponika je lahko tudi temelj za pošteno in trajnostno družbenoekonomsko rast.

### 15.1.1 Prehranska preskrbljenost

O prehranski preskrbljenosti govorimo, ko imajo vsi ljudje ves čas dostop do zadostne količine zdrave in varne hrane za ohranjanje zdravega in aktivnega življenjskega sloga (FAO Policy Brief). Poznamo štiri stebre prehranske preskrbljenosti: razpoložljivost, dostop, izkoristek in stabilnost. Razpoložljivost dosežemo, kadar je hrana ljudem na voljo ves čas, dostopnost dosežemo, kadar so ljudje v ekonomskem smislu zmožni pridobiti hrano v skladu s svojimi prehranskimi potrebami. Izkoristek dosežemo, ko naše telo zaužije in izkoristi vso zaužito hrano ter s tem omogoči zdravo in aktivno življenje. Stabilnost pa dosežemo, ko so doseženi vsi predhodno našteti stebri.

Mestno in primestno kmetijstvo sta vse bolj prepoznana kot sredstvi, s katerima se lahko mesta oddaljijo od sedanjih nepravičnih živilskih sistemov, zmanjšajo njihov ekološki odtis in podaljšajo življenjsko dobo (Malano *et al.* 2014). Mestni potrošniki so zaradi skoraj popolne odvisnosti od proizvodov, uvoženih iz drugih regij, še posebej izpostavljeni negotovosti glede prehranske preskrbljenosti. Za tiste z nizkim družbenoekonomskim statusom ta odvisnost pomeni, da vsako nihanje cen hrane pomeni omejeno kupno moč, večjo negotovost in ogrožen dostop do hrane.

Prehranska preskrbljenost bo v 21. stoletju znotraj trajnostnih planetarnih meja (Rockström *et al.* 2009) zahtevala večstransko intenziviranje proizvodnje hrane (Godfray *et al.* 2010), ločeno od netrajnostne uporabe naravnih virov. Akvaponika je lahko del rešitve: prehrano, ki je sestavni del koncepta prehranske preskrbljenosti, izboljšujemo z vključevanjem rib in sveže zelenjave v prehrano. Ribe so pomemben vir beljakovin in vitaminov; tudi če jih uživamo v majhnih količinah, lahko izboljšajo kakovost prehrane s prispevkom esencialnih aminokislin, ki jih pri dietah na rastlinski osnovi pogosto primanjkuje. Poleg tega je ribje olje vir omega-3-maščobnih kislin, ki so pomembne za normalen razvoj možganov pri nerojenčkih in malčkih.

Različne pobude po vsem svetu ponazarjajo, kako akvaponika postaja vse bolj pomembna v prizadevanjih povečati prehransko preskrbljenost. Britansko socialno podjetje Byspokes Community Interest Company je na zasedenem palestinskem ozemlju (angl. *Occupied Palestinian Territory* – OPT) v centru Al-Basma v mestu Beit Sahourju postavilo pilotni akvaponski sistem s programom usposabljanja. Na omenjenem območju primanjkuje prostora za pridelavo hrane, zlasti v mestih in begunskih taboriščih. Celo na podeželju je dostop do zemlje zelo otežen zaradi izraelskega nadzora, varnostne ograje ali zasedbe, ki jo izvaja izraelska država. 40 % prebivalstva na OPT (25 % na Zahodnem bregu) je »kronično prehransko nepreskrbljenega«. Brezposelnost je približno 25-%, v nekaterih begunskih taboriščih do 80-%. Z ekonomskega vidika lahko akvaponski sistem povečuje dohodek gospodinjstev in tako pomaga reševati družine iz revščine, hkrati pa zagotavlja svežo zelenjavo in ribe tistim družinam, ki si težko privoščijo kakovostno hrano.

Organizacija združenih narodov za prehrano in kmetijstvo (FAO) od leta 2010 izvaja projekt podpore za pridelavo hrane za revne družine v Gazi, kjer je 11-letna blokada morja, kopnega in zraka v kombinaciji z majhno količino padavin povzročila sušo ter ogrozila možnosti za domačo pridelavo hrane na enem najgosteje poseljenih območij sveta. S toliko omejitvami je sveža zelenjava draga in jo je težko zagotoviti. 97 % prebivalstva Gaze živi v mestih ali taboriščih, zato nima dostopa do zemljišč. Revščina prizadene 53 % prebivalstva, 39 % družin na čelu z ženskami pa trpi lakoto. Omogočanje družinam, da pridelajo lastno in cenovno ugodno svežo hrano, je zelo primeren in učinkovit odziv na trenutne razmere. Gospodinjstva, ki jih vodijo ženske in trpijo lakoto v urbanih območjih, so dobila akvaponske sisteme na strehi, s čimer lahko ženske izboljšajo preskrbo s hrano in dohodek gospodinjstva ter ob tem lažje skrbijo za svoje otroke in domove. Druge akvaponske sisteme pa so namestili v izobraževalnih in občinskih ustanovah.

Mednarodno partnerstvo za otroke (INMED), ki uresničuje program prilagodljivega kmetijstva, je namenjeno vzpostavljanju trajnostnih programov, ki izboljšujejo prehransko preskrbljenost, ohranjajo naravne vire, spodbujajo strategije prilagajanja podnebnim spremembam in zagotavljajo možnosti za ustvarjanje dohodka v državah v razvoju. INMED je razvil preprost in ugoden akvaponski sistem za majhne kmetije, šole, vladne ustanove in domače vrtnarije z uporabo enostavno dostopnih lokalnih materialov. INMED je uveljavil tudi zelo uspešen Program prilagodljivega ribogojstva in akvaponike v Južni Afriki, na Jamajki in v Peruju. V Južni Afriki se INMED osredotoča na doseganje zanesljive preskrbe s hrano in trajnostno ustvarjanje dohodka. Obenem rešuje medsebojno povezana vprašanja degradacije okolja, pomanjkanja vode in revščine ter ponuja poslovne načrte za različne trge in pomoč pri vlaganju prošenj za razvojna posojila ter donacije za širitev in rast podjetij. V središču te dolgoročne vizije je poleg intenzivnega tradicionalnega gojenja tudi akvaponika. V različnih delih države (Južna Afrika) je bilo uspešno izvedenih več projektov. V odročnem območju regije Venda v provinci Limpopo je bil na pobudo krščanskega združena invalidov Thabelo nameščen akvaponski sistem. Ker koncept partnerstva INMED ne zahteva veliko delovne sile ali zapletenih sestavnih delov, ga lahko upravljajo tudi invalidi in tisti, ki ne morejo opravljati tradicionalnega kmetijskega poklica. Od namestitve je združenje povečalo prihodke za več kot 400 %. Zaposleni prejemajo redne mesečne plače in dodaten prihodek vlagajo v vzrejo plemenskih živali. Skupnosti, ki so sprejele nov način kmetovanja, so okrepile svojo sposobnost zagotavljanja zanesljive preskrbe s hrano ter sposobnost zagotavljanja novih in prilagodljivih priložnosti za ustvarjanje dohodka.

Še en dober primer napredka skupnosti v Južni Afriki je Eden Aquaponics. Eden Auaponics (Pty) Ltd je zamisel Jacka Probarta, ki je s spoznanjem, da prehranska preskrbljenost postaja prav tako pomembna kot gospodarstvo, razvil vizijo komercialnega posla s poudarkom na skupnosti. V okviru projekta »Eden area of the Garden Route« s pomočjo akvaponike dobavljajo ribe za prehrano in ribe mladice za nadaljnje gojenje ter goji raznovrstno ekološko pridelano zelenjavo za prodajo na lokalne tržnice, restavracijam in trgovcem na drobno. Oddelek za napredek skupnosti izdeluje in namešča prilagojene komercialne akvaponske sisteme različnih velikosti, vključno z opremo za akvaponiko na lastnem dvorišču. Dobavi pa tudi sadike in ribe. Prav tako zaposleni v oddelku učijo skupnosti, ki so v manj ugodnem družbenoekonomskem položaju, da postanejo samozadostne pri gojenju, trženju in prodaji svojih pridelkov. S tem pa prej brezposelnim osebam omogočijo, da razvijejo veščine, samozavest in samospoštovanje ter da poskrbijo zase.

Prehranska preskrbljenost ni pomembna samo za države v razvoju. V Španiji (Sevillia) je socialno podjetje Asociacíon Verdes del Sur v najbolj socialno ogroženem delu mesta Polígono Sur postavilo rastlinjak z akvaponiko v šoli. Gre za del mesta, za katerega sta značilna dolgotrajna brezposelnost in visoka stopnja kriminala, povezanega z drogami. Akvaponski sistem se uporablja kot del okoljskega izobraževalnega programa za lokalne prebivalce, vključno s poučevanjem o prednostih uživanja lokalno pridelane hrane in razvijanjem veščin brezposelnih. V hiši enega od tamkajšnjih prebivalcev je bil postavljen tudi prototip domačega akvaponskega sistema.

a

d

b

c

Slika 1: Akvaponski sistem v mestu Polígono Sur: a) rastlinjak v šoli; b) gospa Soledad z zamrznjeno tilapijo, vzgojeno v domačem sistemu; c) paradižniki in jajčevec za semena; d) domači akvaponski sitem (foto: Sarah Milliken)

### 15.1.2 Prehranska puščava

Zdrava prehranska okolja so potrebna za zagotavljanje javnega zdravja. Dostop do supermarketov, ki ponujajo različne živilske izdelke po nizkih cenah, je pogosto odvisen od prodajnega prostora in povezan z družbenoekonomskim položajem ter etnično sestavo prebivalstva. Območja, v katerih je dostop do svežega sadja in zelenjave ter druge zdrave hrane po ugodnih cenah omejen, so t. i. »prehranske puščave« (angl. *food deserts*) (Rex & Blair 2003). Ameriško ministrstvo za kmetijstvo (USDA) opredeljuje prehranske puščave na podlagi dohodka, rase/narodnosti, razdalje do trgovine z živili, dostopa do sveže hrane in odvisnosti od javnega prevoza. Ljudje v prehranskih puščavah večinoma kupujejo v obratih s hitro prehrano, trgovinah, na bencinskih črpalkah in v t. i. živilske bankah. Zaradi tega se povečujejo zdravstvene težave, zlasti debelost. Prehranske puščave še posebej negativno vplivajo na osebe z nizkimi dohodki in ranljive skupine, kot so invalidi, ki imajo omejene zmožnosti gibanja. Če posameznik v prehranski puščavi nima avtomobila, zelo težko dostopa do trgovin, v katerih so na voljo sveži živilski izdelki po ugodnih cenah.

Empirični dokazi glede prehranskih puščav so številčni predvsem za ZDA in Veliko Britanijo (Walker *et al.* 2010). V prehranskih puščavah je običajno manj prebivalstva in več zapuščenih domov. Ljudje na teh območjih imajo nižjo stopnjo izobrazbe, nižje dohodke, večina je brezposelnih (Dutko *et al.* 2012). Leta 2017 je bilo 15 milijonov gospodinjstev v ZDA (11,8 %) opredeljenih kot prehransko

nepreskrbljenih, kar pomeni, da so imela ta gospodinjstva težave pri zagotavljanju hrane za vse svoje člane. Več kot tretjina teh gospodinjstev (5,8 milijona) je bila uvrščenih v kategorijo z zelo nizko prehransko preskrbljenostjo, kar pomeni, da je vnos hrane pri nekaterih članih gospodinjstva tako zmanjšan, da so običajni prehranski vzorci moteni. Raven prehranske nepreskrbljenosti je bila v gospodinjstvih z dohodki blizu ali pod pragom revščine, v enostarševskih in enočlanskih gospodinjstvih, v gospodinjstvih s temnopoltimi člani ali člani latinsko-ameriškega porekla v večjih mestih višja v primerjavi z nacionalnim povprečjem (Coleman-Jensen *et al.* 2018).

Razprava o prehranskih puščavah v Veliki Britaniji je bila še posebej izrazita v devetdesetih letih 20. stoletja in je bila del širše razprave o revščini in pomanjkanju. Jedro razprave so bila gospodarsko ogrožena območja, kot so socialna stanovanjska naselja; mnogi so zagovarjali hipotezo, da je ponudba izdelkov v supermarketih v teh območjih slabša zato, ker imajo potrošniki slabo kupno moč, prodajalne pa posledično nižji dobiček. Prebivalci brez avtomobilov, ki ne morejo priti do večjih trgovin, so odvisni od prodajalne, v kateri so cene visoke, ponuja pa pretežno predelana živila, sveže sadje in zelenjava pa sta slabše kakovosti ali pa ju sploh ni v ponudbi (Wrigley 1998). Vsekakor naraščanje spletnih trgovin z živili lahko skrči prehranske puščave, čeprav ni jasno, ali spletne nakupe enakomerno opravlja celotna družba. 10,2 milijona ljudi v Veliki Britaniji (16 % prebivalstva) živi v prehranskih puščavah, od tega 1,2 milijona na ekonomsko ogroženih območjih. Prehranske puščave so razširjene po vsej državi, na podeželju in v mestih. Vendar pa je približno tri četrtine (76 %) prehranskih puščav v mestih Anglije in Walesa. Prehranske puščave so lokalni in ne državni ali mestni problem, zato naj bi ga reševali lokalni, ne pa državni ukrepi (Corfe 2018).

Akvaponika bi lahko bila bodisi del poklicnega urbanega kmetijstva bodisi kmetijstvo skupnosti, kar bi lahko pripomoglo k ublažitvi prehranskih puščav, zlasti v mestnih, kjer bi v praznih zgradbah in na njihove strehah namestili akvaponske sisteme, vendar bi to od lokalnih oblasti zahtevalo spremembe veljavne zakonodaje o rabi zemljišč. S tem bi olajšale mestno kmetijstvo ter dostop do zdrave hrane in svežih pridelkov (Tomlinson 2017).

### 15.1.3 Prehranska suverenost

Gibanje prehranske suverenosti (angl. *Food Sovereignty Movement*) je globalno zavezništvo kmetov, pridelovalcev, potrošnikov in aktivistov. Zagovarja načelo, da morajo ljudje zahtevati povrnitev moči znotraj prehranskih sistemov z obnavljanjem odnosa med ljudmi in zemljo ter med pridelovalci hrane in potrošniki. Prehranska suverenost je pravica ljudi do zdrave in kulturno primerne hrane, pridelane po ekološko neoporečnih in trajnostnih metodah, ter pravica do lastne odločitve glede sistemov oskrbe s hrano. V središče sistemov in politik oskrbe s hrano se tako postavlja težnje in potrebe tistih, ki jo proizvajajo, prodajajo in uživajo, ne pa težnje trgov in korporacij. Prehranska suverenost torej presega zgolj zagotavljanje zadostne količine hrane ljudem, da bi lahko zadovoljili fiziološke potrebe.

Podjetja, temelječa na akvaponiki v skupnosti, ki jih vodijo lokalni prebivalci, ponujajo novo obliko prepletanja lokalnega pridelovalca z znanstvenimi inovacijami s ciljem reševanja prehranske

suverenosti, tako da se skupnost ponovno vključi v pridelavo hrane ter da se ji omogoči več nadzora nad lastno pridelavo in distribucijo hrane. Skrajšanje verige me pridelavo hrane in prebivalci ter pomoč pri vključevanju v različne kmetijske pristope bi lahko pozitivno vplivalo na prehransko preskrbljenost. Dostop do pridelave hrane je lahko tudi način, kako ljudi ozavestiti, da bi zavrgli čim manj hrane. Raziskava, opravljena v Veliki Britaniji (Vanson & Georgieva 2016), je pokazala, da velik del družbe sprejema akvaponiko kot učinkovito, samozadostno in čisto metodo urbane pridelave hrane. Te ugotovitve pa se ne ujemajo z ugotovitvami raziskave, opravljene v Berlinu v Nemčiji (Specht *et al.* 2016); ta raziskava je zaznala sorazmerno nizko družbeno sprejemljivost akvaponike v primerjavi z drugimi oblikami mestnega kmetijstva, kot je vrtnarjenje na strehah. To je mogoče pojasniti s splošnim pomanjkljivim znanjem o tehnologiji.

### 15.1.4 Alternativna prehranska mreža

Kot del gibanja za prehransko suverenost so se pojavile t. i. alternativne prehranske mreže (angl. Alternative Food Networks – AFN) (Maye & Kirwan 2010). AFN predstavlja konkretna prizadevanja za razpršitev in resocializacijo pridelave, distribucije in uživanja hrane. AFN lahko opredelimo kot sistem proizvodnje, distribucije in porabe hrane, ki temelji na tesni povezavi med pridelovalcem, pridelkom in potrošnikom. Sistem je zavezan socialnim, ekonomskim in okoljskim razsežnostim trajnostne pridelave, distribucije in porabe hrane. Za AFN je značilnih več stvari.

(1) Krajše razdalje med pridelovalci in potrošniki. Z gojenjem hrane v bližini mesta, kjer ljudje kupujejo in jedo svojo hrano, AFN zmanjša razdalje in porabo goriva ter v distribucijsko verigo ne vključi posrednikov. Ta oblika neposrednega trženja omogoča kmetom pridobiti in obdržati večji delež dobička, poleg tega pa omejuje porabo fosilnih goriv tako v pridelavi kot v prometu. Neposredno trženje omogoča neposreden stik pridelovalca in potrošnika, s čimer se oblikuje vez zaupanja in sodelovanja.

(2) Majhen obseg kmetij in ekološko kmetovanje, ki so v nasprotju z običajnim kmetijstvom velikega obsega. Večina kmetij v AFN je majhna po površini (manj kot 50 hektarjev) in po prihodkih. Zanašajo se na družinsko delo, vajence in pripravnike, ponekod tudi na sezonske delavce. Večje kmetije lahko zaposlijo delavce za celo leto in lastnikom omogočajo, da se preživljajo zgolj s kmetovanjem. Alternativno kmetijstvo poudarja tudi okoljsko zavedno pridelavo hrane oz. ekološko pridelavo, čeprav njihovi pridelki niso formalno certificirani.

(3) Distribucija hrane prek živilske zadruge in tržnic, Storitev dostave s podporo kmetijstva (CSA), storitev dostave hrane in dostava lokalno pridelane hrane v šole (angl. *food-to-school*). Namesto da sklenejo prodajo preko posrednikov, trgovcev na debelo, korporacij ali supermarketov, kmetje v AFN sprejmejo navpično integrirano strukturo na kmetiji, ki vključuje kmetijo in gospodinjstvo neposredno v dejavnost distribucije in trgovine na drobno v bližini kmetije.

V AFN želijo lokalizirati sisteme oskrbe s hrano in vzpostaviti stike med pridelovalci živil in potrošniki ter si prizadevajo za razpršitev sistemov oskrbe s hrano, za katere domnevajo, da so postali

neopredeljivi (angl. *Placeless*). AFN zato včasih imenuje tudi »lokalne prehranske mreže« (angl. *Local Food Networks* – LFN). Lokalnost sistemov oskrbe s hrano je videti v izrazitem nasprotju z glavnim agroindustrijskim in globalnim sistemom, za katerega je značilna »hrana od nikoder«. Geografija lokalnih sistemov pa je le en ključni vidik. Poleg tega, da je LFN zakoreninjen v kraju, je ekonomsko sprejemljivejši za pridelovalce in potrošnike, omogoča ekološko neoporečne prakse pridelave in distribucije ter poveča socialno pravičnost in demokracijo za vse člane skupnosti.

Akvaponika se zelo dobro ujema s konceptom AFN in LFN. Gre za okolju prijazen način pridelave hrane, ki porabi manj vode kot običajni načini in skoraj ne povzroča odpadkov: blato je mogoče enostavno kompostirati in pretvoriti v dragoceno surovino. Kot sistem zaprtega kroga sta edini vložek, ki je potreben za gojenje rib, voda in krma za ribe. Zato za razliko od večine tradicionalnih kmetijskih praks, za rast rastlin, niso potrebna gnojila ali pesticidi oz. se njihovo uporabo precej zmanjša. To pomeni, da so rastline, ki so zrastle v akvaponskem sistemu, enakovredne rastlinam, ki so zrastle v ekološki pridelavi. Čeprav v EU pridelka iz akvaponike ni mogoče certificirati kot ekološkega, saj se shema certificiranja trenutno nanaša samo na pridelke, gojene v zemlji.

Konvencionalno ribogojstvo in kmetijstvo imata lahko dolge oskrbovalne verige. Meje akvaponskega sistema so velikost bazena in rastlinjak oz. rastna gred na eni strani in potrošnik na drugi. Med njima so predelava, trgovina na drobno, trgovina na debelo in prevoz, od katerih ima vsak vpliv na okolje, družbo in gospodarstvo. Kratke oskrbovalne verige lahko vzpostavijo mestni akvaponski pridelovalci, npr. prodaja neposredno potrošnikom, restavracijam ali supermarketom, in tako precej zmanjšajo omenjene vplive.

GrowHaus v Koloradu je socialno podjetje, ki se ukvarja z zdravo, pravično in lokalno pridelavo hrane v skupnosti. 97 % hrane, porabljene v Koloradu, je proizvede zunaj države, soseska, v kateri se nahaja GrowHaus, pa je bila označena kot prehranska puščava. GrowHaus je sprva sodeloval s podjetjem Colorado Aquaponics, od leta 2016 pa samostojno upravlja s kmetijo akvaponike v velikosti 297 $m^2$. Pridelke prodaja po programu tedenskih košaric s svežo hrano po ceni, ki je primerljiva s trgovosko verigo Walmar in tudi restavracijami, pri čemer del dobička podari lokalni skupnosti. GrowHaus pomaga skupnosti do bolj zdrave prehrane. V ta namen organizira brezplačna izobraževanja in različne dogodke, povezane s hrano.

Well Community Allotment Group (Crookes Community Farm) je socialno podjetje, ki ga vodijo prostovoljci iz Sheffielda v Veliki Britaniji. Njihov namen je lokalni skupnosti omogočiti dostop do hrane na način, da jo vključijo v proces pridelave in jo poučijo o prednostih lokalno pridelane hrane. V letu 2018 je podjetje s strani Aviva Community Fund Award prejelo finančna sredstva za gradnjo akvaponskih sistemov za namen izobraževanja posameznikov in mladinskih skupin v šolah in drugih organizacijah javnega pomena.

## 15.2 Akvaponika in socialna podjetja

Socialna podjetja so v primerjavi s tradicionalnimi zasebnimi ali korporativnimi podjetij usmerjena v zagotavljanje izdelkov in storitev, ki zadovoljujejo osnovne človekove potrebe. Glavna motiv socialnih podjetij ni maksimiranje dobička, ampak ustvarjanje socialnega kapitala; gospodarska rast je le del širšega namena, ki vključuje socialne storitve, kot so rehabilitacija, izobraževanje in usposabljanje ter varstvo okolja. Med socialnimi podjetji je vse več zanimanja za akvaponiko, saj je ta učinkovito orodje, ki jim pomaga uresničevati njihoveg namen. Npr.: akvaponika lahko revnim gospodinjstvom brez lastne zemlje s strategijami preživetja zagotavlja hrano in minimalni dohodek. Domača pridelava hrane, dostop do trga in pridobivanje novega znanja so neprecenljivi pri zagotavljanju opolnomočenja in emancipacije žensk v državah v razvoju. Akvaponika je tako lahko temelj za pošteno in trajnostno družbenoekonomsko rast.

Večja ozaveščenost javnosti o akvaponiki je po vsem svetu spodbudila različne družbene podvige. V ZDA so številna socialna podjetja začela uporabljati akvaponiko kot del družbenega gibanja, ki poudarja pomen mestnega kmetijstva, katerega namen je povečati zanesljivost preskrbe s hrano in povezati skupnost. Leta 1995 je Will Allen ustanovil podjetje Growing Power, da bi z dejavnostjo mestnega kmetijstva izboljšal zanesljivost preskrbe s hrano v središču Milwaukeeja ter mladim v mestu omogočil pridobiti življenjske veščine na področju gojenja in trženja ekoloških pridelkov. Podjetje Growing Power je priskrbelo objekte ali zemljišča, podalo smernice za delo, pridelke pa podarilo dobrodelnim ustanovam, lahko pa so jih mladi prodali v lokalnih trgovinah in na tržnicah pod pogojem, da se četrtina izkupička vrne lokalni skupnosti.

Leta 2010 je revija Time Magazine Willa Allena razglasila za enega izmed 100 najvplivnejših ljudi na svetu. Ko je podjetje Growing Power leta 2017 propadlo zaradi dolga, zapuščina podjetja živi v obliki drugih družbenih pobud, ki jih je navdihnil Growing Power. Ena takšnih je Rid-All Green Partnership v Clevelandu (Ohio), njeno poslanstvo pa je izobraževati naslednje generacije. Ne samo gojiti in jesti svežo hrano, temveč tudi ustanoviti lastna podjetja v živilski industriji in jih upravljati. In sicer podjetja s področja prodaje svežih pridelkov in rib, distribucije hrane, do celovite predelave in pakiranja svežih živilskih izdelkov.

Ministrstvo za kmetijstvo ZDA (USDA) je leta 1996 financiralo program Gibanja za urbano kmetijstvo v ZDA, imenovan Community Food Project (CFP). Namen tega programa je bil boriti se proti prehranski nepreskrbljenosti. Gibanje je zato pripravilo različne projekte, prek katerih je spodbujalo samooskrbo skupnosti z nizkimi dohodki. Program je od leta 1996 prejel približno 90 milijonov dolarjev nepovratnih sredstev. Eno od socialnih podjetij, ki je imelo korist od tega programa, je Planting Justice. To podjetje je zgradilo akvaponski sistem na prosti parceli v East Oaklandu v Kaliforniji, vodijo pa ga nekdanji zaporniki. Ustvarjenih je bilo dvanajst delovnih mest, skupnosti je prispevalo 2268 kilogramov brezplačnega pridelka, projekt pa je v sosesko vrnil 500.000 dolarjev v obliki plač in 200.000 dolarjev v obliki različnih ugodnosti (New Entry Sustainable Farming Project 2018).

Trifecta Ecosystems (prej Fresh Farm Aquaponics) v Meridenu v zvezni državi Connecticut se ukvarja s preskrbo s hrano. Ljudem omogoča pridelavo lastne hrane, obenem pa jih izobražuje o trajnostnem kmetijstvu. O tej temi jih osvešča tudi prek delavnic in različnih projektov. Podjetje zaposluje šest oseb in različnim organizacijam ponuja akvaponske sisteme za izobraževalne namene, usposabljanje delovne sile, terapevtsko vrtnarjenje ali pridelavo hrane. Na voljo so različni akvaponski sistemi: od proizvodnih zmogljivosti za komercialne namene do majhnih izobraževalnih enot za uporabo v učilnicah. Leta 2018 je regionalna vodna uprava podjetju podelila 500.000 ameriških dolarjev kot spodbudo za vzpostavitev nadzorovanih akvaponskih sistemov kot osnove za urbano kmetovanje, programov usposabljanja delovne sile in izboljšanje preskrbe s hrano**.**

SchoolGrown je socialno podjetje, ki so ga leta 2014 ustanovili ljubitelji akvaponike, ki menijo, da otroci ne dobijo dovolj izkušenj za pridelavo hrane in ne poznajo povezav v okolju. Nahaja se poleg komercialne akvaponike na Ouroboros Farms, Kalifornija. »Akvaponsko učilnico« vodijo prostovoljci, ki želijo akvaponske sisteme predstaviti v šolah in skupnostih po ZDA, poučevati trajnostne kmetijske prakse in okoljski menedžment ter ohranjati naravne vire. Hkrati pa želijo pridelati lokalno svežo hrano ter tako utrditi povezavo med skupnostjo in hrano, ki jo uživajo. LEAF (angl. *Living Ecosystem Aquaponic Facility*) je 167 $m^2$ velik rastlinjak z akvaponskim sistemom na sončno energijo, ki je bil zasnovan posebej v ta namen. Stroški obratovanja (75.000 USD) vključujejo plačo za dve osebi za polovični delovni čas, ki sta odgovorni za vzdrževanje sistema. Rastlinjake financirajo CSA, lokalna skupnost in sponzorji, financirajo se tudi preko t. i. skupinskega financiranja. LEAF naj bi bil finančno samooskrben, saj prihodke ustvari s prodajo pridelka.

Opisani primeri so različni poslovne oblike, ki so jih uvedla akvaponska socialna podjetja. Ali bodo predstavljena podjetja obratovala tudi v prihodnje ali pa bodo tako kot podjetje Growing Power propadla, še ne moremo predvideti. Na podlagi poglobljene analize dveh socialnih akvaponskih podjetij, ki je bila izvedena v obdobju 2012–13, so bili oblikovani štirje različni dejavniki, ki so bili pomembni za njuno poslovanje (Laidlaw & Magee 2016). Podjetje Sweet Water Organics (SWO) je leta 2008 začelo delovati kot urbana kmetija akvaponike v veliki zapuščeni industrijski zgradbi v Milwaukeeju. Podjetje so financirali predvsem njegovi ustanovitelji, da bi v lokalni skupnosti spodbudili ustvarjanje in zaposlitve ter svežo in cenovno ugodno hrano brez kemikalij. Leta 2010 se je del podjetja, imenovan Sweet Water Farms (SWF), ločila od SWO, da bi se razvila kot vzajemno podprta, kohezivno hibridna organizacija, ki obsega komercialno mestno kmetijo (SWO) in neprofitno akvaponsko akademijo (SWF). SWF je vodil prostovoljne aktivnosti in gostil programe usposabljanja in izobraževanja na urbani kmetiji Sweet Water, hkrati pa je razvijal programe na lokalni (Milwaukee in Chicago), regionalni, državni in mednarodni ravni. Kmetija Sweet Water si je zveste stranke pridobila med lokalnimi restavracijami in trgovinami s svežo hrano, saj so te odkupovale večino solate in ohrovta. Kmetija je ribe prodajala enemu trgovcu na debelo. Vendar se je hibridni model podjetja izkazal za velik izziv, saj sta se obe strani borili, da bi opredelili svojo vlogo v odnosu do drugega. Vsaka od enot je imela drugačno strukturo, ki se nanaša na operativni del. Čeprav se je njuno delovanje pogosto prekrivalo, se strateško načrtovanje in vizije niso. SWO po treh letih delovanja še vedno ni ustvaril dobička, zato mu je leta 2011 občinska vlada v Milwaukeeju dodelila posojilo v višini 250.000 USD pod pogojem, da do leta 2014 ustvari 45 novih delovnih mest.

Oktobra 2012 je SWO imel 11–13 stalno zaposlenih, vendar jih je še vedno financiral iz posojil in lastniških naložb. Junija 2013, ko so odplačila posojil zapadla in cilj ustvarjanja delovnih mest ni bil dosežen, je šla skupina Sweet Water v likvidacijo, SWF pa je prevzel vlogo glavnega upravljavca mestne kmetije Sweet Water. Trenutno SWF deluje kot izobraževalno in svetovalno podjetje, ki ga vodijo prostovoljci in majhna ekipa zaposlenih s skrajšanim delovnim časom, restavracij pa ne oskrbuje več (Laidlaw & Magee 2016).

Center za izobraževanje in raziskave v Melbournu v Avstraliji (CERES) je svoj objekt za akvaponiko odprl leta 2010. Sistem je bil zasnovan kot optimizirani komercialni sistem s proizvodno zmogljivostjo, ki bi zagotovila plačo za kmeta, ki ga vzdržuje. Plača je odvisna od tega, koliko se pridela. Zelenjava se prodaja prek dostave CERES Fair Food. Ker proizvodnja ne ustvari dobička, je postavitev obrata za predelavo rib onemogočena (Laidlaw & Magee 2016).

Zainteresirane strani na kmetijah Sweet Water in CERES so povedale, da je glavni dejavnik njihovega preživetja zaveza v obliki nenehne podpore osebju s tehničnimi in poslovnimi veščinami upravljanja. Pri tem pa je pomembno tudi trajno vodstvom ter pripravljenost zainteresiranih strani, da ostanejo vključeni in sodelujejo brez finančnih spodbud. Drugi dejavnik je bil lokalni politični kontekst. Mestne oblasti v Milwaukeeju so podpirale Sweet Water tako s političnimi pobudami kot z neposredno finančno pomočjo, kar je omogočilo povečanje osnovnih sredstev in človeških virov, krepitev tržne dejavnosti in pridobivanje rednih strank. Projekt CERES ni imel takšne podpore, razen začetnih nepovratnih sredstev, in si je prizadeval ustvariti prihodek, ki bi mu omogočil širitev dejavnosti. Stroški pridobivanja dovoljenj so prav tako oteževali sodelovanje z lokalnimi trgi, kar je negativno vplival na motivacijo za trženje in prodajo pridelka ter onemogočilo, da bi se dejavnost lahko razširila, saj je v osnovni obliki ustvarila le toliko dohodka, da je bila lahko zaposlena le ena oseba s skrajšanim delovnim časom? Tretji dejavnik je bila pripravljenost trgov na pridelavo hrane iz mestne akvaponike. Medtem ko je mestna akvaponika lahko spodbudna za kupce, ki se vedno bolj prisegajo na preskrbo s hrano in etično pridelavo, kot npr. v Milwaukeeju, je bilo v Melbournu drugače. Končni dejavnik je bila diverzifikacija. Tako CERES kot SWO/SWF sta imela koristi od nadgradnje socialnih in tehničnih eksperimentov v vrsto izobraževalnih storitev. Večji SWO/SWF je očitno imel tudi večjo sposobnost za razvoj teh storitev, ki so bile bistvene za vzdrževanje socialnega podjetja, ko se komercialni načrti niso uresničili. Vzdržnost socialnih podjetij akvaponike torej ni odvisna samo od zavzetosti zainteresiranih, temeljite analize trga, jasnih struktur upravljanja in zanesljivega poslovnega načrta, temveč tudi od zunanjih dejavnikov, kot so lokalna politika in predpisi (Laidlaw & Magee 2016).

## 15.3 Akvaponika kot izobraževalno orodje

Akvaponika spodbuja znanstveno opismenjevanje in je lahko uporabno orodje za poučevanje naravoslovnih ved na vseh ravneh, od osnovnega do terciarnega izobraževanja. Modelni sistem učilnice v akvaponiki ponuja več načinov obogatitve pouka naravoslovja, tehnologije, inženirstva in matematike (STEM). Vsakodnevno vzdrževanje akvaponskega sistema omogoča tudi izkustveno učenje. Akvaponika tako lahko postane prijeten in učinkovit način poučevanja učencev. Uporablja se lahko tudi za poučevanje predmetov, kot sta gospodarstvo in ekonomija, ter za reševanje vprašanj,

povezanih s trajnostnim razvojem, okoljsko znanostjo, kmetijstvom, sistemi oskrbe s hrano in zdravjem.

Na spletu je na voljo veliko vrst akvaponskih sistemov, ki jih je mogoče kupiti v kompletu oziroma naročiti dostavo in montažo sistemov. Gradnja akvaponskega sistema je že sama po sebi dragocena izobraževalna izkušnja. Osnovni akvaponski sistem je mogoče tudi enostavno in poceni zgraditi iz različnih materialov. Celo mikrosistem (1,5 $m^2$) lahko posnema večjo enoto glede kakovosti in porabe vode ter je učinkovito sredstvo za poučevanje (Maucieri *et al.* 2018). Kljub temu akvaponika v učilnicah ni povsem brez izzivov za postavitev in delovanje. Tehnične težave, pomanjkanje izkušenj in znanja ter vzdrževanje v času ko ni pouka, so lahko velike ovire za učitelje, ki uporabljajo akvaponiko. Zainteresiranost učitelja pa je lahko tudi ključni dejavnik uspešnega delovanja (Hart *et al.* 2013; Hart *et al.* 2014). Vendar pa raziskave kažejo, da je veliko učiteljev pripravljenih vključiti akvaponiko v svojo učilnico, zlasti kadar ta ponuja priložnost za izkustveno učenje (Clayborn *et al.* 2017). Učitelji so se tudi strinjali, da vključitev akvaponike v učilnico učence navdihuje, krepi sodelovanje med študenti in učitelji ter tako prispeva k dialogu o znanosti (Wardlow *et al.* 2002). Raziskava o uporabi akvaponike v izobraževanju, ki so jo izvedli v ZDA, je pokazala, da je v osnovnih in srednjih šolah akvaponika uporablja kot projektna naloga pri poučevanju posameznih predmetov, kot sta kemija ali biologija, medtem ko se akvaponski sistemi na visokih šolah in univerzah običajno uporabljajo pri poučevanju interdisciplinarnih predmetov, kot so prehranski sistemi in znanosti o okolju. V poklicnih in tehničnih šolah se akvaponski sistemi redko uporabljajo pri poučevanju drugih predmetov, razen pri poučevanju akvaponike (Genello *et al.* 2015).

## 15.4 Akvaponika in dobro počutje

Akvaponika ponuja inovativno obliko terapevtskega vrtnarjenja. Uporaba različnih zelenih dejavnosti, kot sta vrtnarjenje in stik z živalmi spodbuja dobro počutje ljudi s težavami v duševnem zdravju. Ustanovljena so bila številna socialna podjetja, ki izvajajo terapevtske programe vrtnarjenja, da bi izboljšali počutje oseb v lokalnih skupnostih. Socialno podjetje omogoča ljudem s težavami v duševnem zdravju, da pridobijo nova znanja in da se ponovno zaposlijo. Osnovni cilj socialnega podjetja je, da bi ljudje dobili zaposlitev, delovne izkušnje, možnosti usposabljanja in prostovoljstva v podpornem in vključujočem okolju. Podjetje želi pomagati predvsem tistim ljudem, ki se soočajo z večjimi ovirami pri zaposlovanju, zlasti invalidom (tudi tistim s težavami v duševnem zdravju), posameznikom z učnimi težavami, žrtvam zlorab, zapornikom ali brezdomcem (Howarth *et al.* 2016).

Poseben odnos med rastlino in človekom spodbuja kakovostno interakcijo ljudi z njihovim okoljem, s tem pa vpliva na njihovo zdravje, funkcionalnost in počutje. Rastline omogočajo nediskriminatorno odzivanje na skrb zanje ter krepijo občutek človekove lastne vrednosti. Dokazana je tudi učinkovitost vrtnarjenja v skupini. Ljudje z duševnimi in telesnimi zdravstvenimi težavami so pogosto socialno izključeni, ker nimajo enakega dostopa do plačane zaposlitve, stanovanja, izobraževanja in kakovostnega preživljanja prostega časa. Socialne mreže, ki jih nudijo vrtnarske skupnosti, so lahko zaščitni ukrep, ki preprečujejo stres, zagotavlja strukturo za pridobivanje veščin ter krepi občutek posameznikove lastne vrednosti (Diamant and Waterhouse 2010; Fieldhouse 2003).

Akvaponika se le v redkih primerih uporablja za terapevtsko vrtnarjenje. V ZDA (Indiana) je podjetje Green Bridge Growers, ki pridelke vse leto prideluje predvsem s pomočjo akvaponike. Podjetje zaposluje več posameznikov z motnjo avtističnega spektra (ASD). V podjetju ugotavljajo, da imajo ti posamezniki ustrezna znanja, ki so potrebna v akvaponiki: gre za sposobnost načrtovanja in spremljanja procesa ter natančnost. Tudi ACRES Project (angl. *Adults Creating Residential and Employment Solutions*) v Pensilvaniji uporablja akvaponiko za terapevtsko vrtnarjenje, zaposlovanje in povezovanje odraslih z avtizmom in intelektualnimi ovirami v skupnosti. Vključeni so v vse aktivnosti delovanja akvponskega sistema, od nege in vzdrževanja do pobiranja in prodaje. Načrtovani postopki in dnevna rutina, ki jih zahteva akvaponika, pa jim zagotavljajo stabilnost in strukturo. ACRES preko akvaponike pomaga avtističnim posameznikom pridobivati socialne in poklicne izkušnje, kar jim olajša prehod k neodvisnosti.

FabLab Nerve Centre na Severnem Irskem je ustanovil socialno podjetje digitalne akvaponske kmetije za poučevanje ljudi, ki imajo sicer učne težave, pri pridobivanju podjetniških in digitalnih veščin. Študenti bodo z uporabo najsodobnejše digitalne tehnolgije, kot so 3D-tiskalniki, CNC-usmerjevalniki in laserski rezalniki, deležni praktičnega usposabljanja, pridobili bodo izkušnje s področja digitalnega oblikovanja, ki jim bodo omogočale načrtovanje, gradnjo in upravljanje akvaponskega sistema. V okviru projekta bodo mladi ustanovili novo socialno podjetje, ki jim bo omogočilo prodajo pridelkov lokalnim podjetjem in s tem poglobil svoje znanje v socialnem podjetništvu, trgovanju in trženju.

Socialno podjetje Solutions for Change se ukvarja z odpravljanjem brezdomstva družin. Akvaponska kmetija usposablja brezdomne družine za gojenje tilapije in sezonske listnate zelenjave ter zelišč, ki jih nato prodajo lokalnim restavracijam, trgovinam in šolam. Deluje kot laboratorij za pridobitev pomembnih delovnih vrednost in pripravo ljudi na ponovni vstop na trg dela.

Asociacíon Huerto Lazo je socialno podjetje v provinci Malaga v Španiji, ki ponuja pripravništvo za mlade iz problematičnih okolij. Pripravniki se v varnem okolju usposabljajo v akvaponiki. Some in tilapije prodajajo v restavraciji El Sollo na Fuengiroli.

a

d

b

c

Slika 2: Objekti za akvaponiko v Asociacíon Huerto Lazo: a) rezervoarji za some v rastlinjaku; b) bazeni za tilapijo (*Gynostemma pentaphyllum*), ki se prodaja v medicinske namene; c) bazeni za filtriranje vode v podjetju Huerto Lazo; d) gospod Ulrich Eich pri predstavitvi svojega sistema (foto: Sarah Milliken)

## 15.5 Akvaponika za zagotavljanje dobrega počutja starejših oseb

Akvaponika lahko zagotovi optimalno okolje za dosego več terapevtskih ciljev pri različnih posameznikih s kognitivnimi in/ali telesnimi okvarami ter pri posebnih skupinah prebivalstva, kot so starejši, otroci ali osebe z motnjami v razvoju. Terapevtski cilj zdravstvenih delavcev, kot so delovni terapevti in fizioterapevti, je promocija zdravja in /ali obravnava za dobro počutje.

Primarni cilj delovne terapije je omogočiti ljudem sodelovanje v dejavnostih vsakdanjega življenja. Delovni terapevti želijo pri delu s posamezniki in skupinami izboljšati njihove sposobnosti za opravljanje poklicev, ki si jih želijo, potrebujejo ali se od njih pričakuje, da jih bodo opravljali. Cilj dosežejo tudi z zamenjavo poklica ali okolja, da bi bolje podprli njihovo poklicno udejstvovanje (WFOT 2012). Opravila v delovni terapiji se nanašajo na vsakdanje dejavnosti, ki jih ljudje izvajajo kot posamezniki, v družinah ali v skupnostih, da si zapolnijo čas ter dajo življenju smisel in namen. Opravila vključujejo stvari, ki si jih ljudje želijo, potrebujejo oz. se od njih pričakujejo, da jih bodo opravljali (WFOT 2012).

Fizioterapevti izvajajo postopke, s katerimi razvijajo, vzdržujejo in obnavljajo gibanje in funkcionalne sposobnosti ljudi. Ljudem lahko pomagajo v kateri koli dobi življenja, ko gibanje in delovanje ogrožajo staranje, poškodbe, bolezni, motnje ali okoljski dejavniki. Fizioterapevti pomagajo ljudem pri izboljšanju kakovosti življenja na več ravneh dobrega počutja, in sicer s fizičnega, psihološkega, čustvenega in socialnega vidika (WCPT 2016).

S terapevtskega vidika je akvaponski sistem orodje, ki lahko spodbuja razvoj kognitivnega vedenja, senzorično-motorične integracije in gibalnih sposobnosti. Dejavnosti, ki so lahko del terapije, vključujejo sodelovanje pri izbiri rastlin in rib ter vsakodnevno skrb zanje. Pričakovani terapevtski učinek akvaponike na počutje so možni na različnih ravneh človekovega delovanja.

### 15.5.1 Kognitivno vedenje

Skrb za ribe in rastline spodbuja kognitivne funkcije, kot so sprejemanje odločitev, kratkoročni in dolgoročni spomin, pozornost, reakcijski čas, menjavanje nalog, načrtovanje in reševanje problemov.

Odločanje je postopek prepoznavanja in izbire alternativ, ki temeljijo na vrednotah, izbiri in prepričanjih odločevalca. Tako kot kognitivne funkcije se tudi odločanje v različnih življenjskih obdobjih spreminja (Tymula *et al.* 2013). Kratkoročni spomin je sistem za začasno shranjevanje in upravljanje informacij, potrebnih za izvajanje kompleksnih kognitivnih nalog, kot so učenje, sklepanje in razumevanje. Kratkoročni spomin je zmožnost zadrževanja majhne količine informacij v mislih v aktivnem, lahko dostopnem stanju za kratek čas. Npr.: kratkoročni spomin lahko uporabite za zapomnitev pravkar prebrane telefonske številke. Šteje se, da kratkoročni spomin traja nekaj sekund (običajno od 18 do 30 sekund) (APA 2006).

S staranjem spominske zmogljivosti niso okrnjene; možgani niso preobremenjeni trdi disk. Namesto tega se zdi, da spremembe vplivajo na to, kako ljudje kodirajo in pridobivajo informacije. Motnje, kot sta odvračanje pozornosti in počasnejša obdelava, lahko ovirajo pomenjene, npr. imen in datumov. Kljub temu pa se zdi, da večina starejših odraslih še vedno lahko učinkovito pridobiva nove informacije in jih shranjuje v dolgoročnem spominu. Tudi implicitno učenje (učenje brez zavestnega napora) se zdi, da ni odvisno od staranja.

Meni se, da zdrav življenjski slog podpira zdravje možganov. Pokazalo se je, da redna aerobna vadba pomaga, verjetno zato, ker pospešuje pretok krvi in možganom prinaša več kisika. Pozornost je čas koncentracije, ki ga lahko človek porabi za neko opravilo, ne da bi se motil. Večina učiteljev in psihologov se strinja, da je sposobnost osredotočanja in ohranjanja pozornosti na neki nalogi zelo pomembna za dosego ciljev. Pozornost lahko močno vpliva na uspešnost pri delu in zmožnost soočanja z vsakodnevnimi nalogami; ena prekinitev pozornosti lahko povzroči, da se pomembne informacije izgubijo, kar povzroča napake ali še kaj hujšega (APA 2006).

Reakcijski čas je čas med čutnim dražljajem in naknadnim vedenjskim odzivom. V psihometrični psihologiji velja za pokazatelj hitrosti obdelave: označuje, kako hitro lahko posameznik izvede miselne operacije, potrebne za nalogo. Hitrost obdelave se šteje tudi kot pokazatelj učinkovitosti obdelave. Enostavni reakcijski čas se od dobe dojenčka do poznih dvajsetih let krajša, nato se počasi podaljšuje  do 50. in 60. leta, sledi hitrejše podaljševanje, ko oseba stopi v 70. leta. Z drugimi besedami, v nasprotju z njihovim gorečim prepričanjem bodo mladostniki verjetno imeli počasnejše reakcijske čase kot odrasli. Reakcijski čas postane spremenljiv s starostjo in Alzheimerjevo boleznijo. Razlog za upočasnitev reakcijskega časa s starostjo niso le preprosti mehanski dejavniki, kot je hitrost živčne prevodnosti, ampak je lahko upočasnitev povezana s težnjo starejših po večji previdnosti in natančnejšem spremljanju odzivov. Ugotovljeno je bilo, da so imeli stari ljudje, ki ponavadi v domovih za ostarele padejo, precej daljši reakcijski čas kot tisti, ki še nikoli niso padli.

### 15.5.2 Senzorično-motorično integracija

Med skrbjo za ribe in rastline v akvaponskem sistemu se senzorični (čutilnini) dražljaji povečujejo, zlasti je pričakovati povečanje vohalnih prilivov in prilivih iz kože, kot so dotik, pritisk, temperatura in drugi. Za povečevanje senzoričnih spodbud se uporabljajo predmeti iz vsakodnevnega življenje, to so v akvaponiki rastline in ribe. Cilj senzorične stimulacije je spodbujanje senzorično-motorične integracije, vzbujanje pozitivnih občutkov, vplivanje na razpoloženje ter krepitev samozavesti in dobrega počutja. Ponavljajoči se stiki z intenzivnimi dražljaji spodbujajo senzorično integracijo in ljudem omogočajo razvijanje veščin kognitivnega vedenja. Aromatična zelišča zagotavljajo intenzivne

vohalne dražljaje, za katere je znano, da sodelujejo v limbičnem sistemu ali t. i. čustvenih možganih (slika 3).

Težave pri vsakodnevnih opravilih zaradi oslabljene obdelave senzoričnih dražljajev ali slabe integracije občutkov so lahko posledica težav pri zaznavanju, organiziranju in uporabi senzornih informacij iz telesa in okolja, kar posledično vpliva na nadzor čustev, načrtovanje gibanja in razvoj spretnosti. Ti problemi vplivajo na samopodobo, uravnavanje čustev, usmerjeno pozornost, reševanje problemov, nadzor vedenja, uspešnost in sposobnost razvijanja in vzdrževanja medosebnih odnosov.

Slika 3: Senzorična stimulacija preko dotika in vonja med rokovanjem z zelišči in drugimi rastlinami

Pri odraslih lahko negativno vplivajo na sposobnost starševstva, zaposljivost ali izvajanja hišnih opravil, socialnih dejavnosti in prostočasnih dejavnosti. Zaskrbljenost zaradi poklicne dejavnosti, ki je omenja zaradi slabe senzorične integracije in obdelave čutilnih dražljajev, se lahko pojavi samostojno, prispeva k drugim znakom ali se pojavi sočasno z njimi; to so anksioznost in panične motnje, depresija, post-travmatska stresna motnja ali shizofrenija. Te težave imajo lahko tudi osebe z motnjami učenja, motnjo pomanjkanja usmerjene pozornosti, motnjami v razvoju ali motnjami avtističnega spektra. Slaba senzorična integracija se kaže na različnih ravneh človekovega življenja v vseh življenjskih obdobjih (tabela 1). V Evropi je bila senzorična integracija, kot terapevtski postopek, zasnovana v v šestdesetih letih 20. stoletja, prvotno za pomoč ljudem z motnjo učenja. To je bil način, kako prijetno in starosti prilagojeno varno raziskovati spodbudno okolje. Ugotovljeno je bilo, da lahko s to tehniko za 30 let upočasnimo kognitivno staranje (WFOT 2012).

Tabela 1: Posledice slabe senzorične organizacije v odrasli dobi (WFOT 2012)

| Zaznavanje telesa (dotik in gibanje) | Gibalne sposobnosti |
|---|---|
| • Občutljivost na teksturo in obliko, kar povzroča izogibanje nekaterim oblačilom (npr. kravatam, neprepustnim hlačam, najlonskim nogavicam)<br>• Odpor do gneč ali prerivanja na javnih mestih (npr. stati v vrstah ali nakupovati)<br>• Razdraženost zaradi svetlobe ali nepričakovanega dotika, težave z intimnim dotikom<br>• Omejeno sodelovanje pri pripravi hrane in obrokov in/ali raznolikosti v prehrani<br>• Neobčutljivost za napačno oblečena oblačila ali ko imajo hrano na obrazu | • Težave pri vožnji, parkiranju, prestavljanju in uvozu na avtocesto<br>• Težave pri upravljanju skupne opreme za dom in pisarno<br>• Nespretnost ali nerodnost pri gibalnih aktivnostih (npr. vadba, prosti čas, skrbi zase )<br>• Težave pri urejanju in načrtovanju pripomočkov in okolja, ki morda vplivajo na delovno uspešnost ter zdravje in varnost doma<br>• Težave pri orientaciji na prostem |
| **Ravnotežni organ v notranjem ušesu** | **Socialne sposobnosti** |
| • Težave z ravnotežjem, odpor do hoje po neravnih površinah<br>• Odpor ali de-orientacija v dvigalih ali na tekočih stopnicah<br>• Slabost med vožnjo v avtomobilu (potreba po vožnji na sprednjem sedežu ali voziti)<br>• Strah pred odhodom iz hiše ali letenjem | • Težave pri razlikovanju vidnih in slušnih namigov, ki vplivajo na socialne stike in uspešnost vlog<br>• Težave z zavedanjem telesa, ki vplivajo na telesno telesno podobo<br>• Težave razločevanja zvokov in sledenje ustnim navodilom<br>• Težave pri skrbi zase in osebni higieni |
| **Slušni** | **Uravnavanje čustev** |
| • Razdraženost zaradi zvokov, ki drugih običajno ne motijo (npr. praskanje svinčnikov, brenčanje luči, prehranjevanje drugih, šumenje ovojev bonbonov)<br>• Občutljivost na glasne zvoke | • Težave pri razlikovanju vidnih in slušnih namigov, zmanjšana sposobnost razumevanja čustvenih izrazov drugih, kar ima za posledico frustracije, tesnobo in težave pri nadzorovanju jeze<br>• Težave pri razvoju prilagoditvenih na senzoričnih pobudah temelječe opor (tj. telesne vadbe, okoljskih prilagoditev) za uravnavanje čustev |

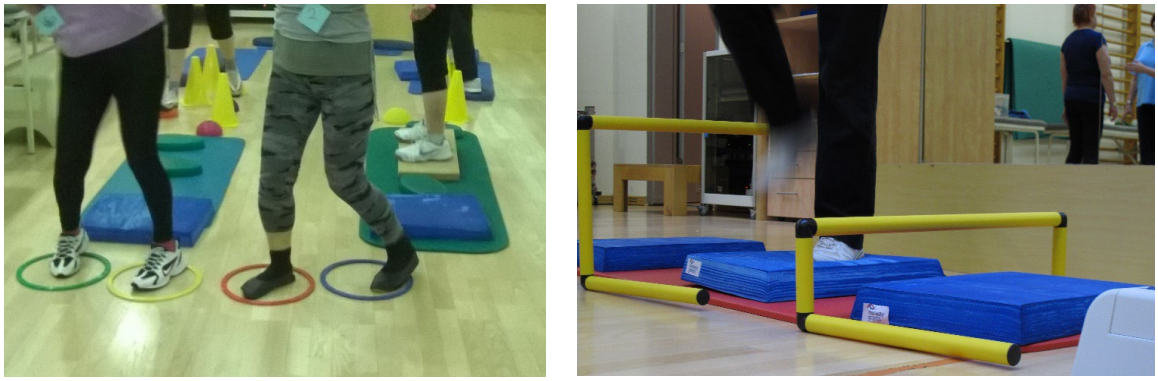
### 15.5.3 Gibalne sposobnosti

Gibanje v prostoru - premičnost je osnovna veščina, ki omogoča, prilagajanje lastnemu okolju in izpolnjevanju svojih fizioloških in psiholoških potreb. Premičnost se lahko zmanjša zaradi poškodb, bolezni ali staranja. Zmanjšana premičnost vodi do izgube samostojnega življenja in poslabšanja kakovosti življenja. Posledica slabše premičnosti so pogosto nenadni in nenamerni padci z različnimi izidi. Poškodbe zaradi padca so pogostejše pri starejših ljudeh in so glavni vzrok bolečine, invalidnosti, izgube neodvisnosti in prezgodnje smrti (WHO 2007). Finančni stroški so precejšnji in naraščajo po vsem svetu. Vpliv poškodb starejših zaradi padca za osebo, ki je padla, njegovo družino in družbo predstavljajo pomembno globalno zdravstveno vprašanje. Učinkovito usmerjanje finančnih virov za preprečevanje padcev in s tem povezanih poškodb zahteva poznavanje obsega in narave problema ter dokaze o učinkovitosti ukrepov. To zahteva ozaveščanje o številčnosti padcev starejših, krepitev raziskovalnih prizadevanj in spodbujanje ukrepov za preprečevanje padcev po vsem svetu.

Povečanje števila starejših ter njihovih potreb po aktivnem in zdravem načinu življenja in povečanje stroškov za rehabilitacijo po padcih so glavna gonilna sila oblikovalcev politik, zdravstvenih ustanov in zdravstvenih delavcev. Zlasti pri namenjanju finančnih in človeških virov za iskanje učinkovitih programov za preprečevanje padcev in izboljšanje ali vzdrževanje ravnotežja. Poslabšanje ravnotežja lahko povzročijo motenje zaradi okrnjenega občutenja telesa (telesna senzibilnost), okvare ravnotežnega organa v notranjem ušesu, okvare vida, oslabelost mišic, deformacije kosti, kar pomembno negativno vpliva na premičnost in funkcijsko neodvisnost. Redna telesna vadba pomembno vpliva na funkcijske zmožnosti, splošno premičnost, ravnotežje in hojo (Gheysen *et al.* 2018). Vse to so ključne sestavine programov za preprečevanje padcev (WHO 2007).

Stopanje z ravnih tal na dvignjeno površino, kot sta hoja po stopnicah navzgor ali aerobni korak med vadbo, je kompleksna ravnotežna aktivnost. Hoja po stopnicah zahteva premik teže z ene noge na drugo in stabilizacijo obremenjene noge, dinamično stabilnost med premikanjem teže, zaznavanje višine in globine, koordinacijo oči in nog glede višine in globine stopnic, zadostno koncentrično zmogljivost mišic za dvigovanje teže telesa med vzponom in dovolj ekscentrične mišične zmogljivosti, ki spušča telo. Korak tako vključuje osem od devetih komponent ravnotežja. Sočasno izvajanje dveh opravil (angl. *Dual tasking*) postaja vse pogostejša zahteva v vsakdanjem življenju. Opredeljena je kot sočasna izvedba dveh nalog, ki se sicer izvajata neodvisno in imata različne oz. ločene cilje. Ko ljudje hkrati poskušajo narediti več stvari, so ponavadi manj uspešni. To imenujemo strošek dvojne naloge. Težave so na ravni obdelave informacij v osrednjem živčevju. Slabšo kakovost in zmanjšanje hitrosti pri sočasni izvedbi dveh nalog lahko pojasnimo z omejenim naborom virov. Pomembna je vloga pozornosti, saj je večja pozornost implicitno povezana s povečano stopnjo kognitivne obdelave, ki je potrebna za opravljanje želene naloge. Oseba mora veliko pozornosti posvetiti enemu opravilu, da se prilagodi večji zahtevnosti. Slabšo kakovost izvedbe sočasno opravljenih dveh opravil pojasnjujeta dve teoriji (Agmon *et al.* 2014). Teorija zmogljivosti predvideva, da je posledica hkratne uporabe omejenih virov zmanjšana pozornost in zato oseba preusmerja pozornost z enega opravila na drugega. Po drugi strani pa teorija ozkega grla predvideva, da je sočasna obdelava informacije težja, kadar so potrebne enake kognitivne operacije, zato da človek daje prednost enemu opravilu pred drugim in ju obravnava zaporedno.

V vsakdanjem življenju se ljudje ukvarjajo z izvajanjem več različnih dejavnosti, hkrati pa vzdržujejo položaj telesa in hodijo. Običajne funkcijske naloge skupaj s stojo in hojo vključujejo kuhanje, govorjenje po telefonu med hojo in pogovarjanje med prečkanjem ceste. Čeprav sta ravnotežje in hoja osnovni spretnosti za samostojno in aktivno življenje, še vedno ni soglasja o tem, do kakšne mere sta nadzor položaja in hoja avtomatizirana oz. koliko pozornosti je potrebne za njuno vzdrževanje. Razvitih je bilo več terapevtskih pristopov, pri katerih se varno izvajajo sočasna opravila. En par opravil sta lahko dve gibalni nalogi (nošenje predmetov med hojo), drugi par pa gibalna in kognitivna naloga (stoja ali hoja med pogovorom ali odločanjem). Sedanje raziskave kažejo, da se po vadbi sočasnega izvajanja dveh nalog zmanjša število napak (Agmon *et al.* 2014).



Slika 4: Primer proge z ovirami kot del v ravnotežje usmerjene vadbe starostnikov, ki živijo v skupnosti

(foto: Darja Rugelj)

Akvaponska enota je lahko zasnovana tako, da zagotavlja primerno okolje za krepitev premičnosti. In sicer z vajami za ravnotežje, premagovanje ovir in izogibanje oviram med hojo, pa tudi za usposabljanje za opravljanje dveh nalog hkrati. Najpomembnejše veščine, za katere je znano, da zmanjšujejo pojavnost padcev pri starejših ljudeh, so korakanje, hoja po stopnicah, premagovanje ovir in gibanje okoli vzdolžne osi (Guirguis-Blake *et al.* 2018). Treba pa je prepoznati tudi okoljske dejavnike tveganja, zato mora biti neposredno okolje akvaponskega sistema v skladu s standardi okoljske varnosti. Zdi se, da mikroakvaponski sistem ponuja idealno orodje za terapevtske in izobraževalne namene, upoštevajoč nizke stroške in malo potrebnega prostora (Maucieri *et al.* 2018). Za delovanje akvaponskega sistema so potrebni različni strokovnjaki, zato je idealno okolje za razvijanje komunikacijskih veščin in spodbujanje timskega dela v šolah s telesno ali duševno oviranimi skupinami (Morano *et al.* 2017).

## 15.6 Literatura


Agmon, M., Belza, B., Nguyen, H.Q., Logsdon, R.G. & Kelly, V.E. 2014. A systematic review of interventions conducted in clinical or community settings to improve dual-task postural control in older adults. *Clinical Interventions in Aging* 9, 477-492.

APA 2006. *Memory Changes in Older Adults*. American Psychological Society.

Brown, J., Brown, R. & Merrill, C. 2011. Science and technology educators' enacted curriculum: Areas of possible collaboration for an integrative STEM approach in public schools. *Technology and Engineering Teacher* 71 (4), 30.

Clayborn, J., Medina, M. & O'Brien, G. 2017. School gardening with a twist using fish: Encouraging educators to adopt aquaponics in the classroom. *Applied Environmental Education & Communication* 16 (2), 93-104.

Cohen, S. & Wills, T.A. 1985. Stress, social support, and the buffering hypothesis. *Psychological Bulletin* 98 (2), p.310.

Coleman-Jensen, A., Rabbitt, M.P., Gregory, G.A. & Singh, A. 2018. *Household Food Security in the United States in 2017.* United States Department of Agriculture Economic Research Service.

Corfe, S. 2018. *What are the Barriers to Eating Healthily in the UK?* The Social Market Foundation.

Diamant, E. & Waterhouse, A. 2010. Gardening and belonging: reflections on how social and therapeutic horticulture may facilitate health, wellbeing and inclusion. *British Journal of Occupational Therapy* 73 (2), 84-88.

Dutko, P., Ver Ploeg, P. & Farrigan, T. 2012. *Characteristics and Influential Factors of Food Deserts*. U.S. Department of Agriculture, Economic Research Service ERR-140.

Fieldhouse, J. 2003. The impact of an allotment group on mental health clients' health, wellbeing and social networking. *British Journal of Occupational Therapy* 6 (7), 286-296.

Genello, L., Fry, J.P., Frederick, J.A., Li, X. & Love, D.C. 2015. Fish in the classroom: A survey of the use of aquaponics in education. *European Journal of Health & Biology Education* 4 (2), 9-20.

Gheysen, F., Poppe, L., DeSmet, A., Swinnen, S., Cardon, G., De Bourdeaudhuij, I., Chastin, S. & Fias, W. 2018. Physical activity to improve cognition in older adults: can physical activity programs enriched with cognitive challenges enhance the effects? A systematic review and meta-analysis. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity* 15, 63.

Godfray, H.C.J., Beddington, J.R., Crute, I.R., Haddad, L., Lawrence, D., Muir, J.F., Pretty, J., Robinson, S., Thomas, S.M. & Toulmin, C. 2010. Food security: the challenge of feeding 9 billion people. *Science* 327 (5967), 812-818.

Guirguis-Blake, J.M., Michael, Y.L., Perdue, LA., Coppola, E.L. & Beil, T.L. 2018. Interventions to prevent falls in older adults updated evidence. Report and systematic review for the US Preventive Services Task Force. *Jama-Journal of the American Medical Association* 319 (16), 1705-1716.

Hart, E.R., Webb, J.B. & Danylchuk, A.J. 2013. Implementation of aquaponics in education: An assessment of challenges and solutions. *Science Education International* 24 (4), 460-480.

Hart, E.R., Webb, J.B., Hollingsworth, C. & Danylchuk, A.J. 2014. Managing expectations for aquaponics in the classroom: Enhancing academic learning and teaching an appreciation for aquatic resources. *Fisheries* 39 (11), 525-530.

Heliker, D., Chadwick, A. & O'Connell, T. 2001. The meaning of gardening and the effects on perceived well being of a gardening project on diverse populations of elders. *Activities, Adaptation & Aging* 24 (3), 35-56.

Howarth, M.L., McQuarrie, C., Withnell, N. & Smith, E. 2016. The influence of therapeutic horticulture on social integration. *Journal of Public Mental Health* 15 (3), 136-140.

Laidlaw, J.& Magee, L., 2016. Towards urban food sovereignty: the trials and tribulations of community-based aquaponics enterprises in Milwaukee and Melbourne. *Local Environment* 21 (5), 573-590.

Malano, H., Maheshwari, B., Singh, V.P., Purohit, R. & Amerasinghe, P. 2014. Challenges and opportunities for peri-urban futures. In **Maheshwari**, B., **Purohit**, R., **Malano**, H., **Singh**, V.P. & **Amerasinghe**, P. (eds.) *The Security of Water, Food, Energy and Liveability of Cities*, pp. 3-10. Springer, Dordrecht.

Maucieri, C., Forchino, A.A., Nicoletto, C., Junge, R., Pastres, R., Sambo P. & Borin, M. 2018. Life cycle assessment of an aquaponic system built using recovered material for learning purposes. *Journal of Cleaner Production* 172, 3119-3127.

Maye, D. & Kirwan, J. 2010. Alternative food networks. Scociopedia.isa.

Morano, L. & Tzouanas, V. 2017. Urban agricultural and sustainability program at Houston's downtown university: Combining new curriculum, hands-on projects, and a hurricane. *Journal of Agriculture Food Systems and Community Development* 7 (4), 23-33.

New Entry Sustainable Farming Project 2018. *Community Food Projects: Indicators of Success FY 2017*.

Pantanella, E., Cardarelli, M., Danieli, P.P., MacNiven, A. & Colla, G. 2010. Integrated aquaculture-floating agriculture: is it a valid strategy to raise livelihood? *XXVIII International Horticultural Congress on Science and Horticulture for People (IHC2010): International Symposium on Horticulture for Development. ISHS Acta Horticulturae* 921, 79-86.

Rex, D. & Blair, A. 2003. Unjust des(s)erts: food retailing and neighbourhood health in Sandwell. *International Journal of Retail & Distribution Management* 31 (9), 459-465.

Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, Å., Chapin III, F.S., Lambin, E., Lenton, T.M., Scheffer, M., Folke, C., Schellnhuber, H.J. & Nykvist, B. 2009. Planetary boundaries: exploring the safe operating space for humanity. *Ecology and Society* 14 (2), 32.

Specht, K., Weith, T., Swoboda, K. & Siebert, R. 2016. Socially acceptable urban agriculture businesses. *Agronomy for Sustainable Development* 36, 17.

Tomlinson, L. 2017. Indoor aquaponics in abandoned buildings: A potential solution to food deserts. *Sustainable Development Law & Policy* 16 (1), 16-40.

Tymula, A., Rosenberg Belmaker, L.A., Ruderman, L., Glimcher, P.W. & Levy, I. 2013. Like cognitive function, decision making across the life span shows profound age-related changes. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 110 (42), 17143-17148.

Vanson, T. & Georgieva, I. 2016. *Urban Agriculture Project*. Global Food Security Food Futures Panel report.

Walker, R.E., Keane, C.R. & Burke, J.G. 2010. Disparities and access to healthy food in the United States: A review of food deserts literature. *Health & Place* 16 (5), 876-884.

Wardlow, G.W., Johnson, D.M., Mueller, C.L. & Hilgenberg, C.E. 2002. Enhancing student interest in the agricultural sciences through aquaponics. *Journal of Natural Resources and Life Sciences Education* 31, 55-58.

WCPT 2016. *What is Physical Therapy*. World Confederation for Physical Therapy.

WFOT 2012. *About Occupational Therapy*. World Federation of Occupational Therapists.

WHO 2007. *WHO Global Report on Falls Prevention in Older Age*. World Health Organization, Geneva.

Wrigley, N. 1998. How British retailers have shaped food choice. In Murcott, A. (ed.) *The Nation's Diet: The Social Science of Food Choice*, pp.112-128. Routledge, Abingdon.