

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
FAKULTA RYBÁŘSTVÍ A OCHRANY VOD

Konstrukce recirkulačních akvaponických systémů

Jan Mráz, Roman Lunda, Vlastimil Stejskal

č. 171

Vodňany

ISBN 978-80-7514-079-1

Obsahová část publikace byla zpracována za finanční podpory následujících projektů:

Metodika je výsledkem řešení výzkumného projektu Národní agentury pro zemědělský výzkum č. **QJ1510119** s názvem „Efektivní a dlouhodobě udržitelné využívání živin v intenzivní akvakultuře s využitím multitrofických systémů“ (70 %), dále MŠMT projektu č. **CZ.1.05/2.1.00/01.0024** s názvem „Jihočeské výzkumné centrum akvakultury a biodiverzity hydrocenóz“ (10 %), a MŠMT projektu CENAKVA II v rámci programu NPU I č. **LO1205** s názvem „Udržitelnost a excellence centra akvakultury a biodiverzity hydrocenóz“ (10 %), a GAJU projektu č. **060/2016/Z** s názvem „Inovace pro dlouhodobě udržitelný rozvoj akvakultury“ (10 %).

Obsah

1. Úvod	4
2. Cíl metodiky	6
3. Vlastní popis metodiky.....	7
3.1. Design akvaponických systémů	7
3.2. Popis jednotlivých částí akvaponických systémů	10
3.3. Způsoby zapojení akvaponických systémů.....	37
3.4. Výpočty dimenzí jednotlivých částí	38
3.5. Kalkulace a konstrukce malých hobby akvaponických systémů	52
3.6. Kalkulace a konstrukce komerční akvaponické farmy.....	62
4. Srovnání novosti postupů	70
5. Popis uplatnění certifikované metodiky	70
6. Ekonomické aspekty	70
6.1. Hobby akvaponie	70
6.2. Komerční akvaponie	72
7. Seznam použité literatury	74
8. Seznam publikací, které předcházely metodice	78
9. Dedikace a oponenti	79

1. Úvod

Filozofií moderních akvakulturních systémů je nahlížet na odpad z intenzivního chovu ryb jako na cenný a dále využitelný zdroj vody, energie a živin. Do popředí zájmu se proto dostávají technologie, které tyto rozpuštěné odpadní živiny dále zpracovávají. Jedná se například o různé multitrofní systémy, v nichž je odpad z produkce ryb využíván organismy nižších trofických úrovní (Chopin, 2006). Jedním z těchto systémů je akvaponie. Akvaponie je technologie kombinující akvakulturu s hydroponickým pěstováním rostlin (pěstování rostlin v jiném médiu, než je půda) (Hallam, 2011). Využívá se zde metabolitů ryb jako hnojiva pro rostliny (Obr. 1).



Obr. 1. Vlevo je ukázka akvakulturního recirkulačního systému pro chov ryb (Pranger, 2017). Vpravo je ukázka hydroponického pěstování rajčat (Homegrown Hydroponics, 2017).

Tímto způsobem je umožněn chov ryb s pěstováním zeleniny, ovoce či bylin, které mohou dosahovat vysokých výnosů sklizně (Rakocy, 2007). Rostliny z prostředí odebírají zároveň oxid uhličitý, vytvářejí kyslík a okolní prostředí je tak minimálně zatíženo skleníkovými plyny (Kloas a kol., 2011). Jedná se o technologii šetrnou k životnímu prostředí. Ve větší míře využívá přirozené koloběhy živin a energie vyskytující se v přírodě (Nichols a Savidov, 2012).

Technologie akvaponie vyžaduje pro svůj provoz minimum vody, dokonce méně než jednu desetinu v porovnání s konvenčním zemědělstvím (Hillyer, 2007). V akvaponických systémech není potřeba půda. Mají minimální nároky na zdroj vody, jsou proto ideální také do pouštních oblastí nebo městského prostředí (např. na střechy domů a průmyslové budovy). Tím lze minimalizovat vzdálenost mezi producentem a konzumentem, čímž se zároveň omezuje spotřeba fosilních paliv potřebných pro dopravu a výrobu hydroponických solí. Ztráty v důsledku velké vzdálenosti mezi místy sklizně a konzumace se rovněž snižují (Storey, 2012).

Akvaponické systémy jsou ve své podstatě recirkulační akvakulturní systémy pro chov ryb se všemi typickými technologickými prvky (odchovné nádrže, mechanická a biologická filtrace), které pro čištění vody od rozpuštěných odpadních metabolitů využívají také kořeny rostlin. Voda je po průtoku rostlinnou jednotkou vyčištěna a zároveň dochází k využití odpadních živin pro růst rostlin. Ty následně slouží jako sekundární produkt v tomto produkčním systému. Jedná se o ekologický přístup k intenzivnímu chovu ryb, kde dochází k maximálnímu využití živin z krmiva a minimální produkci odpadní vody.

Dnešní moderní akvaponické systémy jsou rozvíjeny především v Severní Americe a Austrálii. Zde jejich rozvoji nahrávají především vhodné klimatické podmínky a zájem

společnosti o organickou produkci potravin. Postupně se akvaponie začínají dostávat do centra pozornosti také v Evropě. Například tým profesora Kloase (IGB, Berlín) vyvinul moderní akvaponický systém *ASTAF-PRO (Aquaponics system for (nearly) emission free tomato – and fish production in greenhouses)*, za nějž dostal několik prestižních ocenění (Kloas a kol., 2011).

2. Cíl metodiky

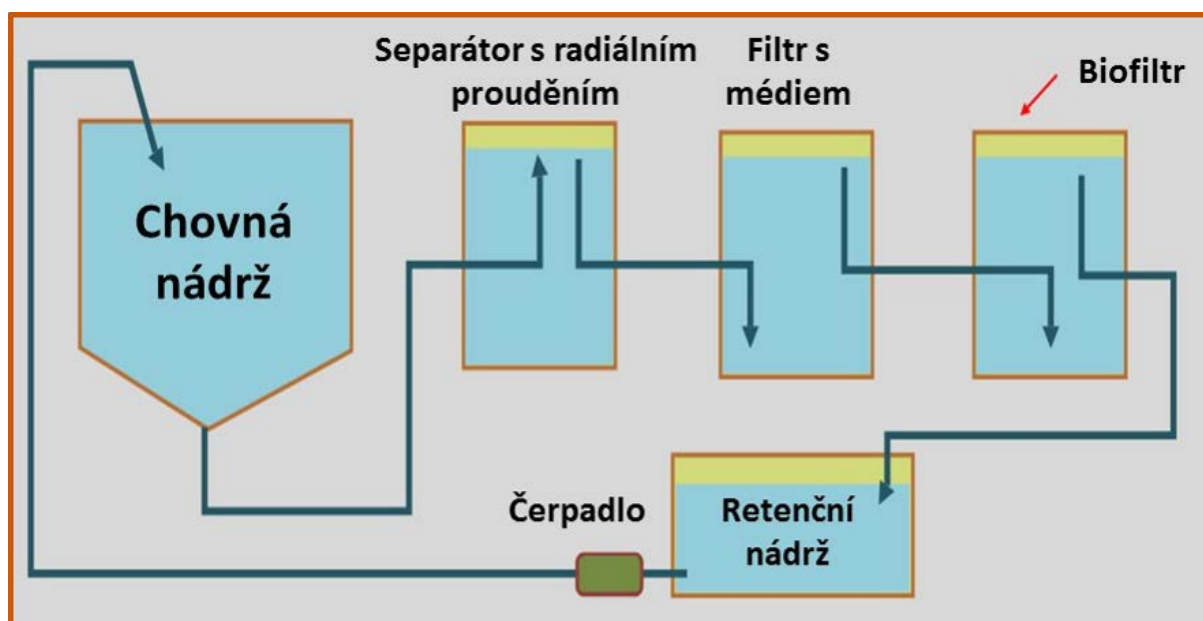
Cílem této metodiky je přinést ucelený přehled o jednotlivých částech akvaponických systémů, návod pro výběr různých typů dílčích částí systému a přehled výhod či nevýhod různých variant. Dále přináší návod pro jejich propojení a vhodnost jednotlivých kombinací. Jsou zde uvedeny také tipy a rady, jak lze některé sofistikovanější postupy z komerčních systémů nahradit pro účely hobby variant. Metodika je psána jako souhrn praktických rad pro ty, kdo chtějí akvaponické systémy budovat, a to ať v hobby měřítku, nebo pro komerční účely. V rámci metodiky jsou popsány i návody pro výpočty dimenzí jednotlivých částí a příklady konstrukce hobby či komerčních systémů. Takto ucelená metodika nebyla u nás dosud publikována. Vzhledem k nárůstu zájmu o problematiku akvaponie nalezne tato metodika své uplatnění.

3. Vlastní popis metodiky

3.1. Design akvaponických systémů

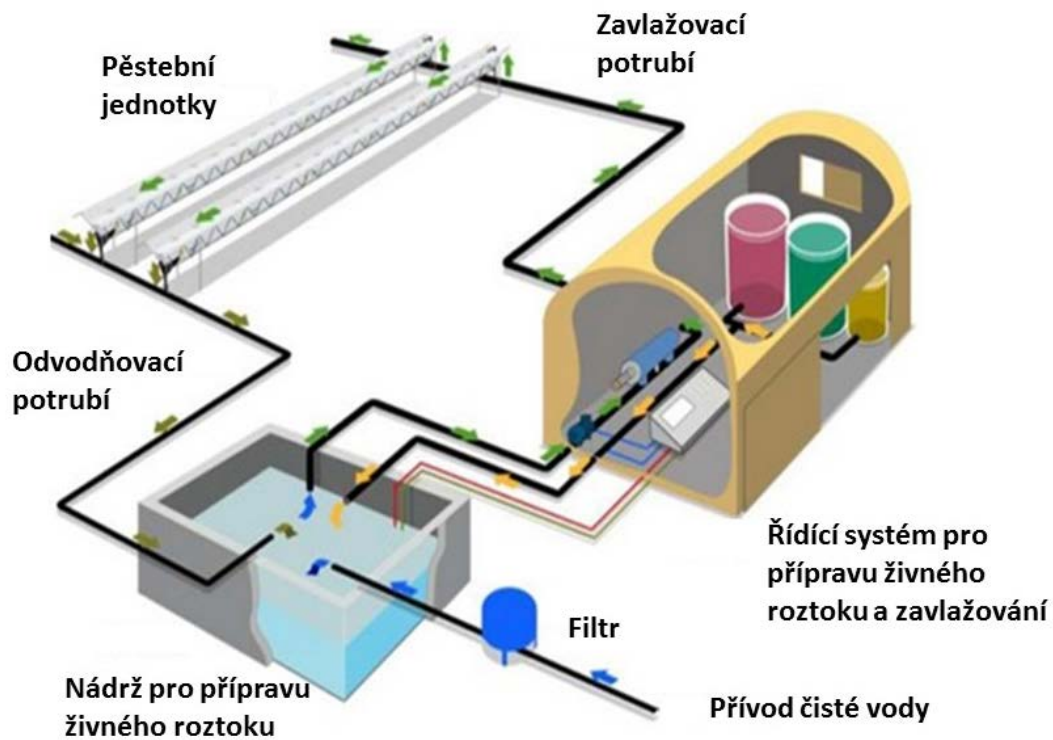
Design akvaponických systémů vychází především z kombinace technologií používaných v komerčních hydroponických a akvakulturních systémech. Klasický akvaponický koncept vychází z běžných recirkulačních akvakulturních systémů (RAS), kdy je mezi biofiltr a odchovné nádrže vložena jednotka pro hydroponickou produkci rostlin. Tento koncept ale přináší řadu nevýhod a vyšší míru rizik (komplikovanější léčba nemocí či škůdců, obtížnější optimalizace podmínek). Postupně je proto nahrazován modernějším pojetím, kdy jsou obě technologie provozovány nezávisle na sobě a pouze se přepouští odpadní voda z RAS do skleníku s hydroponickou produkcí. Obě jednotky tak lze provozovat buď společně jako akvaponický systém, nebo je v případě potřeby oddělit a provozovat zvlášť. O možnostech a kombinacích propojení podrobněji pojednává kapitola 3.3.

Design běžného RAS pro chov ryb obsahuje chovné nádrže, z nichž je odpadní voda odváděna do mechanické filtrace, kde se vyčistí od nerozpuštěných látek (nezkonzumované krmivo, rybí výkaly, nárosty apod.). Dále je voda čištěna v tzv. biologických filtrech, kde je prostřednictvím nitrifikačních bakterií zbavována amonných iontů. Vyčištěná voda pak odtéká do retenční nádrže, odkud je čerpadlem vracena zpět do chovných nádrží (popř. druhé retenční nádrže, odkud voda samospádem teče do chovných nádrží) (Obr. 2). Výše popsaný systém je nejjednodušší funkční variantou. Pro některé druhy ryb a složitější aplikace se do okruhu RAS zařazují jednotky pro dezinfekci vody (UV, ozonizace), denitrifikaci (odstranění dusičnanů), flotaci (odstranění velmi jemných suspendovaných částic) a odplynění (odstranění N_2 a CO_2).



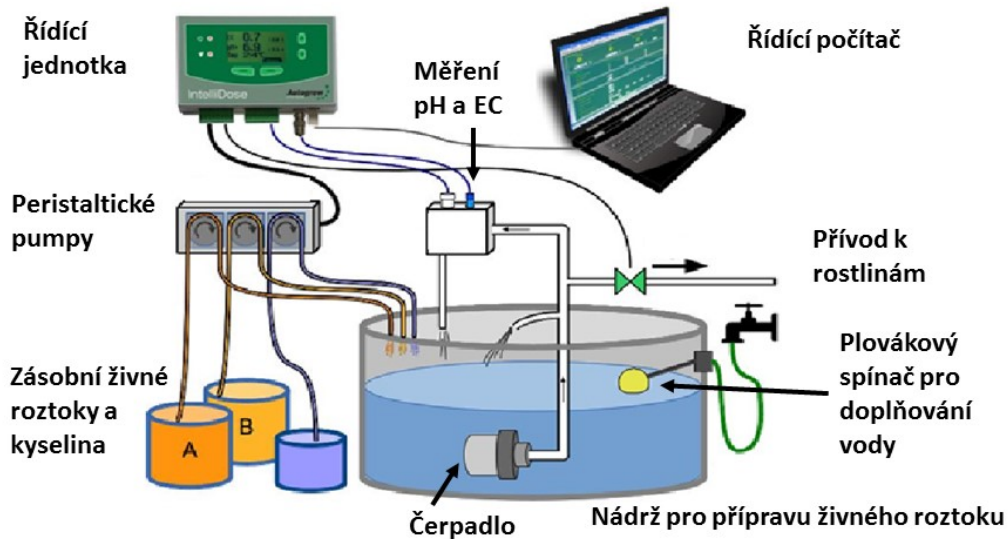
Obr. 2. Schéma recirkulačního akvakulturního systému pro chov ryb (upraveno dle Donaldson, 2017).

Design běžného hydroponického systému pro pěstování rostlin obvykle obsahuje zásobní nádrž s temperovaným živným roztokem (vyvážený roztok vody a všech potřebných živin pro výživu rostlin), odkud je voda vedena do vlastních hydroponických jednotek pro pěstování rostlin. Dále je voda odvedena buď do odpadu (průtočný systém – jedná se o neekologické nakládání s vodou a živinami), nebo je svedena zpět do nádrže s živným roztokem (moderní pojetí recirkulačního systému s maximálním využitím živin a vody; Obr. 3).



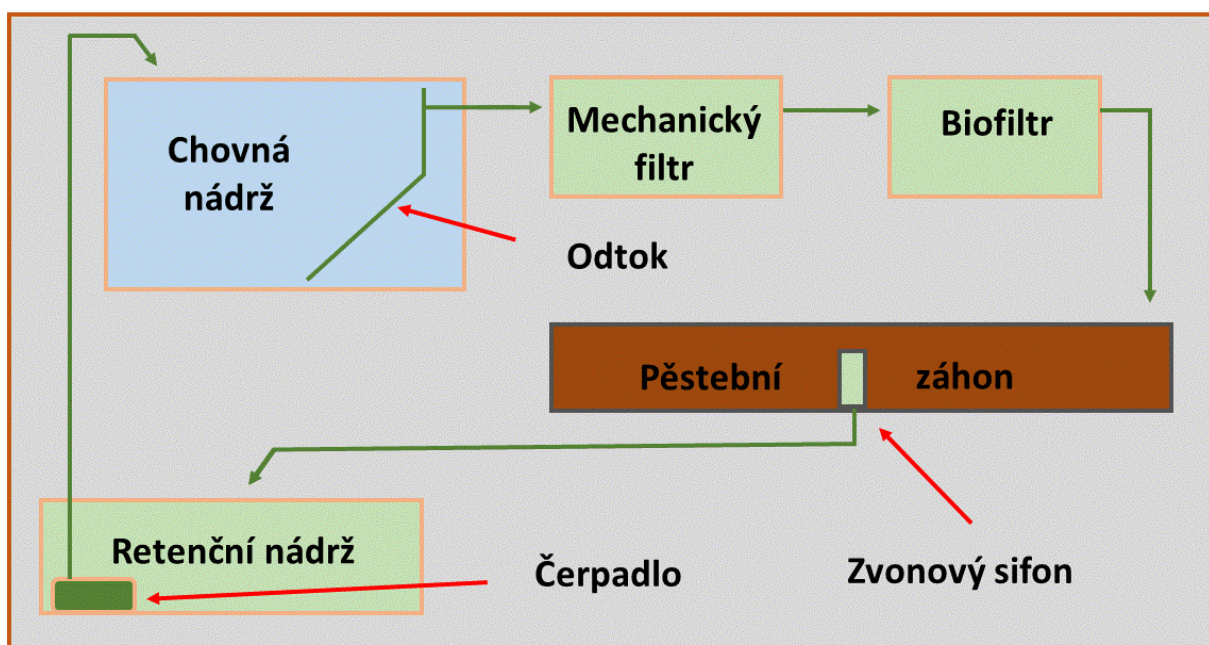
Obr. 3. Schéma hydroponického systému pro pěstování rostlin (de Nijs, 2013).

Pokud je voda opakovaně využívána v recirkulačním systému, v hydroponických systémech bývá před návratem do zásobní nádrže vyčištěna mechanickou filtrací a sterilizována kvůli eliminaci choroboplodných zárodků nemocí a škůdců (nejčastěji UV filtrace nebo ozonizace). Dále je potřeba živný roztok upravit dodáním chybějících živin a upravit pH na optimální hodnotu v úpravně živného roztoku (Obr. 4).



Obr. 4. Detail úpravy živného roztoku (Blue Earth Sustainable, 2017).

Design jednoduchého akvaponického systému pro chov ryb a současné pěstování rostlin vychází z kombinace obou zmíněných systémů – RAS a hydroponie. V nejjednodušší verzi obsahuje chovnou nádrž, mechanickou a biologickou filtraci (v některých případech může zároveň sloužit jako pěstební záhon), hydroponický pěstební záhon a retenční nádrž, odkud je voda čerpána zpět do chovné nádrže (Obr. 5).



Obr. 5. Schéma jednoduchého akvaponického systému pro chov ryb a současné pěstování rostlin (upraveno dle Donaldson, 2017).

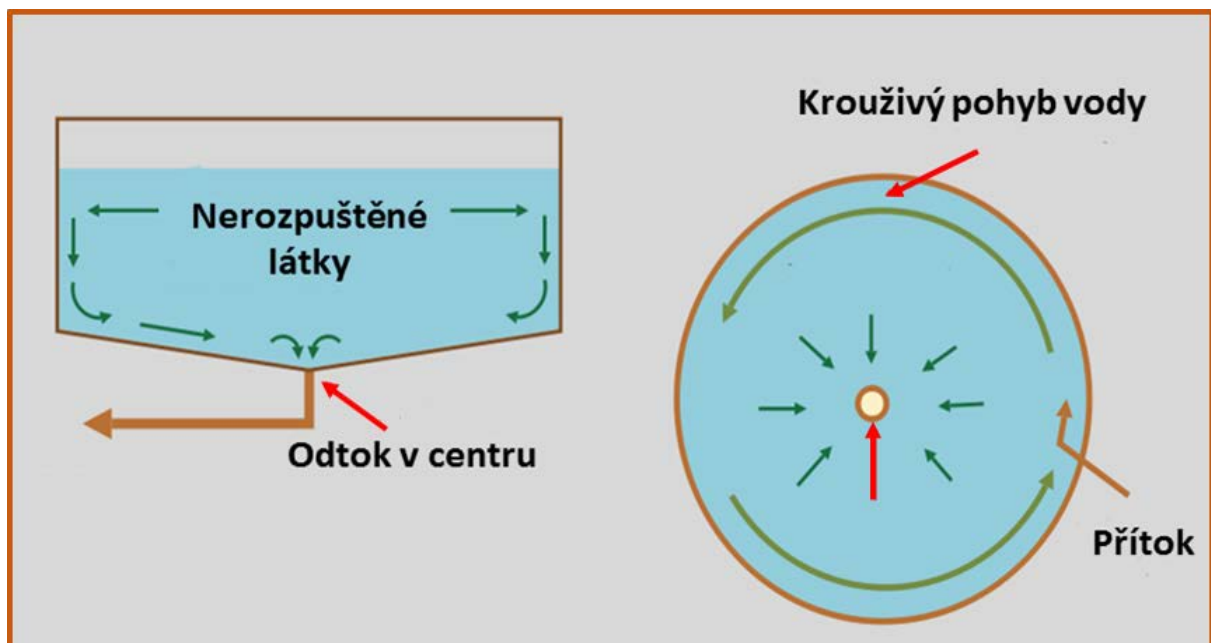
V další kapitole budou podrobně popsány jednotlivé části akvaponických systémů, možnosti řešení a specifické podmínky, které je nutno zvážit při výběru a dodržet při provozu akvaponie.

3.2. Popis jednotlivých částí akvaponických systémů

3.2.1. Chovné nádrže

Pro účely chovných nádrží se využívají různé tvary a velikosti nádrží z různých materiálů, jako je např. plast, laminát, pogumovaná textilie apod. Pro druhy ryb běžně chované v akvaponických systémech neexistuje doporučený rozměr či tvar chovných nádrží. Je ovšem nutné dbát na to, aby z nádrže byly co nejefektivněji odváděny nerozpuštěné látky (výkaly, nezkonsumované krmivo) spolu s odpadní vodou a nevznikaly v ní tzv. mrtvé zóny, kde by se mohly nerozpuštěné látky hromadit a nechtěně tak přispívat k jejich nekontrolovanému rozkladu.

Mezi nejčastější tvary nádrží bezpochyby patří klasická kruhová nádrž. V kruhové nádrži lze vhodným umístěním přívodu vody (při jejím okraji) docílit kruhového pohybu vody, který napomáhá shromažďování nerozpuštěných látek a jejich odvodu středem nádrže. Ještě lepšího odtoku nerozpuštěných látek z nádrže lze docílit, pokud má kruhová nádrž kónické dno (Obr. 6). Nevýhodou kruhových nádrží je potřeba větší plochy pro docílení stejného chovného objemu v porovnání s nádržemi čtvercového či obdélníkového tvaru (Obr. 7), v jejichž případě je vhodné, aby měly zaoblené rohy. Důležité je také správné umístění přítoku vody a vzduchování pro prevenci vzniku mrtvých zón i rychlý odvod nerozpuštěných látek.



Obr. 6. Management odvodu nerozpuštěných látek v kruhové nádrži (upraveno dle Donaldson, 2017).

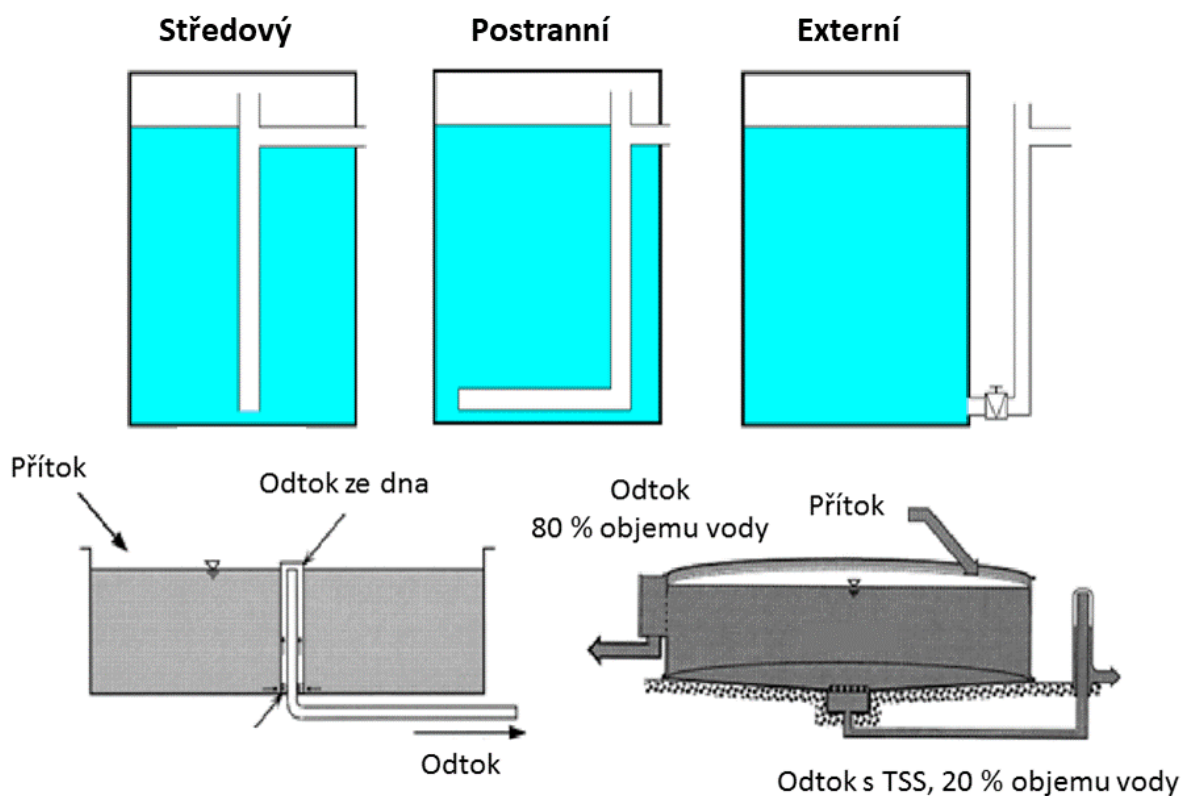
Pro menší akvaponické systémy v hobby stylu se často využívá různých typů recyklovaných nádrží či kontejnerů, které se upravují pro tyto účely. Ve většině případů se jedná o nové nebo vyřazené IBC kontejnery. Tyto kontejnery se vyrábějí z tuhého PE plastu, jsou opatřeny výpustním kohoutem a jednoduchou možností úpravy pro účely chovné nádrže.



Obr. 7. Ukázky tvarů běžně používaných chovných nádrží v hobby akvaponických systémech. Zleva: kruhová nádrž, čtvercová nádrž se zaoblenými rohy, IBC kontejner (Donaldson, 2017).

Odtok z nádrže

Odtok vody z nádrží se volí tak, aby docházelo k co nejrychlejšímu a nejefektivnějšímu odvodu nerozpuštěných látek. Odtok vody z nádrže může být umístěn ve středu dna nádrže, na straně nádrže nebo shora stěny nádrže, jak ukazuje Obr. 8.



Obr. 8. Běžně používané odtoky z chovných nádrží (Timmons a kol., 1998).

3.2.2. Mechanická filtrace

Cílem mechanické filtrace je rychlé odstranění co největšího množství nerozpuštěných látek, jako jsou zbytky krmiv, mrtvé ryby, výkaly ryb a ostatní organické či anorganické částice. Zabraňuje se tím jejich rozkladu v systému, což by jinak vedlo ke zvýšené spotřebě kyslíku, uvolňování amoniaku a dalších nežádoucích látek. Nedostatečně odstraněné nerozpuštěné látky také významně snižují účinnost biologického filtru tím, že poskytují podmínky pro růst heterotrofních bakterií (vyšší poměr mezi C a N), jejichž rozklad odčerpává kyslík potřebný pro nitrifikaci.

Podle velikosti nerozpuštěných pevných látek a náročnosti na jejich odstranění z vody je můžeme rozdělit na následující kategorie:

- Sedimentující (> 100 μm)
- Suspendované (< 100 μm)
- Jemné (< 30 μm) pevné látky

Usazené (sedimentující) pevné látky je poměrně snadné z vody odstranit pomocí jednoduchých sedimentačních zařízení. Obtížnější už je odstranění suspendovaných pevných látek s velikostí < 100 μm , kde je pro jejich odstranění nutné vyvinout větší úsilí.

U akvaponických systémů patří mechanická filtrace k nepostradatelným součástem technologie. Při nedostatečné mechanické filtraci u nich dochází k zanášení hydroponických jednotek, zejména pak obnažených kořenových systémů v NFT a RAFT systémech (viz kapitola 3.2.7), nebo k ucpávání rozvodů vody v kapénkových systémech zavlažování. Pro mechanickou filtraci se v akvaponických systémech používá principiálně stejných typů filtrů (bubnové filtry, sedimentační nádrže, vortexy, mikrosítové filtry) jako v běžných RAS nebo jejich kombinací (Tab. 1). Při výběru správného typu a kapacity mechanického filtru je potřeba zvážit průtok vody ($\text{m}^3 \cdot \text{hod}^{-1}$), zatíženost systému nerozpuštěnými látkami, potřebu čistoty vyčištěné vody, technickou náročnost, cenu apod. Běžnou kombinací je např. použití bubnových filtrů v technologické části určené pro chov ryb a velmi jemné filtrace (např. použití pískových, DE křemelinových či cartridge filtrů) před vstupem do hydroponické části.

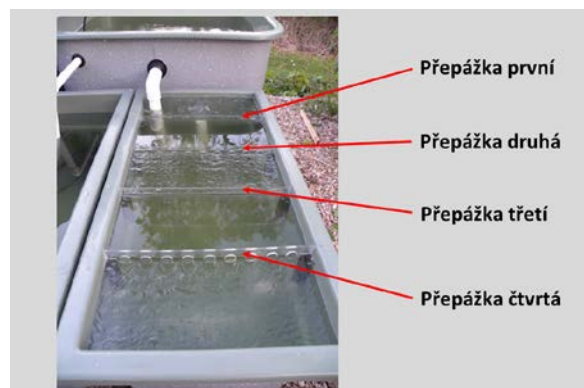
Tab. 1. Přehled různých typů mechanické filtrace, velikost separovaných částic a ztráta tlaku ve vybraných zařízeních (Strange, 2004).

	TYP ZAŘÍZENÍ	VELIKOST ODSTRANĚNÝCH ČÁSTIC (μM)	ZTRÁTA TLAKU
SEDIMENTACE	Usazovací nádrž	> 100	velmi nízká
GRANULÁRNÍ MÉDIA	Perličkový filtr	> 50	střední
	Pískový filtr	10–50	vysoká
MIKROSÍTA	Pohyblivá síta	> 75	nízká
VODNÍ CYKLONY	Cyklon	1–75	vysoká
PÓROVITÉ MÉDIUM	DE filtr	> 0,1	velmi vysoká
	Cartridge filtr	1–10	střední
OSTATNÍ	Pěnový frakcionátor	< 30	velmi nízká
	Ozonizátor	< 30	velmi nízká

Sedimentační nádrže

Sedimentační nádrže slouží k usazování nerozpuštěných látek na dně nádrže snížením rychlosti proudění vody. Nerozpuštěné látky jsou odtud poté odkaleny. Obecně platí, že čím déle voda v sedimentační nádrži setrvává, tím větší množství nerozpuštěných látek bude usazeno. Obvyklá doba zdržení vody je 20 minut (delší je lepší). Doporučený objem sedimentační nádrže je 1/3 objemu chovné nádrže. Některé sedimentační nádrže mají příčné přepážky nebo podélné či šikmé lamely, které usnadňují proces sedimentace tím, že turbulentní proudění mění na laminární (Obr. 9).

Příklad: Jestliže má chovná nádrž 1 000 litrů a průtok je 1 000 l.hod⁻¹, tak by sedimentační nádrž měla mít objem vody minimálně 333 litrů.



Obr. 9. Vlevo je příklad sedimentační nádrže s příčnými přepážkami. Voda prochází pod první přepážkou, horem přes druhou, spodem pod třetí a nakonec horem přes čtvrtou. Vpravo je schéma designu sedimentačních nádrží (upraveno dle Donaldson, 2017).

Čiřiče (angl. Clarifiers)

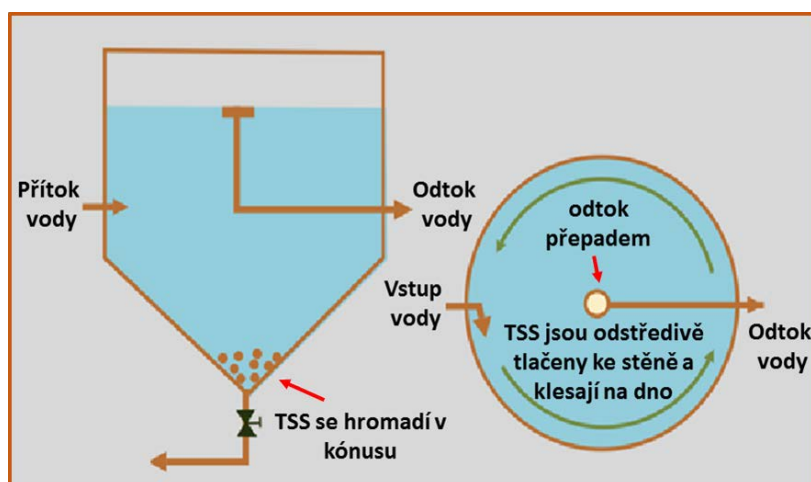
Čiřiče jsou dalším typem sedimentačních nádrží. Obvykle jsou tvořeny kruhovou nádrží s kónickým dnem a jsou přehrazeny přepážkami, které směřují vodu dolů, což napomáhá sedimentaci nerozpuštěných látek (Obr. 10). Stejně jako u ostatních sedimentačních nádrží je jejich funkčnost závislá na snížení rychlosti proudění vody s dodatečným efektem směrování nerozpuštěných látek dolů.



Obr. 10. Čiřič používaný v akvaponickém systému Univerzity na Panenských ostrovech. Voda vstupuje do malé komory a je tlačena dolů. Jakmile vstoupí do druhé komory, je tlačena do ještě větší hloubky, což napomáhá sedimentaci nerozpuštěných látek na dně kónusu (Donaldson, 2017).

Vortexy

Dalším typem sedimentačních nádrží jsou vortexy. Jedná se o kruhové nádrže s kónickým dnem. Fungují na principu odstředivé síly rotující vody v kruhové nádrži. Voda z chovné nádrže přitéká přívodem zaústěným excentricky doprostřed výšky vortexu, což způsobuje rotaci vody. Přepad vyčištěné vody z vortexu se nachází v jeho horní části (Obr. 11 a 12). Tím je zaručeno, že nečistoty rotují ve vodě a jsou odstředivou silou tlačeny ke stěnám nádrže, kde klesají, dokud se neusadí na dně. Dno má kónický tvar, aby se usnadnila sedimentace nečistot a jejich následné odkalování. Výhodou tohoto filtru je jednoduchost výroby i obsluhy. Vortex je sice levný a jednoduchý, ale z hlediska efektivity je vhodný především pro hobby systémy. Vyšší efektivity odstraňování nerozpuštěných částic dosahuje např. níže uvedený typ filtru, jímž je separátor s radiálním prouděním.



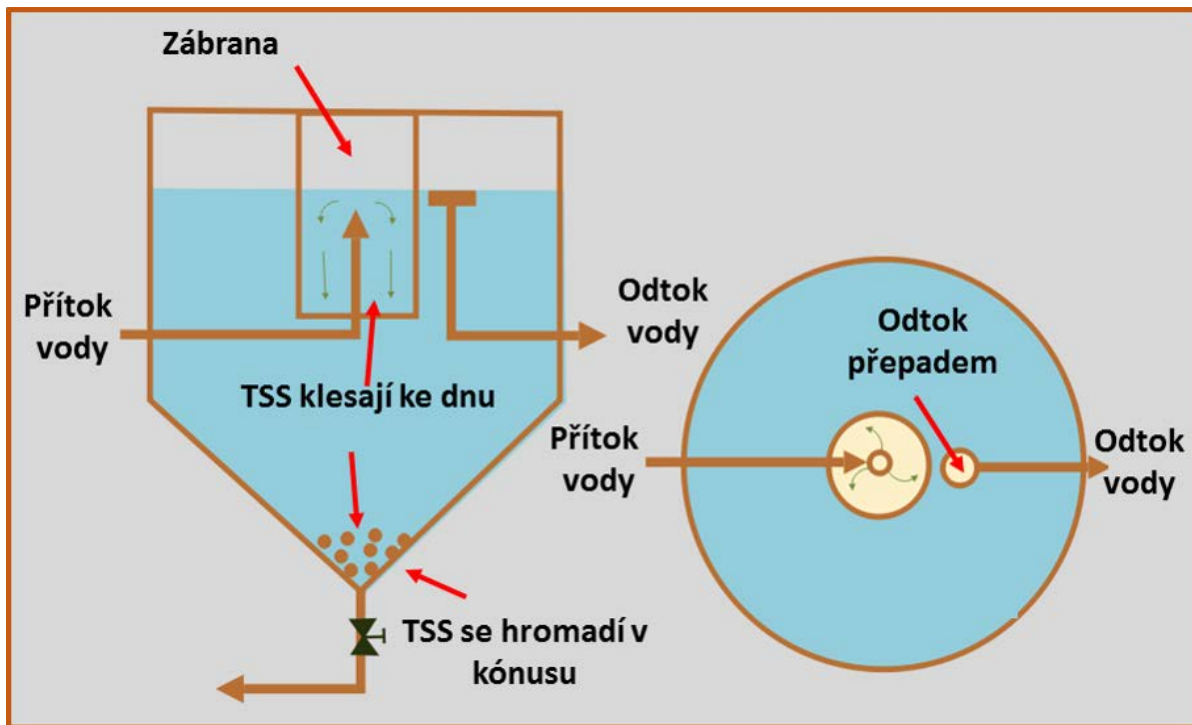
Obr. 11. Schéma vortexu a principu jeho fungování, kdy jsou nerozpuštěné látky odstředivě tlačeny ke stěně a klesají na dno (upraveno dle Donaldson, 2017).



Obr. 12. Pohled na vortex (vlevo) a detail vnitřního uspořádání přítoku a odtoku vody z něj (vpravo) (Donaldson, 2017).

Separátory s radiálním prouděním

Voda přitéká středem kruhového separátoru nahoru k vodní hladině, odkud je kruhovou zábranou tlačena směrem dolů. Rychlost proudění vody je při opuštění kruhové zábrany náhle zpomalena a nerozpuštěné látky pokračují v pohybu směrem dolů, kde sedimentují na dně kónusu. Vyčištěná voda poté odchází ze separátoru skrze přepadový odtok umístěný na hladině vody (Obr. 13).



Obr. 13. Schéma separátoru s radiálním prouděním a princip jeho fungování, TSS; nerozpuštěné látky (upraveno dle Donaldson, 2017).

Filtry plněné médiem

Filtry plněné médiem jsou navrženy tak, aby zachytávaly i nerozpuštěné látky s neutrálním vztlakem, jež jsou unášeny v suspenzi. Existuje mnoho typů těchto filtrů včetně těch, které využívají komerčně vyráběná média (bioelementy pro biofiltry), filtrační matrace a kartáče (Obr. 14 a 15). Voda v těchto filtrech prochází skrze umístěné médium, na kterém se poměrně snadno zachycují unášené nerozpuštěné látky. Takto zachycené nerozpuštěné látky zůstávají na médiu do doby jeho vyčištění.



Obr. 14. Vlevo – nylonové ptačí sítě, které jsou levné a efektivní v zachycování nerozpuštěných látek, ale velmi problematické pro jejich náročné čištění. Vpravo – filtr s matracemi Matala, jež jsou vyráběny v různých hustotách filtračního materiálu (podle toho jsou barevně odlišeny). Jsou efektivní v zachycování nerozpuštěných látek a jejich čištění je jednodušší (Donaldson, 2017).



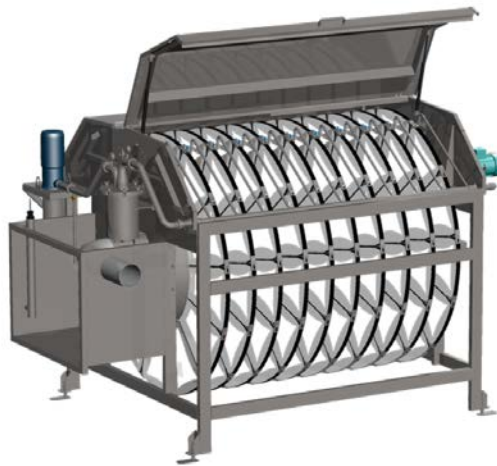
Obr. 15. Vlevo – filtrační kartáče, které jsou relativně levné, efektivní v zachycování nerozpuštěných látek a dobře se čistí. Vpravo – komerčně vyráběná biomédia pro biofiltry, jež jsou efektivní v zachycování nerozpuštěných látek, čistí se za použití intenzivního provzdušňování a následného odkalení (Donaldson, 2017).

Mikrosítové filtry

Mikrosítové filtry fungují na principu průtoku vody přes nosnou mřížku (obvykle z uhlíku) s různou velikostí ok. Na mikrosítech se zachycují nerozpuštěné látky a vyčištěná voda protéká systémem dále. Nejmenější filtrační tkaniny mají obvykle velikost ok od 20 μm , v praxi jsou však nejčastěji využívány filtry s velikostí ok 60 μm . K nejběžnějším variantám však patří níže uvedené diskové a bubnové filtry.

Diskové filtry

Tyto filtry jsou určeny pro filtraci velkého objemu odpadních vod s nároky na vysokou kvalitu vyčištěné vody. Základním filtračním prvkem tohoto zařízení je filtrační segment potažený filtrační tkaninou (mikrosítem). Voda natékající do vnitřního prostoru filtračního segmentu protéká skrze tkaninu směrem ven, přičemž na tkanině jsou zachytávány jemné nečistoty. Segmenty jsou upevněné na diskové hřídeli. Dvanáct segmentů tvoří jeden disk. Počet disků určuje kapacitu a současně i velikost filtru s rozsahem filtrace 5 až 200 μm . Nezbytnou součástí diskového filtru je také pohon (motor), dále jsou to čisticí trysky, tlakové čerpadlo, hladinové čidlo a odvodní kanálek pro znečištěnou vodu (Obr. 16).



Obr. 16. Diskový filtr (In-Eko.cz, 2018).

Bubnové filtry (angl. Drum filter)

Jedná se o plně automatizované mikrosíťové mechanické filtry, které se nejčastěji využívají jako součást komerčních RAS. V nejčastějším provedení těchto zařízení se používá hustota ok mikrosít 60 μm . Vyrábí se ale i síta s hustotou ok 100, 40, 30, 25, 18 a 10 μm .

Voda gravitačně natéká do filtru, kde musí protéci přes filtrační buben, který je opatřen mikrosítem. Při zanesení bubnu nečistotami se automaticky spustí režim čištění. Buben otáčí motor a tlakové čerpadlo ostříkuje shora buben vysokotlakými tryskami. Z vnitřní části bubnu naproti tryskám je koryto pro svod nečistot. Zde se zachytí znečištěná voda s odfiltrovanými nerozpuštěnými látkami, jež gravitačně odchází do odpadního potrubí.

Vyplachování bubnových filtrů je časté a nárazové podle organické zátěže. Jedná se o filtraci náročnější na objem spotřebované vody. Vnitřní část bubnu je žebrovaná, pomocí čehož se dokáže bubnový filtr zbavit i těžkých a velkých nečistot. Tento typ filtru je nejčastěji vyráběn z nerezové oceli, čímž je zaručena jeho dlouhá životnost, avšak i jeho vysoká cena (Obr. 17).



Obr. 17. Zleva – mikrosíto, boční pohled na bubnový filtr a popis jednotlivých částí filtru (upraveno dle Donaldson, 2017).

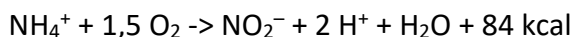
3.2.3. Biologická filtrace

Po mechanické filtraci bývá do akvakulturní části akvaponického RAS obvykle zařazován stupeň biologické filtrace. Jejím cílem je pomocí nitrifikačních bakterií přeměnit amonné ionty (potenciální zdroj toxického amoniaku) na netoxické dusičnany. Nitrifikační bakterie jsou aerobní autotrofní bakterie, které z oxidace amoniaku získávají energii.

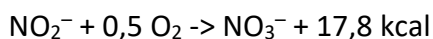
Proces nitrifikace probíhá ve dvou krocích. Nejprve nitritační bakterie (nejčastěji rodu *Nitrosomonas* spp.) přeměňují amoniakální ionty na rovněž velmi toxické dusitany (NO_2^-). V druhém kroku pak nitratační bakterie (nejčastěji rodu *Nitrobacter* a *Nitrospira* spp.) přemění dusitany na (v běžných koncentracích) netoxické dusičnany.

Ze zjednodušených rovnic těchto procesů lze vyčíst, že pro přeměnu 1 molu amonných iontů (NH_4^+) na dusičnany (NO_3^-) je potřeba 2 molů kyslíku (O_2). Jako vedlejší produkt vznikají 2 moly vodíkových iontů (H^+) (Bernstein, 2011).

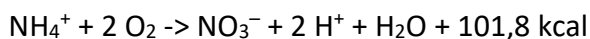
***Nitrosomonas* spp.**



***Nitrobacter* a *Nitrospira* spp.**



Celkem



Pro zajištění zdravé a efektivní kolonie nitrifikačních bakterií v biofiltrech je důležité dodržet především adekvátní povrch bioelementů a dostatečnou kvalitu vody. Správnou funkci biofiltru je nutné podpořit udržováním dostatečného množství kyslíku (aerace) a neutralizováním vznikajícího kyselého pH (Tab. 2 a 3).

Tab. 2. Rozsah fyzikálně-chemických parametrů vody pro optimální funkci biofiltru (Sommerville a kol., 2014).

	Teplota (°C)	pH	Amoniak (mg.l ⁻¹)	Dusitany (mg.l ⁻¹)	Dusičnany (mg.l ⁻¹)	Rozpuštěný kyslík (mg.l ⁻¹)
Toleranční rozsah	17–34	6–8,5	< 3	< 3	< 400	4–8

Povrch média v biofiltru je zásadní pro poskytnutí dostatečného prostoru pro vytvoření kolonií nitrifikačních bakterií.

pH vody má vliv na biologickou aktivitu nitrifikačních bakterií a jejich schopnost přeměňovat amoniak na dusičnany. Uváděné optimální hodnoty pH vody jsou pro rody *Nitrosomonas* 7,2–7,8 a *Nitrobacter* 7,2–8,2. Z literatury je známo, že nitrifikační bakterie jsou schopny se adaptovat i pro větší rozsah hodnot (6–8,5) pH vody.

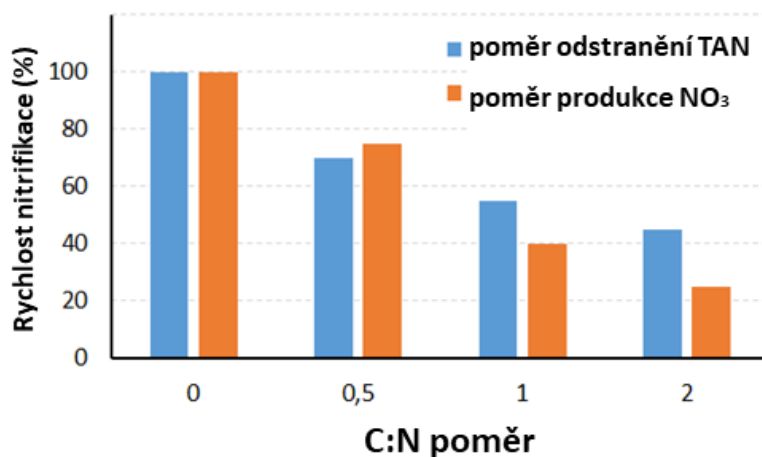
Teplota vody je důležitý parametr pro správné fungování biofiltru i pro chované ryby a pěstované rostliny. Ideální rozsah teploty vody pro bakteriální růst a produktivitu je 17–34 °C. Pokud teplota vody poklesne pod 17 °C, rapidně se snižuje funkčnost biofiltrů (např. pokles teploty o 5 °C znamená snížení efektivity biofiltru o cca 5 %). Teplota vody pod 10 °C snižuje produktivitu o 50 a více procent.

Rozpuštěný kyslík ve vodě potřebují nitrifikační bakterie v adekvátní úrovni. Nitrifikace je oxidativní proces, při kterém se spotřebovává kyslík. Při nedostatku kyslíku se nitrifikační reakce zastavuje. Optimální úroveň rozpuštěného kyslíku je 4–8 mg.l⁻¹. Nitrifikace se rapidně snižuje, pokud hladina rozpuštěného kyslíku klesne pod 2 mg.l⁻¹.

Poměr mezi uhlíkem a dusíkem ovlivňuje funkci biologického filtru následujícím způsobem. Jak bylo zmíněno výše, heterotrofní bakterie mají výrazně kratší generační interval. Z ekologického pohledu jsou tedy heterotrofní bakterie tzv. r-stratégové. Tyto skutečnosti mají za důsledek masivní rozvoj heterotrofních bakterií v prostředí s přebytkem uhlíku (tzn. při špatně fungující mechanické filtraci) (Obr. 18). Ani v optimálně zaběhlém RAS početnost nitrifikačních bakterií nepřesahuje 20 % celkového počtu bakterií.

Tab. 3: Požadavky ryb, rostlin a nitrifikačních bakterií včetně kompromisních hodnot doporučených pro akvaponické systémy (Somerville a kol., 2014).

Organismus	Teplota (°C)	pH	Amoniak (mg.l ⁻¹)	Dusitany (mg.l ⁻¹)	Dusičnany (mg.l ⁻¹)	Rozpuštěný kyslík (mg.l ⁻¹)
Teplomilné ryby	22–32	6–8,5	< 3	< 1	< 400	4–6
Studenomilné ryby	10–18	6–8,5	< 1	< 0,1	< 400	6–8
Rostliny	16–30	5,5–7,5	< 30	< 1		> 3
Nitrifikační bakterie	17–34	6–8,5	< 3	< 3		4–8
Akvaponie	18–30	6–7	< 1	< 1	5–150	> 5



Obr. 18. Vliv poměru uhlíku (C) a dusíku (N) na průběh nitrifikace. TAN značí celkový amoniakální dusík (upraveno dle Michaud a kol., 2006).

Ultrafialové záření ohrožuje nitrifikační bakterie, které jsou fotosenzitivními organismy. Především v počátcích (prvních 6–8 týdnů) zabíhání biofiltru je potřeba zabránit přístupu slunečního záření do biofiltru.

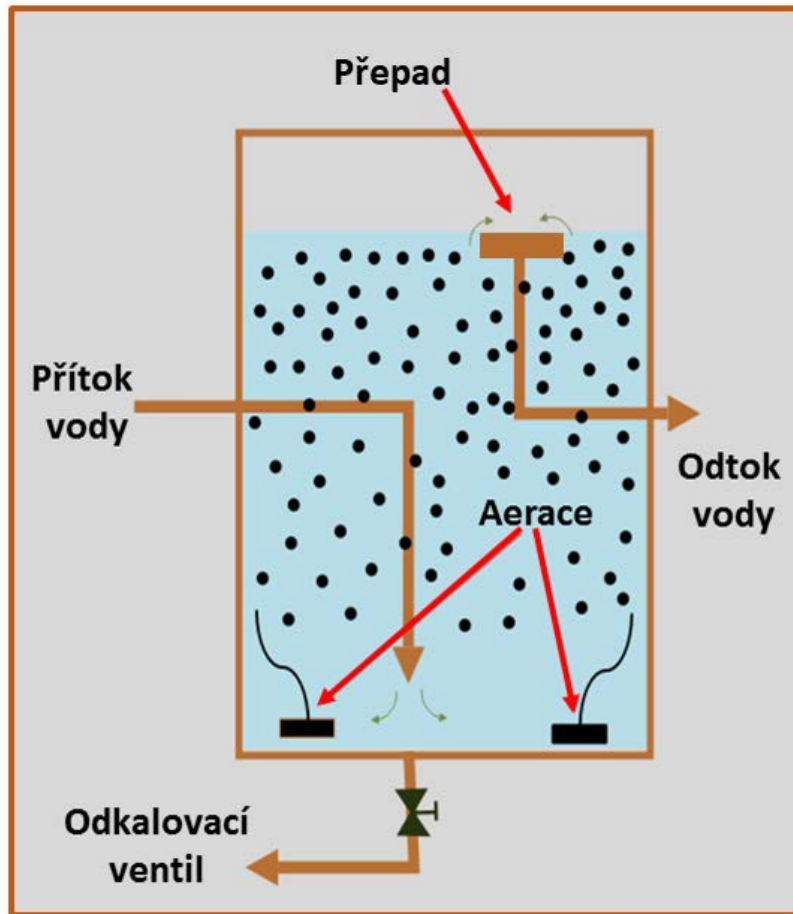
Biofiltry se vyrábějí ve dvou hlavních typech: jedná se buď o biofiltry s ponořeným médiem (ponořené biofiltry), nebo o skrápěné biofiltry. V obou typech se využívá komerčně vyráběných plastových bioelementů s velkým povrchem, který slouží jako nosič pro nitrifikační bakterie (Obr. 19).



Obr. 19. Ukázka běžně používaných plastových elementů v biofiltrech (GrayStone Creations, 2017; Jezírka e-shop, 2017; Reefbuilders, 2017).

Pohyblivý biofiltr (angl. Moving bed bio-reactor, MBBR)

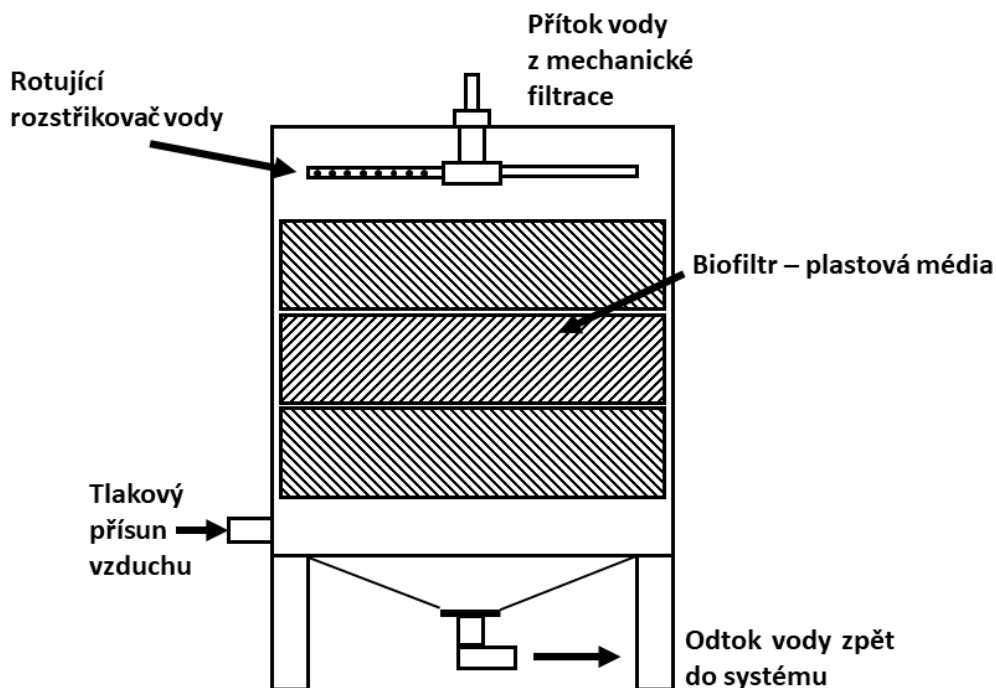
Pohyblivý biofiltr se skládá z nádrže naplněné vodou a ze 2/3 naplněné bioelementy s velkým povrchem. Voda s bioelementy je intenzivně provzdušňovaná pomocí vzduchovacích kamenů či difuzérů, které zajišťují dostatečnou koncentraci rozpuštěného kyslíku potřebného pro nitrifikaci a zároveň zajišťují neustálý pohyb bioelementů (Obr. 20).



Obr. 20. Schéma designu pohyblivého biofiltru (upraveno dle Donaldson, 2017).

Skrápěný biofiltr

Jedná se o druhý typ biologické filtrace. Odpadní voda je pomocí výkonného čerpadla transportována vysoko nad úroveň vodní hladiny v systému. Zde je voda pomocí ventilů či separátorů rovnoměrně rozstříkována na plochu, kde se nacházejí bioelementy. Ty se mohou nacházet jak ve vrstvách, tak mohou být umístěné v bednách. Odpadní voda je prostřednictvím rozptýlení a gravitace transportována přes tato média, kde dochází k nitrifikaci. Následně voda prokapává přes biofiltr do retenční nádrže, odkud je posléze opět transportována do rybochovných nádrží (Obr. 21).

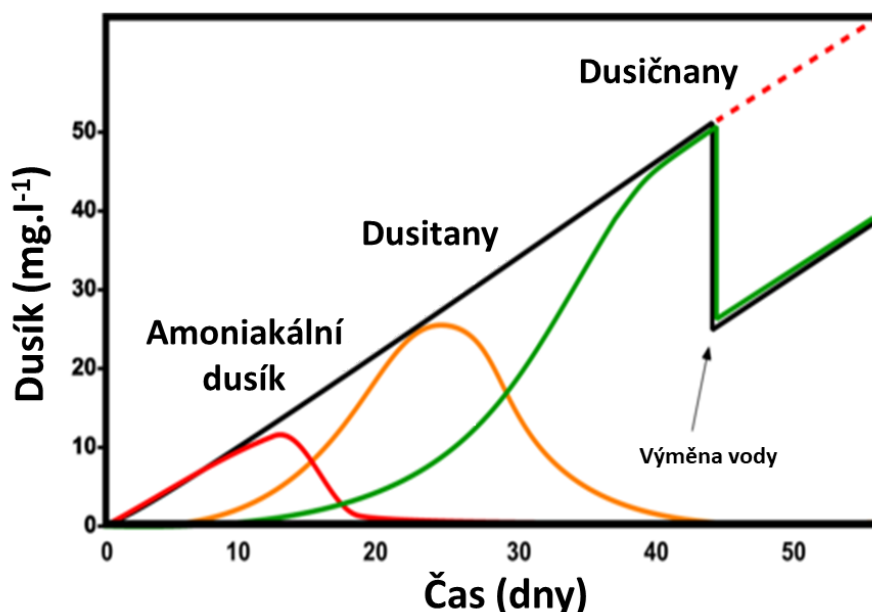


Obr. 21. Schéma skrápěného biofiltru (upraveno dle Ayuka, 2015).

Zabíhání biofiltru

Kvůli pomalému růstu kolonií nitrifikačních bakterií je potřeba počítat s dostatečnou dobou (30 až 50 dní) potřebnou pro zaběhnutí nového biofiltru. Při zabíhání je potřeba do systému nejprve dodat dostatečné množství zdrojů amoniakálních iontů (močovina, amonné soli, malá obsádka ryb apod.).

V první fázi tak ve vodě nejprve roste koncentrace amoniakálního dusíku. Ten napomáhá vytváření kolonií nitritačních bakterií, které přeměňují amoniakální ionty (NH_4^+) na dusitany (NO_2^-). V druhé fázi tedy poklesne koncentrace amoniakálního dusíku a začínají se kumulovat dusitany. Po vytvoření dostatečné koncentrace dusitanů se v biofiltru začne vytvářet kolonie nitratačních bakterií, jež přeměňují dusitany (NO_2^-) na dusičnany (NO_3^-). Ve třetí fázi poklesnou koncentrace jak amoniakálního dusíku, tak dusitanů a začnou se postupně kumulovat dusičnany (Obr. 22), které jsou v běžných koncentracích pro ryby neškodné. Po rozběhnutí třetí fáze je možné systém osadit plnou obsádkou ryb.



Obr. 22. Koncentrace amoniakálních iontů, dusitanů a dusičnanů při zabíhání biofiltru (upraveno dle Halliday, 2007).

V příliš vysokých koncentracích však hrozí, že se budou dusičnany zpátky redukovat na toxické dusitany. Po nějaké době je potřeba koncentraci dusičnanů ve vodě snižovat. Nejčastějším způsobem bývá vypuštění části vody ze systému při odkalování a čištění mechanické filtrace a následné naředění chovné vody čerstvou vodou. Koncentraci dusičnanů ve vodě lze snížit také zařazením denitrifikační jednotky do RAS. V té jsou dusičnany v anaerobním prostředí přeměněny na plynný dusík, který odchází do atmosféry. Další možností je využít dusičnany zatíženou vodu pro hydroponické pěstování rostlin nebo pro kultivaci mikrobiální biomasy (tzv. bioflok).

3.2.4. Retenční nádrž, čerpadla

Poslední částí RAS před finálním opětovným vstupem ošetřené vody zpět do odchovné části bývá retenční nádrž. Jedná se o nádrž, do níž je přiváděna mechanicky a biologicky ošetřená voda, která je pomocí čerpadel nebo samospádem opětovně rozváděna do systému. V této nádrži nejčastěji dochází k aplikaci přípravků pro úpravu chemicko-fyzikálních vlastností vody (úprava pH, konduktivity atd.). V akvaponických systémech s jedním cyklem bývají do retenční nádrže aplikovány doplňkové živiny pro dosažení potřebné rovnováhy všech prvků potřebných pro správný růst a vývoj rostlin.

Pohyb vody v systému je zajišťován pomocí čerpadel a gravitačním samospádem. Výkon čerpadla je nutné volit tak, aby bylo schopno požadovaný průtok vody dodat do potřebné výšky. V RAS se běžně používá výkonných čerpadel, která jsou osazena ve dvojicích a v provozu se pravidelně střídají. Vždy pracuje pouze jedno z nich a druhé slouží jako záloha pro případ poruchy. Střídání čerpadel se používá proto, aby byla obě čerpadla rovnoměrně zatěžována. V některých RAS (např. RAS dánského typu) se pro pohyb vody v systému využívá tzv. airliftů. Ty slouží jak k zajištění pohybu vody v systému, tak k provzdušňování a odplynění vody.

Jsou vhodné tam, kde je potřeba vodu transportovat s nízkým rozdílem hladin, a dobře fungují při výšce sloupce vody alespoň jeden metr a více.

3.2.5. Aerace

Dostatečný obsah rozpuštěného kyslíku ve vodě je zásadní pro chované ryby (pro metabolizování přijatého krmiva), nitrifikační bakterie i rostliny. Negativně se na kyslíkové bilanci podílejí i jemné suspendované částice (velikosti menší než 30 μm), které lze ze systémů obtížně odstranit mechanickou filtrací. Jejich negativní působení spočívá ve vysoké reaktivitě díky velkému aktivnímu povrchu. Množství těchto látek determinuje kvalita krmiva a design systému. Při výpočtu potřeby vzduchování se v RAS počítá s tím, že ryby a bakterie spotřebují následující množství kyslíku na kg krmiva:

Ryby	0,25 kg O ₂ na kg krmiva
Nitrifikační bakterie	0,12 kg O ₂ na kg krmiva
Heterotrofní bakterie	0,13 kg O ₂ na kg krmiva (ale může být až 5 kg O ₂)
Celkem	0,5 kg O₂ na kg krmiva

Někteří autoři doporučují pro výpočet potřeby aerace používat z bezpečnostních důvodů poměr 1 kg O₂ na 1 kg krmiva.

Spotřeba kyslíku rybami závisí na faktorech, jako je druh ryby, hmotnost (velikostní kategorie), aktivita (odpočinek, nucené plavání), zdravotní stav, teplota vody a management krmení (krmná dávka, kvalita krmiva, frekvence krmení). Obecně platí, že spotřeba kyslíku daným druhem ryby je největší v období maximální aktivity (plavání) a sytosti (respektive krátce po maximálním nakrmení).

V akvaponických systémech se dostatečné množství rozpuštěného kyslíku ve vodě většinou řeší pomocí vzduchování (aerace). Při ní se využívá vzduchovacích čerpadel, kompresorů nebo turbín, pomocí nichž se vhání vzduch skrz vzduchovací potrubí a vzduchovací kameny, difuzéry, hadice s póry či elementy do vody. Důležité je, aby bublinky vzduchu byly co nejmenší. Malé bublinky vzduchu mají větší povrch, a proto dochází k lepšímu rozpouštění kyslíku do vody. Dále je potřeba, aby cesta bublinek vzduchu byla mezi vzduchovacím kamenem a hladinou vody co nejdelší. Čím delší dráha bublinek, tím větší bude míra rozpouštění kyslíku ve vodě.

Obsah rozpuštěného kyslíku ve vodě lze dále zvýšit rozstříkáním přívodu vody do nádrže nebo použitím principu Venturiho trubice (Obr. 23). Venturiho trubice využívá hydrodynamického principu, který přisává vzduch, pokud tlaková voda v potrubí protéká vyšší rychlostí zúženým místem v potrubí. Lze ji jednoduše vyrobit tak, že se do přívodního potrubí tlakové vody (např. o průměru 25 mm) vloží krátký kousek potrubí (např. 5 cm) o menším průměru (např. 20 mm) a udělá se v něm menší otvor. Jakmile voda z přívodního potrubí o větším průměru protéká zúženým místem, vytváří podtlak a přisává z okolního prostředí vzduch. Pokud je Venturiho trubice umístěna pod vodou, lze na přisávací otvor umístit hadičku pro přisávání vzduchu z atmosféry.



Obr. 23. Vlevo – příklad využití jevu Venturiho trubice pro aeraci vody (Chromý, 2017).
Vpravo – příklad využití rozstříku přítoku vody pro aeraci (Aquaponic Lynx, 2017).

3.2.6. Ohřev vody

Každý druh ryby a rostliny má svůj preferovaný rozsah teplot pro optimální růst. Obecně tropické ryby vyžadují teplotu 22–32 °C, zatímco studenomilné ryby preferují teplotu 10–18 °C. Tlamoun nilský (tilapie nilská; *Oreochromis niloticus*) je schopný tolerovat rozsah teplot 14–36 °C (neroste pod 17 °C a hyne pod 12 °C). Pro jeho růst je optimální teplota 27–30 °C (Timmons a Ebeling, 2010). Navíc optimální teplota snižuje riziko nemocí a stresu. Rostliny mají také specifické teplotní požadavky. Saláty preferují teplotu spíše nižší, 15–19 (22) °C, bylinky (bazalka) 20–25 °C, zatímco plodová zelenina vyžaduje vyšší teplotu, nad 22 °C (viz kapitola 3.4.7, Tab. 12). Při volbě optimální kombinace ryb a rostlin v akvaponickém systému je vhodné kombinovat ryby a rostliny s podobnými teplotními nároky, aby se předešlo velkým rozdílům v požadavcích ryb a rostlin nebo nutnosti výrazného chlazení či topení. Například není vhodné kombinovat chov keříčkovce červenolemého (sumečka afrického; *Clarias gariepinus* s optimální teplotou 25–30 °C) a pěstování salátů (optimální teplota 15–19 °C), jelikož saláty pěstované ve vyšších teplotách mají tendenci ke kvetení. Do této sestavy by bylo vhodnější využít pstruha duhového (*Oncorhynchus mykiss*) s optimální teplotou 16 °C. Teplomilné ryby, např. keříčkovce červenolemého, je naopak vhodné kombinovat s teplomilnějšími rostlinami, jako jsou např. rajče (optimální teplota 22–26 °C) nebo paprika (optimální teplota 22–30 °C).

Teplota vody má zásadní vliv na všechny organismy přítomné v akvaponickém systému. Proto je udržování teploty vody v optimálním rozsahu velmi důležité. V našich klimatických podmínkách mohou být v zásadě dva přístupy. Část „akvaponistů“ provozuje své systémy pouze přes vegetační sezonu (cca březen–říjen) a přihřívá vodu pouze krátkodobě pro překonání chladnějších dnů. Nebo jsou akvaponické systémy provozovány celoročně a v tom případě je nutné v nich ohřívát vodu a rostlinám přisvěcovat. Nejjednodušší, jak nakládat s energií efektivně, je v první řadě systémy zaizolovat proti ztrátě tepla a využít možnosti, jak teplo získat a udržet jej. Je třeba si uvědomit, že veškerá elektrická energie používaná pro chod světel, čerpadel a vzduchovacích agregátů končí zčásti jako energie tepelná. Na energetické bilanci se rovněž negativně podílí dopouštění většího množství nové (zpravidla chladné) vody. Proto stabilní zaběhnuté RAS, případně RAS vybavené denitrifikační jednotkou, mají pozitivnější energetickou bilanci. Možností, jak teplo získat, je využít principu, že černá barva

absorbuje více tepla ze slunečního záření. Na to je třeba pamatovat i při plánování umístění systému v terénu ve vztahu k slunečnímu osvětlení. Teplota je vhodně udržet ve velkém objemu vody, který zároveň působí jako pufr a tlumí výkyvy teploty. Pokud je potřeba vodu dále přehřívát, je vhodné nejprve co nejvíce využít odpadního tepla (např. teplo uvolněné z kompostu, hnoje, odpadní teplo z bioplynových stanic apod.). V případě větších komerčních systémů se jako efektivní jeví využití různých typů tepelných čerpadel (Kouřil a Matoušek, 2008).

3.2.7. Hydroponické systémy

V akvaponických systémech se voda zatížená rybími metabolity využívá pro produkci rostlin v hydroponických systémech. Mezi běžně používané designy hydroponických jednotek patří:

3.2.7.1. Substrátová hydroponie (angl. Media based grow beds, Ebb and flow, Media – filled bed)

V těchto technologiích jsou využívány pěstební záhony s médiem, jako je např. štěrk, lávové kameny, keramzit apod., které jsou periodicky zaplavovány a vypouštěny (cca 4 cykly za hodinu, Obr. 24). Díky tomuto střídání mají rostlinné kořeny jak dostatek vody a živin, tak je zajištěno i jejich dostatečné provzdušnění a výměna plynů. Záplavový cyklus se v systémech zajišťuje obvykle buď za pomoci časovačů spínání čerpadla, nebo pomocí zvonového sifonu.

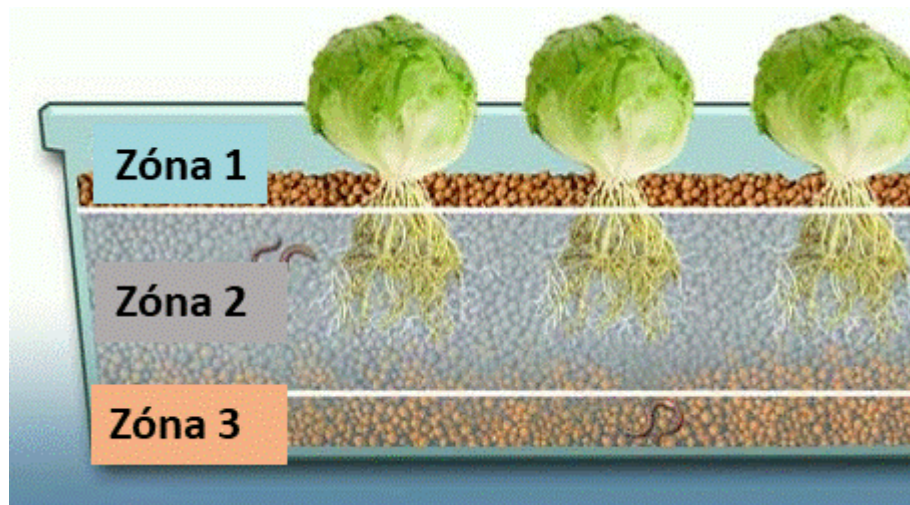


Obr. 24. Příklady „Media based grow beds“ akvaponických systémů (Halam, 2011; Hughey, 2005).

Pěstební záhony mohou v případě akvaponického systému sloužit zároveň i jako mechanická a biologická filtrace a při nízkých obsádkách ryb do 50 kg.m³ není potřeba do systému zařazovat samostatnou jednotku pro mechanickou a biologickou filtraci. Jedná se o jednoduchý a zároveň velmi robustní systém, který je vhodný pro pěstování široké škály rostlin a je zvláště vhodný pro hobby systémy a akvaponické začátečníky.

Tento systém je charakteristický přítomností tří zón v pěstebním médiu (Obr. 25): **První horní zóna** (cca 5 cm) je stále **suchá**. Funguje jako zábrana proti slunečnímu svitu. Pokud by tato zóna byla mokrá, velmi rychle by v ní začaly růst nežádoucí řasy. Funguje také jako

prevence růstu nežádoucích hub a bakterií na bázi kořenového systému rostlin. Dále minimalizuje výpar vody ze záhonu a chrání nitrifikační bakterie před slunečním zářením.



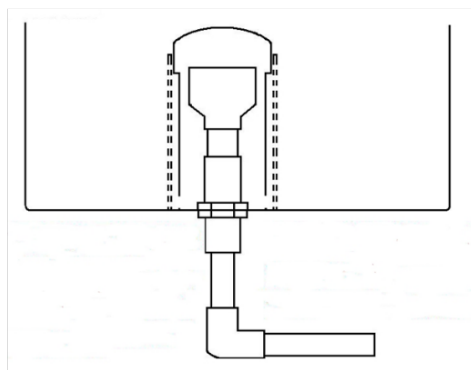
Obr. 25. Schematické znázornění tří zón v pěstebním záhonu (upraveno dle Brook, 2015).

Druhá suchá/mokrý zóna (cca 20 cm) slouží k výměně vody, živin a plynů. Dochází zde k periodickému zaplavování a vysušování. Většina biologické aktivity (rozvoj kořenového systému, aktivita nitrifikačních bakterií a příznivých organismů – žížaly) probíhá právě v této zóně.

Třetí spodní mokrý zóna (cca 5 cm) je permanentně zatopená vodou. V této zóně dochází ke kumulaci nerozpuštěných látek. Dochází zde k jejich mineralizaci pomocí heterotrofních bakterií a dalších organismů. Tyto organismy rozbírají nerozpuštěné látky na menší frakce a rozpuštěné látky, které mohou být následně absorbovány rostlinami.

Zvonový sifon

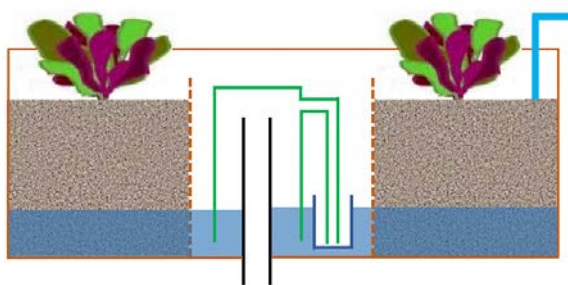
Zvonový sifon je v hobby akvaponiích často používaný pro zajišťování záplavového a vysušovacího cyklu. Skládá se z přelivové trubky, zvonu a děrované zábrany proti zasypání médiem (Obr. 26). Jedná se o velmi levný, jednoduchý a spolehlivý systém.



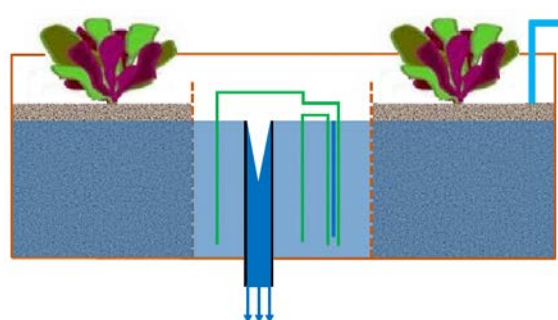
Obr. 26. Vlevo – schéma zvonového sifonu (Affnan's Aquaponics, 2017). Vpravo – jednotlivé části zvonového sifonu: děrovaná zábrana, zvon, přelivová trubka (True aquaponics, 2017).

Při použití zvonového sifonu přitéká voda do pěstebního záhonu kontinuálně stejnou rychlostí. Přelivová trubka brání tomu, aby voda z nádrže odtékala, a tak v první fázi postupně hladina v záhonu stoupá. V okamžiku, kdy voda vystoupá do úrovně přelivové trubky, začne do ní přepadávat a odtékat. V této fázi se v přelivové trubce vytvoří vodní zátka a začne v sifonu vytvářet podtlak. Ve třetí fázi podtlak v sifonu vyčerpává vodu ze záhonu a hladina postupně klesá. Ve čtvrté fázi voda v záhonu poklesne tak, že se do zvonového sifonu přisaje vzduch, který přeruší podtlak a vodu přestane nasávat. V tuto chvíli se cyklus vrací do první fáze a voda začne v záhonu opět stoupat (Obr. 27).

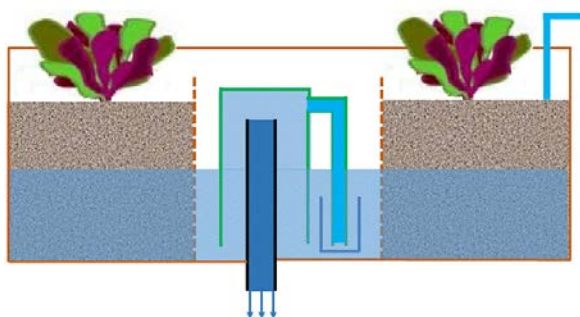
1. Fáze: Hladina stoupá



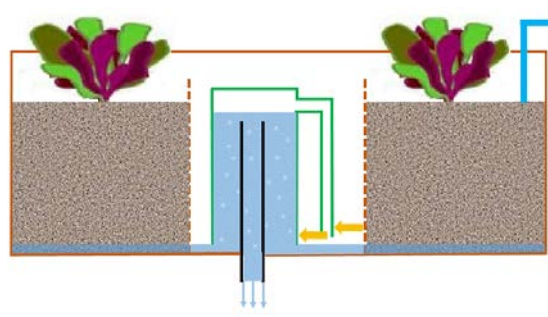
2. Fáze: Vznik vodní zátky



3. Fáze: Hladina klesá



4. Fáze: přerušení podtlaku



Obr. 27. Znárodnění čtyř fází cyklu zvonového sifonu (upraveno dle Aquaponic.be, 2017).

Médium

Správné médium pro akvaponický systém musí splňovat následující požadavky. Musí mít dostatečný povrch a musí být dostatečně propustné pro vodu a plyny. Médium musí být inertní, netvořit prach, nesmí být toxické a nesmí ovlivňovat pH vody. Nejčastěji používaná média v těchto systémech jsou expandované kuličky jílu (keramzit, hydroton) či křemičitý štěrk. Expandované jílové kuličky mají vhodný povrch ($250\text{--}300\text{ m}^2\cdot\text{m}^{-3}$) a jsou lehké. Vhodné je volit velikost $8\text{--}20\text{ mm}$ (menší frakce se zanáší) a typ s vyšší objemovou hmotností ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$), který ve vodě neplave, jinak při zaplavitování záhonů zasypává rostliny. Jeho výhodou je velký povrch a nízká hmotnost. Nevýhodou je vysoká pořizovací cena. Při použití štěrku je potřeba používat pouze čistý křemičitý štěrk bez významnějších příměsí vápence, jež jinak negativně ovlivňuje pH vody. Vhodné je volit frakci kolem 20 mm , aby se záhon nezanášel. Výhodou jsou nízké pořizovací náklady a nevýhodou vysoká hmotnost.

Doplňování živin

Pokud je takováto hydroponická jednotka využívána v akvaponickém systému, je potřeba dodávat několik živin, které se obvykle v rybím krmivu vyskytují v nedostatečných koncentracích s ohledem na nutriční požadavky rostlin. Jedná se především o železo, vápník a draslík. Vápník a draslík se do akvaponického systému obvykle dodávají pomocí aditiv používaných pro stabilizaci pH vody (uhličitan vápenatý, hydroxid vápenatý, hydroxid draselný). Železo je potřeba dodávat v rozpustné formě využitelné pro rostliny. Nejčastěji se používají cheláty železa. Pro akvaponické systémy jsou vhodné tyto cheláty železa: FeDTPA (při rozsahu pH $6\text{--}7,5$) a FeEDDHA (pro pH do hodnoty 9). V akvaponii by se neměl používat chelát železa FeEDTA, protože je mírně toxický pro vodní organismy a není rozpustný při neutrálním pH.

3.2.7.2. Raftový systém (angl. Deep water culture, DWC)

Raftový systém, nazývaný také jako Raft systém (RAFT), je konstrukčně nejjednodušší pěstební systém. Jde pouze o nádrž libovolných rozměrů, ovšem s nízkou výškou (kolem 50 cm). Hladina nádrže je pokryta deskami z plovoucího materiálu (nejčastěji polystyren nebo speciální plastové hydroponické desky), které jsou opatřeny otvory pro kořenáče (košíky) (Obr. 28).



Obr. 28. Příklady RAFT systémů (Green Acre Aquaponics; University of Virgin Islands; Rakocy, 2007).

Rozpětí mezi jednotlivými otvory se volí podle druhu a velikosti rostliny tak, aby nedocházelo k narušení prostoru sousedních rostlin. Kořeny volně splývají ve sloupci vody, odkud čerpají potřebné živiny. Tyto systémy jsou vhodné pro menší rostliny, jako je např. bazalka, různé druhy salátů apod. Výměna vody v raftové nádrži je obvykle zhruba 30 % objemu vody za hodinu. Nezbytnou součástí RAFT je vzduchovací systém pro zabezpečení dostatečné koncentrace kyslíku ve vodě ($> 5 \text{ mg.l}^{-1}$) pomocí vzduchovacích kamenů či potrubí, které se umísťují na každých cca 5 m. Vzhledem k tomu, že kořeny rostlin v tomto systému jsou permanentně ponořené pod vodou, je nutné, aby voda přitékající do pěstební nádrže byla dostatečně mechanicky vyčištěná. Nadměrné množství nerozpuštěných látek se usazuje na kořenech rostlin, odčerpává v jejich okolí kyslík a postupně dochází k jejich uhnívání. Ve většině případů je v tomto systému potřeba dodávat velké množství chybějících živin, protože velká část z nich je odstraněna při mechanické filtraci odstraněním nerozpuštěných látek. V tomto systému je kromě mechanické filtrace potřeba přidat v akvaponické kombinaci také samostatný biofiltr, protože hydroponická část zde neposkytuje dostatečnou plochu pro nitrifikační bakterie.

3.2.7.3. Trubkové systémy (angl. Nutrient film technique, NFT)

V těchto systémech je využívána tenká vrstva na živiny bohaté vody, která obmývá kořinky rostlin (Obr. 29). Tyto systémy jsou vhodné pro bylinky, rajčata, saláty, jahody apod. V akvaponii se většinou používají trubky s plochým dnem s 1% sklonem a průtokem vody $1\text{--}2 \text{ l.min}^{-1}$. Trubky by neměly být delší než 10 m kvůli prevenci vyčerpání kyslíku kořeny. Systém je velice elegantní a poskytuje uživateli dostatečnou kontrolu nad každou rostlinou včetně jejího kořenového systému. Vzhledem k tomu, že kořeny rostlin v tomto systému jsou permanentně zaplavené nutričním roztokem, je stejně jako v raftových systémech nutné, aby

voda byla pro přípravu živného roztoku dostatečně mechanicky i biologicky vyčištěná. Ve většině případů je zde potřeba dodávat velké množství chybějících živin, protože velká část z nich je odstraněna při mechanické filtraci odstraněním nerozpuštěných látek. Nevýhodou těchto systémů je, že kvůli malému množství vody v trubkách mají malou pufrční kapacitu. Pokud není systém umístěn v dobře klimatizovaném prostoru, dochází k velkým výkyvům teploty mezi nocí a dnem.



Obr. 29. Příklady NFT systémů – Tomato fish, IGB Berlin (foto: J. Mráz); Pearson (2012).

3.2.7.4. Vertikální systémy (angl. Zip grow towers, VertiGro)

Tyto systémy využívají různé pěstební věže, ve kterých jsou rostliny umístěny vertikálně nad sebou (Obr. 30). Tímto způsobem lze zvýšit produkci rostlin až na trojnásobek ve srovnání s technikami využívajícími pouze plochy na šířku. Tyto systémy jsou vhodné především pro pěstování bylinek. Pro větší, zejména plodící rostliny (rajčata, papriky, okurky), není tento typ hydroponie vhodný. Vertikální systémy se dobře hodí i do prezentačních hal či koridorů. Pokud je hydroponická jednotka dostatečně dimenzována, může médium používané v těchto systémech sloužit zároveň i jako mechanická a biologická filtrace. Při nízkých rybích obsádkách do $50 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ nebo při dostatečném množství vertikálních věží lze mechanický a biologický filtr v akvaponické kombinaci vypustit.



Obr. 30. Příklady vertikálních systémů (Aquaponics how to, 2015; Zip grow towers, Bright Agrotech, 2015).

3.2.7.5. Systémy s kapénkovou závlahou (angl. Drip systems)

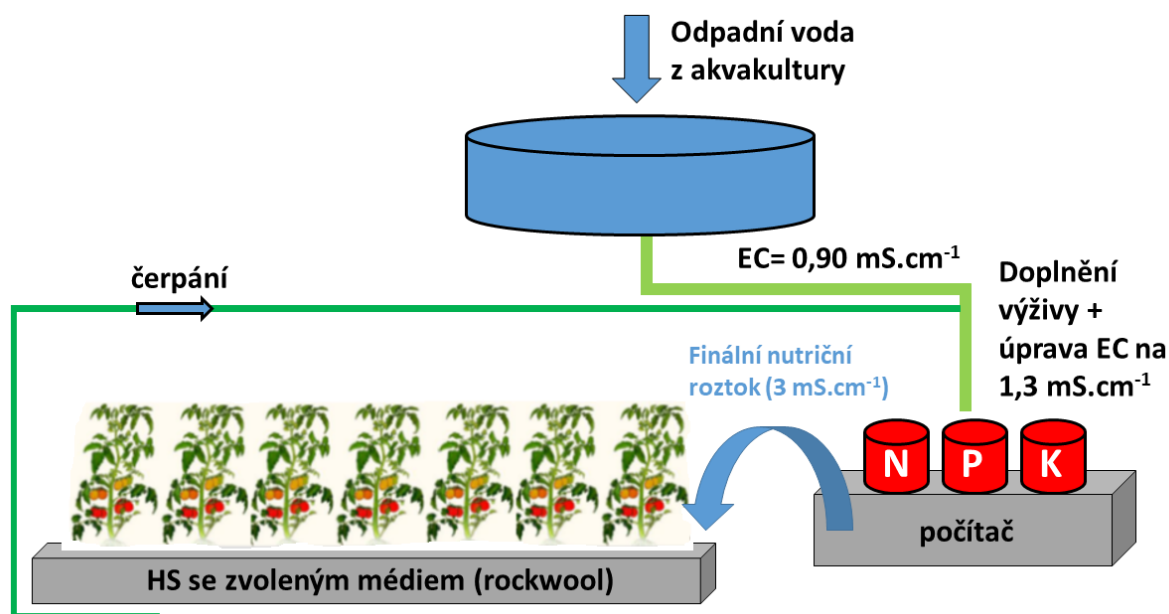
V hydroponii se jedná o jedny z nejvíce využívaných systémů pro produkci plodící zeleniny (rajčata, papriky, okurky). Rostliny jsou zakořeněné v plastových rukávcích se skelnou vatou (Rockwool, Grodan) nebo s kokosovým vláknem a pomocí tenkých hadiček je kapénkovou závlahou k jejich kořenům přiváděn živný roztok (Obr. 31). Rukávce mají ve spodní části otvory, kterými vytéká přebytečný živný roztok, jenž je posléze odváděn pomocí sběrných kanálků.

V akvaponické kombinaci je stejně jako u raftových a NFT systémů potřeba zařadit dostatečně výkonnou mechanickou filtraci. Nadměrné množství nerozpuštěných látek se v tomto systému usazuje v pěstebním médiu, odčerpává v okolí kořenů kyslík a tím postupně dochází k jejich uhnívání. Ve většině případů je v tomto systému potřeba dodávat velké množství chybějících živin, protože je podstatná část z nich odstraněna při mechanické filtraci odstraněním nerozpuštěných látek. V akvaponické kombinaci je kromě mechanické filtrace třeba přidat také biofiltr, protože hydroponická část zde neposkytuje dostatečnou plochu pro nitrifikační bakterie.



Obr. 31. Příklady systémů s kapénkovou závlahou. Vlevo – pohled na hydroponický systém pro pěstování rajčat. Vpravo – detail na rukávec a zakořeňovací kostky s pěstovanými rostlinami (foto: J. Mráz).

V případě použití těchto systémů v akvaponické kombinaci je vhodné, aby odpadní voda z RAS měla elektrokoduktivitu (EC) do $0,90 \text{ mS.cm}^{-1}$. Nižší hodnoty EC po smíchání s přebytečným hydroponickým roztokem umožňují dostatečný prostor pro přidání chybějících živin tak, aby EC výsledného živného roztoku nepřesáhla hodnotu 3 mS.cm^{-1} (Obr. 32).



Obr. 32. Schéma využití odpadní vody z RAS a zachycení přebytečné vody v akvaponickém cyklu v případě hydroponických systémů (HS) s kapénkovou závlahou (upraveno dle Bleyaert, 2016).

Udržování objemu nutričního roztoku

Rostliny z nutričního roztoku odebírají více vody než živin. Živný roztok v recirkulačních hydroponických systémech tak má přirozeně tendenci zmenšovat objem a zvyšovat koncentraci živin. Pro udržení správných podmínek pro rostliny je proto nutné objem a koncentraci živin v roztoku kontinuálně upravovat. Průměrná denní ztráta vody se pohybuje v rozsahu 5–30 % v závislosti na typu hydroponického systému, množství rostlin a výparu.

Průměrná denní potřeba a denní ztráta vody u vybraných plodin:

Rajčata: Spensley a Winsor (1978) zjistili, že za letního slunečného dne spotřebují plně plodící rajčata $1,33 \text{ l}$ vody/rostlinu/den. V průběhu dne a noci Winsor a kol. (1980) zjistili, že ztráta vody u rajčete je 15 ml /rostlinu/hodinu v noci a 134 ml /rostlinu/hodinu uprostřed slunečného letního dne.

Okurky: Adams (1980) zjistili, že spotřeba vody u okurek je zhruba dvojnásobná oproti rajčatům díky větší ploše jejich listů a činí maximálně 230 ml /rostlinu/hodinu.

Obecné pravidlo je, že při pěstování plodící zeleniny, jako jsou rajčata a okurky ve skleníku je potřeba počítat se spotřebou vody $10,8 \text{ l.m}^{-2}.\text{den}^{-1}$.

Objem chybějící vody v nutričním roztoku lze buď doplňovat do systému manuálně, nebo se v komerčních systémech do zásobní nádrže s nutričním roztokem umísťuje přívod vody spouštěný automatickým plovákovým ventilem. V akvaponickém systému se dvěma cykly se pak pomocí plovákového ventilu do systému dopouští mechanicky přečištěná odpadní voda z RAS.

Frekvence a délka zavlažování

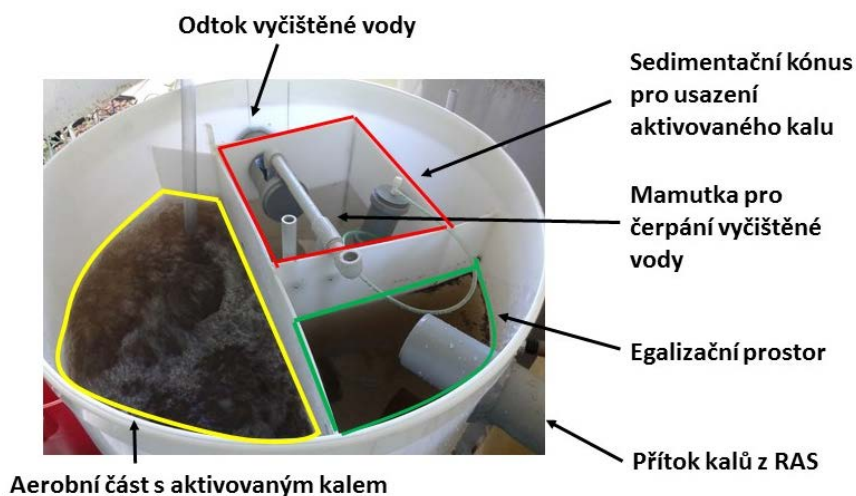
Frekvence zavlažování závisí na mnoha faktorech, jako je stadium vývoje rostliny, druh, klimatické podmínky (především světelné podmínky, délka dne, teplota) a médium. Rostliny s větší plochou listů mají větší frekvenci zavlažování, protože skrze výpar z listů rychle ztrácejí vodu. Retence vody v médiu je druhým hlavním faktorem pro rozhodnutí o frekvenci zavlažování. Jemnější média jako kokosové vlákno a rockwool zadrží více vlhkosti než hrubá média jako štěrk či hydroton.

Systémy jako je RAFT či NFT vyžadují kontinuální proudění vody. Hrubá média obvykle vyžadují zavlažování každou hodinu, zatímco u jemnějších médií je možné frekvenci zavlažování snížit až na 1–2 cykly za den. Frekvence zavlažování je důležitá proto, aby se zabránilo jakémukoliv deficitu vody u rostlin. Doba trvání zavlažování by měla být tak dlouhá, aby došlo k propláchnutí média od nahromaděných solí. U jemnějších médií je potřeba dodat živný roztok v nadbytku alespoň 20–30 %. Naopak délka období mezi cykly musí být dostatečně dlouhá, aby se zajistilo dostatečné odvodnění média a prokysličení kořenového systému.

Pro zajištění odpovídajícího zavlažování se obvykle v komerčních systémech používá senzorů vlhkosti v médiu, na jejichž základě se zavlažovací cyklus automaticky upravuje. U systémů s kapkovou závlahou se využívá speciálních kapačů, které zajišťují kontinuální průtok 2 l.hod⁻¹ prostřednictvím závlahových hadiček.

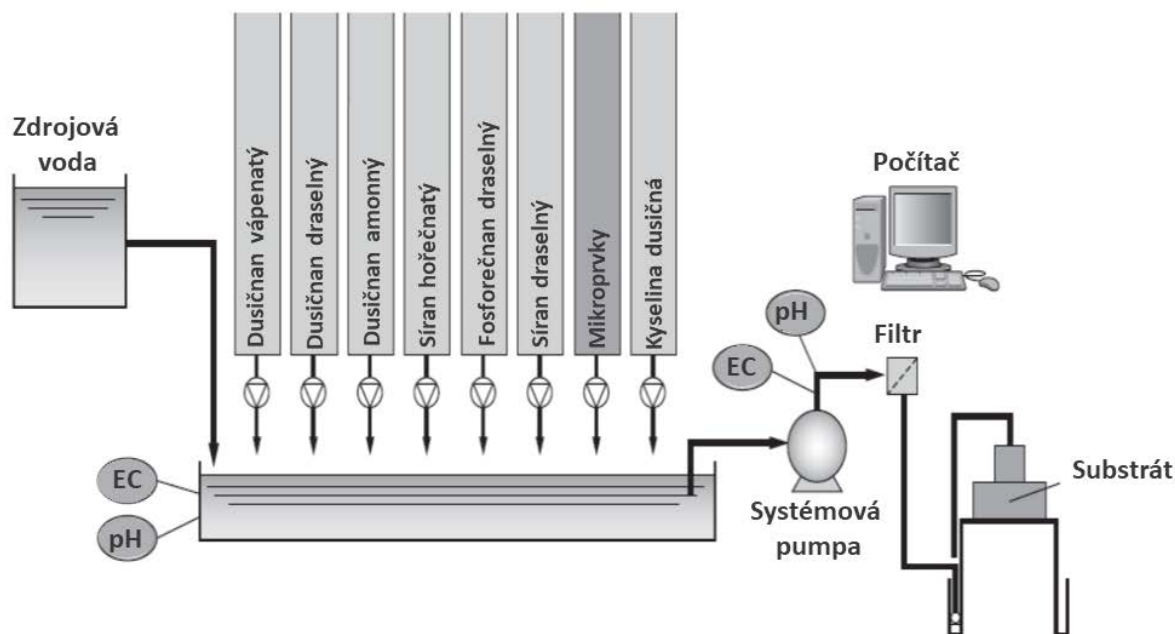
Příprava živného roztoku

Živný roztok nebo doplňování živin se v malých systémech obvykle provádí manuálně v určitých časových intervalech. Ve středních a velkých komerčních systémech se používá automatická stanice na úpravu živného roztoku. Její součástí je měřicí sensor pH a EC vody. Počítač na základě měřených dat kontinuálně doplňuje roztok na úpravu pH vody a roztoky hnojiv. U menších systémů se používá dvou nutričních roztoků A a B (míchají se až v nádrži s vodou, aby se zamezilo vzniku nerozpustných sraženin) (Obr. 33).



Obr. 33. Automatizovaná aerobní mineralizační jednotka – egalizační prostor, prostor pro naředění, mamutka, airlift pro čerpání vody pomocí vzduchování (foto: J. Mráz).

U velkých systémů se pro přípravu nutričního roztoku používá několika (cca 6) samostatných roztoků solí a roztoku s mikroprvky (Obr. 34). Díky tomu lze výživu rostlin kontinuálně upravovat tak, aby perfektně odpovídala jejich nutričním požadavkům.



Obr. 34. Pokročilý systém úpravy živného roztoku. Kromě úpravy pH pomocí kyseliny doplňuje živiny do systému z roztoků solí a směsi mikroprvků (upraveno dle Resh, 2013).

Mechanické čištění a sterilizace nutričního roztoku

U systémů NFT, RAFT a systémů s kapkovou závlahou se voda pro přípravu nutričního roztoku musí dostatečně mechanicky vyčistit, aby nedocházelo k usazování nerozpuštěných látek na kořenech rostlin či v médiu. Vzhledem k tomu, že průtoky vody v hydroponické části nejsou tak velké jako v RAS, lze volit mechanické filtry s menším průtokem a výrazně větší efektivitou odstraňování nerozpuštěných látek, jako jsou pískové, cartridge filtry nebo filtry plněné médiem (více viz kapitola 3.2.2).

U komerčních systémů se po mechanickém vyčištění recirkulované vody používá také její sterilizace pomocí UV lamp či ozónu. Jak již bylo uvedeno, průtoky v hydroponických systémech jsou obvykle výrazně nižší než v RAS a voda obvykle není tolik zatížená nerozpuštěnými látkami, a proto je použití těchto technik výrazně efektivnější než v RAS, kde se jejich účinnost díky velkému průtoku a zatížení nerozpuštěnými látkami výrazně snižuje.

Sběrná nádrž na přebytečný živný roztok

Kapacita sběrné nádrže by měla být alespoň taková, aby byla schopná pojmout denní objem živného roztoku.

3.2.8. Mineralizace nerozpuštěných látek

Akvakulturní kaly separované pomocí mechanické filtrace lze využít pro získání živin potřebných pro výživu rostlin prostřednictvím procesu mineralizace. K uvolnění živin dochází pomocí heterotrofních mikroorganismů, které rozkládají organické látky a uvolňují z nich rozpuštěné živiny. K tomuto procesu dochází přirozeně i v rámci RAS či hydroponie. Zde ale tento proces není vítaný, protože dochází k odčerpávání kyslíku a proces není optimálně kontrolovatelný. Proto je cílem co nejdříve a co nejefektivněji odstranit co největší množství nerozpuštěných látek z vody v RAS.

Pro kontrolovatelnou a řízenou mineralizaci nerozpuštěných látek se pak v akvaponii využívají mineralizační jednotky různého typu. Základním rozdělením je mineralizace anaerobní a aerobní. K anaerobní mineralizaci dochází za nepřítomnosti kyslíku a je při ní produkováno velké množství plynných produktů (dusík jako N_2 a síra jako H_2S). Nevýhodou anaerobní mineralizace je, že při ní zároveň dochází ke ztrátě části živin. Naproti tomu je aerobní mineralizace proces, kdy bakterie a mikroorganismy rozkládají nerozpuštěné rybí výkaly za přítomnosti kyslíku. Při tomto typu mineralizace nedochází k velké produkci plynných produktů a ke ztrátám živin.

Zařízení používaná pro aerobní mineralizaci mohou být poměrně levná a jednoduchá. Nejjednodušší je použít nádrž o vhodné velikosti doplněnou o aeraci. Pro optimální aerobní mineralizaci je potřeba zajistit následující podmínky: teplota vody nad $20\text{ }^\circ\text{C}$, nasycení kyslíkem 80% a více a maximální množství nerozpuštěných látek $3\ 000$ (raději $2\ 500\ \text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$). Za těchto podmínek trvá proces mineralizace cca 30 dní. V akvaponii je většinou používána kontinuální aerobní mineralizace, při které jsou na denní bázi přidávány kaly a zároveň je odebírána část vody, která je dále využívána v hydroponické části. Protože takový systém pracuje na kontinuálním přístupu, musí objem kalů, jenž je denně přidán, korespondovat s množstvím odebrané vody. Nádrž musí být dostatečně velká tak, aby byla schopná pojmout kaly po dobu nezbytnou pro dokončení mineralizace (tj. 30 až 40 dní při $20\text{ }^\circ\text{C}$).

Nejjednodušší manuální jednotka může pracovat tímto způsobem:

- Ráno při příchodu na farmu je aerace v mineralizační jednotce vypnuta.
- Po jedné až dvou hodinách, kdy se nerozpuštěné látky usadí v jednotce na dně, se shora jednotky odebere objem vyčištěné vody shodný s předpokládaným objemem kalů, které budou ten den přidány. Tato voda je dále využita v hydroponické části pro přípravu živného roztoku.
- Kaly z mechanické filtrace jsou poté přidány do mineralizační jednotky.
- Poté se opět zapne aerace a proces mineralizace pokračuje.

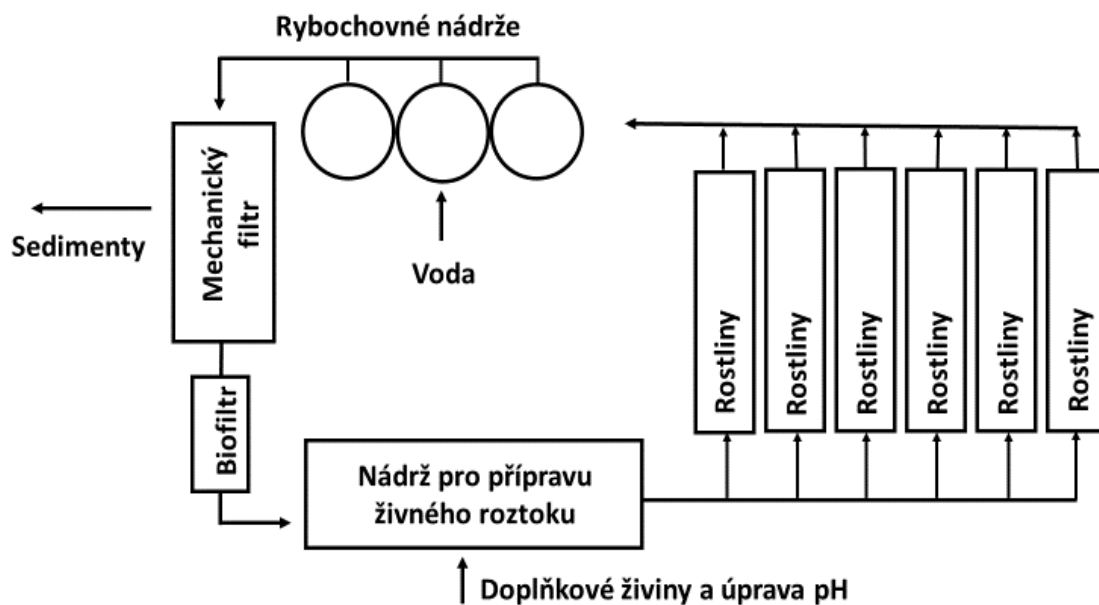
U malých akvaponických farem může být mineralizace prováděna tímto jednoduchým manuálním způsobem. U větších farem je proces automatizován.

3.3. Způsoby zapojení akvaponických systémů

Jak již bylo zmíněno, akvaponické systémy jsou kombinací RAS pro chov ryb a hydroponické části pro pěstování rostlin. Forma této kombinace bývá různá, stejně jako míra propojení těchto dvou částí. Nejjednodušší formou jsou systémy s jedním cyklem (angl. „one loop“ či „coupled aquaponics“) (Obr. 35).

V tomto akvaponickém systému je veškerá odpadní voda z rybochovné části transportována do části rostlinné a zpět. Tento systém je preferován především u menších hobby systémů. Systém je jednoduchý a má nižší pořizovací náklady.

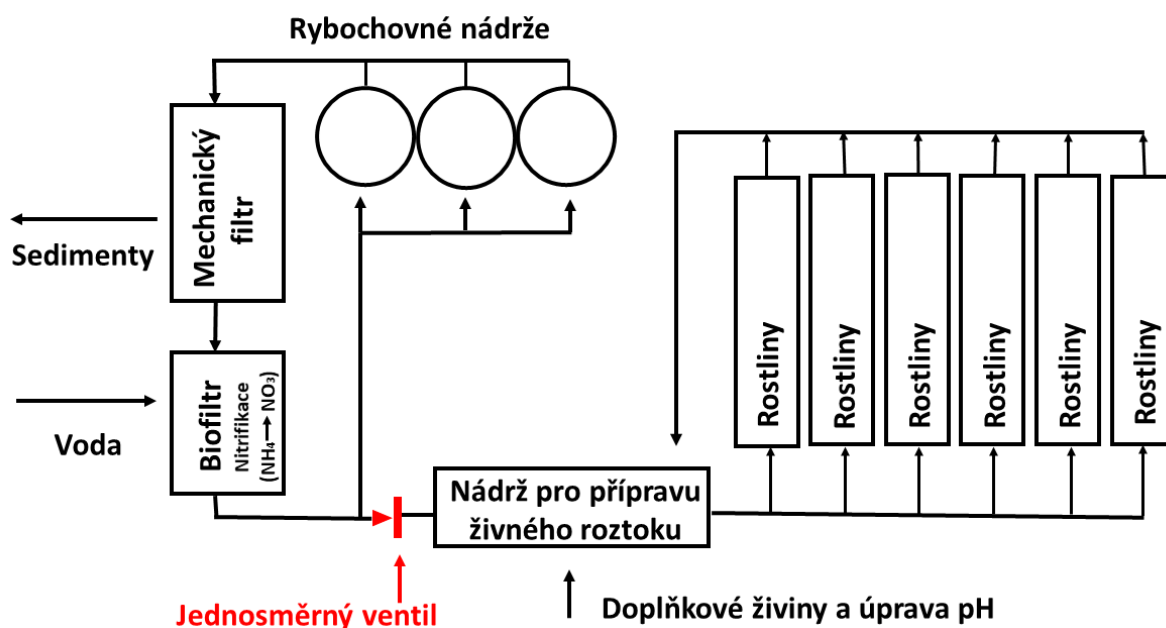
Nicméně takovýto systém se může potýkat s celou řadou problémů. Jakékoliv vstupní látky, které se do systému dostanou, ať už záměrně, nebo nahodile, mohou negativně ovlivnit veškeré části akvaponického systému (ryby, rostliny, mikroorganismy). Je také obtížné systém nastavit tak, aby vyhovoval optimálně všem jeho biologickým složkám, a proto je nutné volit kompromisní řešení. V případě výskytu škůdců či nemocí rostlin je obtížnější rostliny léčit, protože velká část léčiv a pesticidů používaných v hydroponii je toxická pro ryby nebo nitrifikační bakterie.



Obr. 35. Schéma jednoduchého akvaponického systému zapojeného v jednom okruhu (upraveno dle Kloas a kol., 2011).

Modernějším přístupem k akvaponii je systém se dvěma a více cykly (angl. „two loop“ nebo „decoupled aquaponics“). V této akvaponické kombinaci mají RAS a hydroponická část svůj samostatný okruh. To zjednodušeně znamená, že veškerá voda z akvakulturní části není transportována přes rostlinnou část a zpět, ale rybochovná část má svůj malý okruh vody, který je doplněn o mechanické a biologické filtry zajišťující odstranění nežádoucích látek a metabolitů. Odpadní voda či kaly pak mohou být směrovány pomocí jednocestných ventilů do jiných systémů (rostlinná hydroponická část, bioflok, vermikompost) (Obr. 36).

Tento typ zapojení s sebou nese vyšší pořizovací náklady, ale zároveň poskytuje uživateli lepší kontrolu nad každým jednotlivým subsystémem. Systém je snadnější optimalizovat pro každou jeho část a dosáhnout tak plánovaných výnosů. V případě potřeby je zde jednodušší použití léčiv, pesticidů a dalších látek. Pokud je to nutné, lze jednotlivé systémy provozovat samostatně. Pokud se například v zimním období neprovozuje hydroponická část, lze nadále provozovat samostatně RAS pro chov ryb. V tomto systému se do hydroponické části pouze přepouští část nebo všechna odpadní voda z rybochovné části, která je bohatá na dusík. Pro komerční pěstování rostlin však tato voda postrádá některé živiny pro pokrytí nutričních požadavků rostlin a nemá také vyhovující hodnotu pH a EC. Díky oddělení RAS a hydroponie ale můžeme odpadní vodu z RAS upravit přesně dle požadavků pro rostliny bez významného ohrožení rybochovné části systému.



Obr. 36. Schéma moderního akvaponického systému se dvěma samostatnými okruhy. RAS má svůj vlastní okruh, odpadní voda je přepouštěna jednosměrným ventilem do nutriční nádrže v hydroponickém okruhu. Oba systémy lze podle potřeby provozovat buď samostatně, nebo v akvaponické kombinaci (upraveno dle Kloas a kol., 2011).

3.4. Výpočty dimenzí jednotlivých částí

3.4.1. Kalkulace obsádky, krmení a objemu chovných nádrží

Velikost rybí obsádky (biomasy) určujeme jako celkové množství ryb v systému. Podle doporučeného množství ryb (kg) na objem vody (m^3) určujeme hustotu obsádky. Tento parametr se liší podle druhu a velikosti chovaných ryb. V Tab. 4 je uvedena maximální doporučená hustota obsádky v závislosti na druhu ryby ($kg \cdot m^{-3}$). Z údaje celkové finální biomasy ryb v systému a požadované tržní velikosti můžeme vypočítat množství ryb v kusech. Z hodnot maximální biomasy ryb, krmné dávky a obsahu proteinu v krmivu jsme schopni kalkulovat maximální zatížení systému živinami a následně vypočítat kapacitu ostatních částí RAS.

Tab. 4. Doporučená finální hustota rybí obsádky a běžně dosahované produkční výsledky u jednotlivých druhů ryb od kategorie násady po tržní ryby.

Druh ryby	Biomasa (kg.m ⁻³)	FCR (krmný koeficient)	Přežití (%)	Tržní velikost (g)	Doba růstu (měsíc)
Pstruh duhový ¹	70–90	0,9–1,1	90	250–300	5–7
Tlamoun nilský ²	60–120	1,4–1,8	75–90	300–1000	4–6
Keříčkovec červenolemý ³	250–400	0,8–1,2	80–95	800 a více	6–8
Candát obecný ⁴	30–80	1–1,3	50–80	500 a více	12–15
Okoun říční ⁵	30–70	1,2–1,4	85–95	150–500	12–14

*Produkční výsledky v tabulce indikují hodnoty pro odchov tržních ryb (počítají s násadou 10–20 g jako vstupním materiálem). ¹Kouřil a kol. (2008); ²DeLong a kol. (2009); ³Kouřil a kol. (2012); ⁴FAO (2017); ⁵Polícar a kol. (2015) a Toner (2015).

Příklad: V akvaponickém systému jsou čtyři kruhové odchovné nádrže o celkovém objemu 4 m³. Hodláme zakoupit tlamouny nilské o průměrné kusové hmotnosti 40 g. Na základě doporučených hodnot (Tab. 4) jsme se rozhodli pro finální obsádku tržních ryb 50 kg.m⁻³. Finální biomasa v systému je tedy 4 × 50 = 200 kg. Při požadované tržní hmotnosti 500 g bude pro tuto biomasu potřeba 200 / 0,5 = 400 kusů ryb. K této hodnotě přidáme 5 % na ztráty a nakoupíme pro nasazení systému 400 × 1,05 = 420 kusů násady o průměrné kusové hmotnosti 40 g a počáteční biomase 420 × 40 / 1000 = 16,8 kg.

Nyní již víme, že naše počáteční obsádka činí 16,8 kg. Následně je ryby nutné každý den pravidelně krmit v časových intervalech. Denní krmnou dávku (DKD) určujeme podle hmotnosti ryb a teploty vody. Většina výrobců kompletních krmných směsí zpravidla zveřejňuje závislost doporučené DKD na průměrné hmotnosti ryby a teplotě vody. Při obsádce 16,8 kg doporučíme pozvolna začínat s DKD 3,5 %. To znamená, že ryby budeme krmit 3,5% krmnou dávkou z 16,8 kg (588 g krmiva denně). DKD vyjádřená v procentech se bude v průběhu odchovu snižovat, nicméně celkové množství krmiva aplikované do systému se bude zvyšovat, jelikož bude hmotnost ryb a celková biomasa stoupat. V intenzivním chovu se běžně používá DKD 1,5 % pro ryby o hmotnosti 500 g. Na konci výkrmu bude DKD 200 kg / 100 × 1,5 = 3 kg.

Krmný koeficient (KK) nebo angl. *feed conversion ratio* (FCR) je v intenzivní akvakultuře velice důležitý údaj. Tento koeficient nám udává předpokládané množství krmiva (kg), kterým je nutné nakrmit rybu, aby dosáhla přírůstku 1 kg. Koeficient se liší dle druhu a velikosti ryb, ale z předešlých údajů je logické, že čím je FCR nižší (< 1), tím je krmivo využito lépe. Nicméně z pohledu ekonomické efektivity tomu tak nemusí nutně být a do výpočtu je potřeba zahrnout i cenu krmiva.

V našem příkladu počítáme s tím, že ryby vyrostou z počátečních 16,8 kg na 200 kg. Celkový přírůstek bude činit 200 – 16,8 = 183,2 kg. Krmné směsi pro chov ryb v intenzivní akvakultuře mají běžnou hodnotu FCR kolem 1. V našem případě by byla celková spotřeba krmiva 183,2 kg.

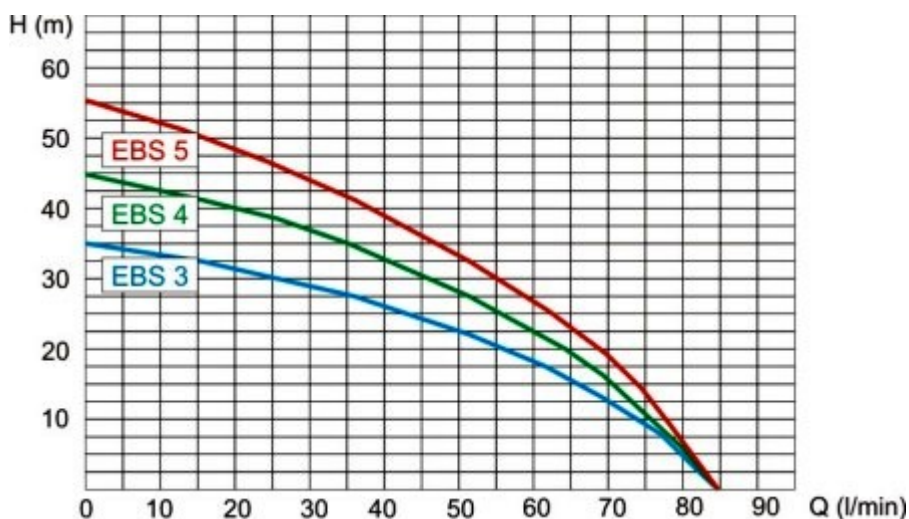
Krmný koeficient používáme pro předpokládané kalkulace úseků chovného systému (množství krmiva a odpadu, velikost a výkon mechanického filtru, velikost biofiltru).

Při plánování kapacity systému budeme uvažovat s tím, že předpokládaný nerozpuštěný odpad z 1 kg krmiva je 25 %. Při maximální DKD 3 kg budou nerozpuštěné látky, které opouští chovné nádrže během jednoho dne tvořit 3 000 × 0,25 = 750 g.

3.4.2. Kalkulace průtoku, výměny vody a výkonu čerpadel

Průtok vody přes rybochovnou nádrž je závislý na hustotě rybí obsádky, která je v nádrži chována a na jejich nárocích na proudění vody. Pro nízké hustoty (do 15 kg.m^{-3}) je doporučena minimální výměna $\frac{1}{2}$ objemu nádrže za hodinu (obecně je výměna $\frac{3}{4}$ objemu nádrže za hodinu lepší). Při střední hustotě obsádky $35\text{--}50 \text{ kg.m}^{-3}$ se doporučuje minimální obměna celého objemu nádrže za hodinu a při vysokých obsádkách nad 50 kg.m^{-3} se doporučuje obměna celého objemu nádrže 2x za hodinu.

Pohyb vody v systému je nejčastěji zajišťován pomocí ponorných čerpadel, externích čerpadel či airliftů. Při výběru čerpadla je nutné vzít v úvahu kromě požadované výměny vody v nádržích také výšku, do které je potřeba vodu čerpat. S rostoucí výškou totiž klesá výkonnost čerpadel. Při výběru čerpadla je proto potřeba se podívat na jeho křivku průtoku při různé výšce čerpání a podle požadované výšky čerpání jeho maximální průtok snížit (Obr. 37). Pro přibližný výpočet spotřeby energie lze použít jednoduchý výpočet, kdy u ponorných čerpadel je potřeba na každých 40–80 litrů vody za hodinu potřeba jedné watt hodiny. Např. pokud je požadovaný průtok čerpadla $3\,000 \text{ l.h}^{-1}$, bude jeho příkon 37,5–75 wattů.



Obr. 37. Křivky průtoku vody v závislosti na výšce výtlaku a typu čerpadla; H – výška čerpání, Q – průtok, EBS 3-5 jsou typy čerpadel (e-cerpadla.cz, 2017).

Dále je potřeba správně zvolit vhodný rozměr potrubí. Tabulka 5 ukazuje maximální průtok vody potrubím v závislosti na jeho průměru. Pokud je např. požadováno, aby byl minimální průtok vody potrubím $1\,500 \text{ l.h}^{-1}$, je nutné zvolit průměr potrubí minimálně 1", což odpovídá vnitřnímu průměru potrubí 25 mm. Pokud je požadavek na minimální průtok potrubím $3\,000 \text{ l.h}^{-1}$, je nutné zvolit již průměr potrubí 1 ¼", to odpovídá vnitřnímu průměru potrubí 32 mm.

Tab. 5. Maximální průtok vody potrubím ($m^3 \cdot h^{-1}$) v závislosti na jeho vnitřním průměru (e-čerpadla.cz, 2017).

Vnitřní průměr (mm)	Couly	Max. průtok ($m^3 \cdot h^{-1}$)
15	½"	0,53
20	¾"	1,1
25	1"	1,9
32	1 ¼"	3,7
40	1 ½"	6,5
50	2"	11,0
65	2 ½"	22,0
80	3"	37,0

Při návrhu designu rozvodů vody je dále potřeba si uvědomit, že výkonnost čerpadla je snížena každým připojením trubek zhruba o 5 %. Z toho důvodu je optimální, aby mezi čerpadlem a přívodem vody do nádrže bylo minimum přípojek a kolen.

3.4.3. Kalkulace aerace vody

Většina dodavatelů pro akvakulturu poskytuje dokumentaci k jejich aeračním systémům s doporučením potřebných průtoků vzduchu. Například firma AquaticEco ve svém katalogu vzduchovacích difuzérů udává hodnotu hmotnosti chovaných ryb, pro kterou je difuzér vhodný. Například difuzér se středními póry typu AS15L 6" je schopen dodat dostatek vzduchu pro 6,3 kg. Jedná se o obecné doporučení a bylo kalkulováno pro tržního tlamouna nilského v nulové nadmořské výšce při teplotě vody 22–25 °C s dostatečnou rezervou.

Příklad: Pokud plánujeme systém s maximální obsádkou 57 kg ryb, potřebujeme $57 / 6,3 = 9$ difuzérů tohoto typu. Při tomto výkonu potřebuje každý difuzér průtok vzduchu $14 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$, tak bychom potřebovali vzduchové čerpadlo o výkonu minimálně $9 \times 14 = 126 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$ při umístění difuzérů v hloubce 1 m. Na každých 300 metrů nadmořské výšky se požadavek na vzduch zvyšuje o 4 %. Například pokud je náš systém v 450 m n. m. musíme k výkonu připočítat 6 % ($9 \times 1,06 = 9,54$ čili 10 difuzérů).

Pro přesnější kalkulaci kapacity aerace lze postupovat následovně:

Tato kalkulace vychází z níže uvedených předpokladů:

- v normálním vzduchu je 21 % kyslíku
- v jednom metru krychlovém je 1,2 kg vzduchu
- na hmotnost je v litru vzduchu 23 % kyslíku (je těžší než ostatní plyny)
- standardizovaná účinnost přenosu kyslíku (angl. *Standard oxygen transfer efficiency*, SOTE) pro 6" vzduchovací kámen je 5 % na 1 m hloubky
- skutečná efektivita přenosu kyslíku (angl. *Field transfer efficiency*, FTE) – skutečná efektivita přenosu na základě koncentrace kyslíku ve vodě, teplotě a salinitě. Předpokládáme, že voda má teplotu 20–25 °C a koncentrace kyslíku je $4 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$, z čehož vyplývá FTE přibližně 0,5 (Tab. 6).

Většina komerčních aerátorů je testována na SOTE, nicméně jedná se o maximální výkon, který může být v reálných podmínkách obtížně dosažen. Přenos kyslíku je závislý na koncentraci kyslíku v aerované vodě a její teplotě. Aerátor by dosáhl deklarovaného výkonu SOTE pouze v případě, kdy by byla koncentrace kyslíku v aerované vodě 0 mg.l⁻¹. Pomocí Tab. 6 lze vypočítat, jaký bude skutečný přenos kyslíku při určité teplotě vody a koncentraci kyslíku v ní.

Příklad: Jestliže je teplota vody 20 °C, koncentrace kyslíku 5 mg.l⁻¹ a deklarovaná hodnota SOTE aerátoru 5 % O₂ na 1 metr hloubky dodá ve skutečnosti pouze 0,05 × 0,41 = 0,0205 % O₂ na 1 metr hloubky.

Tab. 6. Skutečná efektivita přenosu kyslíku (FTE) v % SOTE v závislosti na teplotě vody a koncentraci rozpuštěného kyslíku v aerované vodě (upraveno dle AquaticEco, 2017).

Koncentrace rozpuštěného kyslíku v aerované vodě mg.l ⁻¹	10 °C	15 °C	20 °C	25 °C	30 °C
0	89	90	91	92	96
1	82	82	82	82	82
2	75	73	72	72	67
3	67	64	62	58	56
4	58	55	51	47	44
5	52	46	41	35	31
6	41	36	30	24	17
7	34	27	19	10	3
8	25	17	8	2	0
9	17	8	0	0	0
10	9	0	0	0	0

Budeme kalkulovat aeraci systému s poměrem 0,5 kg O₂ na 1 kg krmiva, s chovnou nádrží o objemu 1 000 l a hustotou obsádky 30 g.l⁻¹, tj. celkovou obsádku 30 kg. Předpokládáme, že ryby budou krmeny denní krmnou dávkou 2 % hmotnosti obsádky tj. 600 g krmiva na den. Z toho vyplývá, že do systému bude potřeba dodat 300 g O₂ denně (**300 / 24 = 12,5 g O₂.h⁻¹**). Pokud bychom počítali s poměrem 1 kg O₂ na 1 kg krmiva, tak budeme do systému potřebovat dodat 600 g O₂.den⁻¹ (600 / 24 = 25 g O₂.h⁻¹).

Dále budeme kalkulovat, jaký je vnos kyslíku za použití vybraného difuzéru. Vzorec výpočtu pro vnos kyslíku difuzérem do vody je následující:

$$Q (m^3.h^{-1}) \times kg \text{ vzduchu}.m^{-3} \times kg \text{ O}_2.kg \text{ vzduchu}^{-1} \times (SOTE \text{ v } \% \times \text{hloubka v m}) \times FTE = kg \text{ O}_2.h^{-1}$$

Q (průtok vzduchu difuzérem; m³.h⁻¹) = 1 m³.h⁻¹ (při použití 6" difuzéru se středními póry od AquaticEco). V jednom m³ vzduchu je 1,2 kg vzduchu. V 1 kg vzduchu je obsaženo 0,23 kg kyslíku.

SOTE = 0,05 (tj. 5 % na 1 m hloubky)

Hloubka = 1 m (předpoklad standardního IBC kontejneru nebo typické kruhové nádrže)

FTE = 0,5 (50% účinnost přenosu do aerované vody)

Po dosažení hodnot do vzorce:

$$1 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \times 1,2 \text{ kg vzduchu} \cdot \text{m}^{-3} \times 0,23 \text{ kg O}_2 \cdot \text{kg vzduchu}^{-1} \times (0,05 \times 1) \times 0,5 = \mathbf{0,0069 \text{ kg O}_2 \cdot \text{h}^{-1}},$$

což odpovídá **6,9 g O₂·h⁻¹**

Poté vydělíme požadavky na kyslík v našem modelovém systému množstvím kyslíku produkovaným každým z difuzérů a zjistíme tak, kolik jich do našeho systému bude potřeba použít.

$$\mathbf{12,5 \text{ g O}_2 \cdot \text{h}^{-1} / 6,9 \text{ g O}_2 \cdot \text{difuzér}^{-1} = 1,81 \text{ difuzérů v nulové nadmořské výšce}}$$

Při nadmořské výšce 450 m n. m. s 4% ztrátou na každých 300 m n. m. je potřeba navíc 6 %. Tedy $1,81 \text{ difuzérů} \times 1,06 = 1,92 \text{ difuzérů}$ – zaokrouhlíme na **2 difuzéry pro systém ve 450 m n. m.**

Jestliže zvolíme počet difuzérů 2 a každý z nich využívá průtok vzduchu $1 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$, tak je potřeba zvolit vzduchovací čerpadlo, které produkuje minimálně $1 \times 2 = 2 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ **v hloubce 1 m.**

Při kalkulaci aerace je nutné si také uvědomit, jaká je hodnota rozpuštěného kyslíku ve vodě při 100% nasycení při různých teplotách. Rozpustnost kyslíku ve vodě totiž klesá se stoupající teplotou, jak dokládá Tab. 7. Pokud budeme používat k dodání kyslíku aeraci vzduchem (ne čistý kyslík), nemůžeme hodnotu 100% nasycení kyslíku při dané teplotě překonat. Pokud budeme například aerovat vodu o teplotě 30 °C, nemůžeme dosáhnout aerací vyšší hodnoty, než je 7,5 mg O₂·l⁻¹.

Tab. 7. 100% nasycenost vody kyslíkem při různé teplotě (upraveno dle Stout, 2013).

Teplota vody (°C)	Rozpuštěný kyslík (mg·l ⁻¹)
5	12,8
10	11,3
15	10,1
20	9,1
25	8,2
30	7,5
35	6,9

3.4.4. Kalkulace mechanické filtrace

Průtok mechanickým filtrem se kapacitně nastavuje podle průtoku vody vystupující z nádrží. V Tab. 8 je porovnání hlavních charakteristik různých typů mechanických filtrů, jejich hlavních výhod a nevýhod a orientační cena při různých výkonech.

Tab. 8. Porovnání různých mechanických filtrů (upraveno dle Thorarinsdottir, 2015).

Typ	Průtok vody $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$	Provozní tlak (PSI)	Cena (EUR)	Pozitiva	Negativa
Clarifier	5	atmosférický	1 000	Minimální údržba, bez elektřiny, pouze vypouštění kalů	Malý průtok vody v porovnání s alternativami, efektivně odstraňuje pouze částice nad $90 \mu\text{m}$
Vortex	17–34	atmosférický	1 200	Minimální údržba, bez elektřiny, pouze vypouštění kalů	Malý průtok vody v porovnání s alternativami, efektivně odstraňuje pouze částice nad $90 \mu\text{m}$
Kuličkový filtr	10 23 45 68	10 20	3 000 8 050 12 000 20 000	Jednoduchý provoz, malá plocha, vhodný pro malé a střední farmy.	Potřeba údržby a elektřiny, obnova filtračního média, potřeba vody na proplachování
Pískový filtr	10 22	30–50	700 1 200	Jednoduchý provoz, malá plocha, vhodný pro malé a střední farmy	Potřeba elektřiny na čerpání, nepraktické na organický odpad, dochází k ucpávání, frekventované proplachování
Bubnový filtr	30 90 140	atmosférický	5 200 7 000 9 000	Efektivní pro velké farmy, pohyb vody zajišťován gravitací	Potřeba elektřiny, údržba, výměna mikrosít, množství oplachové vody

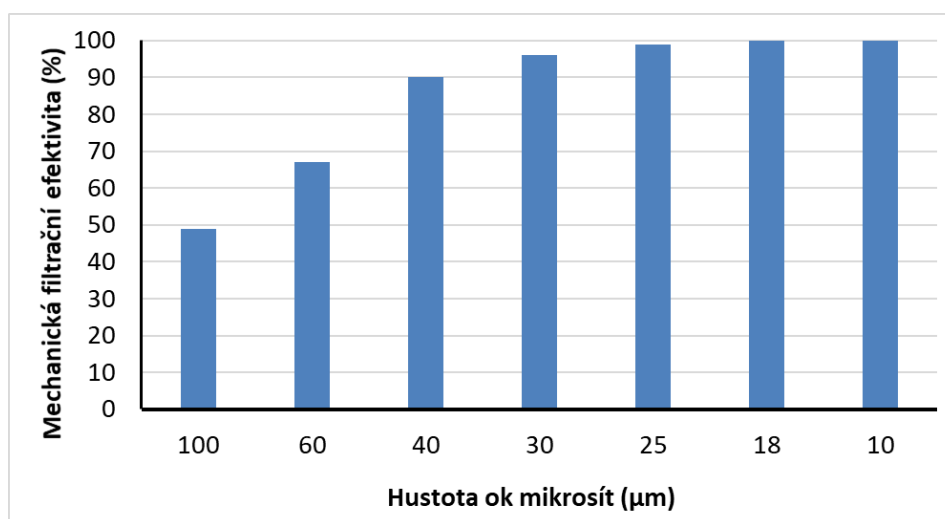
Bubnový filtr

Bubnové filtry se obvykle dodávají s hustotou ok mikrosít 100, 60, 40, 30, 25, 18 a $10 \mu\text{m}$. Výběr hustoty ok mikrosít výrazně ovlivňuje efektivitu odstraňování nerozpuštěných látek (čím hustější mikrosíto je, tím větší je procento odstraněných nerozpuštěných látek; Obr. 38) a zároveň kapacitu průtoku vody filtrem (čím je mikrosíto hustější, tím je nižší kapacita průtoku filtrem; Tab. 9 a Obr. 39).

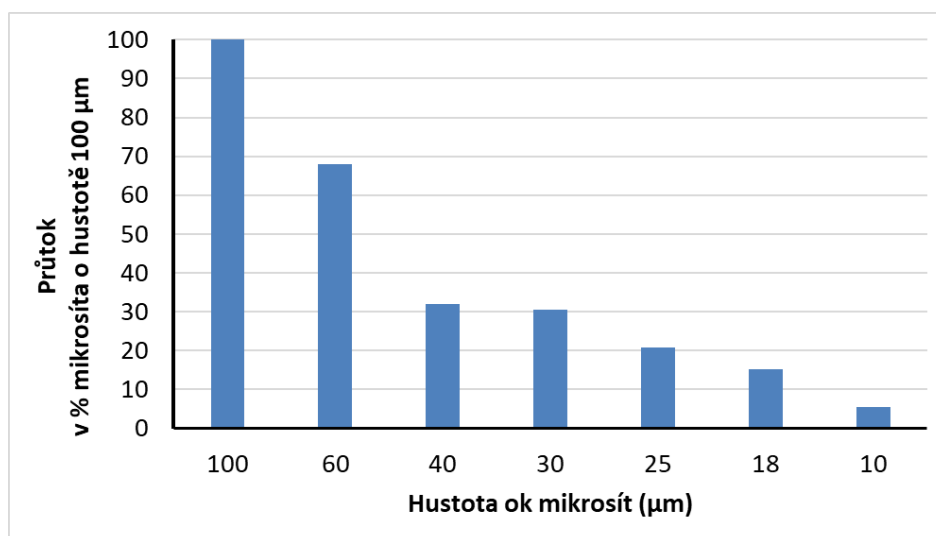
Při výběru bubnového filtru je potřeba si ujasnit, jaký je požadovaný minimální průtok vody filtrem a jaká je požadovaná efektivita čištění. Nejprve je třeba určit správnou velikost filtru pro požadovaný systém. To je možné určit na základě Tab. 9 a požadovaného průtoku vody systémem. Pokud víme, že je např. požadován průtok vody bubnovým filtrem $24 \text{l} \cdot \text{s}^{-1}$, můžeme z Tab. 9 určit, který filtr bude mít požadovanou kapacitu při použité hustotě ok mikrosít.

Tab. 9. Kapacita průtoku ($l \cdot s^{-1}$) bubnovým filtrem při použití různé hustoty ok mikrosít (Dolan a kol., 2011).

Hustota mikrosíta (μm)	Filtr A	Filtr B	Filtr C	Filtr D
10	6	12	18	24
18	18	36	54	72
25	23	45	68	91
30	30	60	90	120
40	36	72	108	144
60	45	90	135	180
100	54	108	162	216



Obr. 38. Efektivita mechanické filtrace mikrosít v procentech (upraveno dle Dolan a kol., 2011).



Obr. 39. Snižování průtoku (v procentech průtoku mikrosítem o hustotě 100 μm) mikrosíty při zvyšující se hustotě ok (upraveno dle Dolan a kol., 2011).

Výpočet potřebné filtrační plochy mikrosít a mechanické efektivity:

Jako vstupní hodnotu je potřeba nejprve určit kapacitu průtoku mikrosítem. Ta je maximální v okamžiku těsně po jeho propláchnutí tryskami, kdy jej neucpává žádný materiál. Jak se postupně ucpává odfiltrovanými nerozpuštěnými látkami, dochází ke snižování jeho kapacity. Pro výpočet potřebné plochy mikrosít požadované pro průtok vody systémem lze využít následujícího vzorce:

$$\text{Výpočet plochy mikrosít (Dolan a kol., 2011): } A_p = \frac{Q_p}{Q_t} \times A_t$$

A_p = plocha požadovaná pro průtok v systému (m^2)

Q_p = průtok v systému ($l \cdot \text{min}^{-1}$)

Q_t = maximální průtok mikrosítem ($l \cdot \text{min}^{-1}$)

A_t = plocha testovacího mikrosíta (m^2)

Jedná se o minimální plochu mikrosít požadovanou pro průtok vody v systému. Postupným ucpáváním sít dochází ke snižování průtoku, a tak je potřeba volit plochu mikrosít větší s dostatečnou rezervou.

3.4.5. Kalkulace kapacity biofiltru

Při kalkulaci potřebné kapacity biofiltru vycházíme z množství a složení (% proteinu) používaného krmiva. Tyto údaje nám pomohou správně vyhodnotit velikost biofiltru potřebného k přeměně celkového amoniakálního dusíku na dusičnany.

Nejprve je potřeba vypočítat množství vzniklého amoniakálního dusíku při maximální krmné dávce. To lze vypočítat následovně:

Výpočet produkce amoniaku z krmiva (Somerville a kol., 2014):

Amoniak je vedlejší produkt metabolismu proteinů. Jeho obsah ve vodě závisí na různých faktorech, jako je množství a kvalita proteinu v krmivu, jeho stravitelnost, druh ryby, teplota či odstraňování nerozpuštěných látek ze systému. Obecně je zhruba 30 % proteinu z krmiva zadrženo v rybím těle. Zbývajících 70 % proteinu z krmiva je rybou vyloučeno: 15 % je nestráveno a odchází jako výkaly a nestrávené krmivo. Zbýlých 55 % je vyloučeno ve formě amoniaku nebo produktů lehce degradovatelných na amoniak. Další cca 6 % dusíku z nerozpuštěných látek je do systému uvolněno jako amoniak. Celkem je tak 61 % dusíku z proteinů vyloučeno do vody ve formě amoniaku.

Příklad: Obsádka 20 kg ryb je krmena 1% denní krmnou dávkou (200 g krmiva). Nejprve se vypočte množství dusíku v krmivu. V našem případě krmivo obsahuje 32 % proteinu. To při krmné dávce 200 g odpovídá 64 g proteinu, který v průměru obsahuje 16 % dusíku. To v našem případě odpovídá 10,24 g dusíku v krmivu za den. Dále se předpokládá, že zhruba 61 % dusíku je z krmiva přeměněno na amoniak. To v našem případě odpovídá 6,24 g dusíku, jenž je vázán v amoniakální formě. Na každý gram odpadního dusíku je produkováno 1,2 g amoniaku, což v našem případě odpovídá 7,5 g amoniaku. Tento výpočet lze shrnout následujícím vzorcem:

Výpočet produkce amoniaku z množství zkrmeného krmiva:

$$200 \text{ g krmiva} \times \frac{32 \text{ g proteinu}}{100 \text{ g krmiva}} \times \frac{16 \text{ g dusíku}}{100 \text{ g proteinu}} \times \frac{61 \text{ g vyloučeného dusíku}}{100 \text{ g celkového dusíku}} \times \frac{1,2 \text{ g NH}_3}{1 \text{ g dusíku}} = 7,5 \text{ g NH}_3$$

Výpočet množství biofiltračního média potřebného pro nitrifikaci:

Rychlost odstraňování amoniaku nitrifikačními bakteriemi je $0,2\text{--}2 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{den}^{-1}$. Jeho rychlost je závislá na designu biofiltru, množství vody, teplotě (nejlepší $> 20 \text{ }^\circ\text{C}$) salinitě, pH, kyslíku, množství nerozpuštěných látek. Pro zjednodušení výpočtu je uvažováno s konzervativní rychlostí $0,57 \text{ g amoniaku}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{den}^{-1}$. Pokud použijeme již zmíněný příklad s 200 g krmiva a výsledným množstvím amoniaku 7,5 g za den, je potřeba poskytnout minimální plochu pro nitrifikační bakterie $13,3 \text{ m}^2$ dle následujícího vzorce:

Výpočet potřebné plochy pro nitrifikační bakterie:

$$7,5 \text{ g amoniaku} \times \frac{1 \text{ m}^2}{0,57 \text{ g amoniaku}} = 13,3 \text{ m}^2$$

Plocha pro nitrifikační bakterie může být poskytnuta z různých materiálů se specifickou plochou povrchu (angl. *Specific Surface Area, SSA*), která se udává jako povrch na jednotku objemu ($\text{m}^2\cdot\text{m}^{-3}$). Specifická plocha povrchu u materiálů používaných v akvakaponii je uvedena v Tab. 10 a u komerčně vyráběných bioelementů v Tab. 11.

Pokud například použijeme SSA vulkanického štěrku $300 \text{ m}^2\cdot\text{m}^{-3}$, je na poskytnutí $13,3 \text{ m}^2$ povrchu potřeba 44,3 l tohoto materiálu.

Vzorec pro výpočet objemu bioelementů pro dosažené požadované plochy pro nitrifikaci:

$$13,3 \text{ m}^2 \times \frac{1 \text{ m}^3}{300 \text{ m}^2} = 0,0443 \text{ m}^3 = 44,3 \text{ l}$$

Tab. 10. Orientační specifická plocha povrchu různých biofiltračních médií včetně vypočítané konverze amoniaku z denní krmné dávky za předpokladu krmiva s 32 % proteinu (upraveno dle Somerville a kol., 2014).

Typ média	Specifická plocha povrchu ($\text{m}^2\cdot\text{m}^{-3}$)	Kapacita pro metabolizování krmiva (g krmiva)	Požadovaný objem média (l) na 100 g krmiva
Hrubý písek (0,6–0,8 mm)	5 000	75	1,3
Perličková filtrace	1 400	21	4,8
Bio balls	600	9	11,1
Pěna	400	6	16,7
Vláknitá matrace	300–400	4,5–6	16,7–22,2
Vulkanický štěrk	300	4,5	22,2
Expandované kuličky jílu	200–250	3–3,8	26,7–33,3
Hrubý štěrk	150	2,3	44,4

Je možné využití různých materiálů, pokud je dodržena minimální plocha potřebná pro nitrifikační bakterie. Nicméně je potřeba zmínit, že materiály s velmi velkou specifickou plochou povrchu, jako je např. písek, mají vyšší riziko zacpání nerozpuštěnými látkami, které se v systému vždy vyskytují.

V případě média *bed* akvaponických systémů obvykle množství média používaného pro růst rostlin násobně přesahuje minimální množství potřebné pro nitrifikaci.

Díky tomu je systém robustní a dokáže zvládnout i situace, kdy je nitrifikační schopnost snížena.

Tab. 11. Informace o různých typech bioelementů od firmy RAZ-Aqua & Polymer Technik (Německo).

Typ média	Rozměry (mm)	Povrch (m ² .m ⁻³)	Objemové množství (ks.m ⁻³)	Cena (Kč.l ⁻¹)
BT 10	12 × 10	1180	650 000	16,57
BT 20	20 × 20	640	130 000	13,77
BT 30	30 × 25	370	50 000	10,45

3.4.6. Kalkulace kapacity ohřevu vody

V malých systémech je možné využívat jednoduchá akvarijní topítka. Pro snadnou orientaci při výběru kapacity topítka lze použít poučku, že na ohřev 1 litru vody je potřeba zhruba 1 wattu výkonu. Pro ohřev 500litrové nádrže bude potřeba topítek o výkonu 500 wattů. Ideální je použít raději více topítek s menším výkonem než jedno s velkým. V případě, že by došlo k jeho poruše, budou zbývající topítka dodávat alespoň nějaké teplo.

Pro přesnější výpočty topení vycházíme z následujících výpočtů: 1 kalorie je množství energie, které je zapotřebí k ohřevu 1 g vody ze 14,5 °C na 15,5 °C za podmínek normálního atmosférického tlaku. Byla nahrazena jednotkou joule, který patří do jednotkové soustavy SI, poněvadž teplo je veličina stejné podstaty jako energie (práce). V příkladu budeme počítat s jouly. Mezi jednotkami platí převodní vztah:

$$1 \text{ cal} = 4,1868 \text{ J, tj. } 1 \text{ kcal} = 4\,186,8 \text{ J}$$

$$1 \text{ kJ} \approx 0,2778 \text{ Wh}$$

$$1 \text{ kWh} = 3\,600 \text{ kJ} \approx 859,845 \text{ kcal}$$

Výpočet tepla a energie (Lepil, 1999):

Teplo je fyzikální veličinou popisující změnu termodynamického stavu, může být tělesem přijaté nebo odevzdané. Celkové teplo Q (J) je přímo úměrné hmotnosti m materiálu absorbujícího teplo (kg), rozdílu počáteční a konečné teploty ΔT (K) a měrné tepelné kapacitě látky c (J.kg⁻¹.K⁻¹), z níž je těleso vyrobeno.

$$Q = c \times m \times \Delta T$$

Příklad: Elektrické topítko má příkon 600 W, ohřívá 1 000 litrů vody z 20 °C na teplotu 22 °C. Otázka zní, kolik tepla a kolik energie je třeba dodat? Ze zadání příkladu známe hmotnost (m) vody (1 litr vody = 1 kg), počáteční teplotu T1 a konečnou teplotu T2. Měrnou tepelnou kapacitu vody c nalezneme ve fyzikálních tabulkách.

$$m = 1\,000\text{ kg}; c = 4\,186,8\text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1} = 1\text{ cal}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{°C}^{-1}; T1 = 20\text{ °C} = 293,15\text{ °K}; \\ T2 = 22\text{ °C} = 295,15\text{ °K}$$

Pro výpočet tepla Q potřebného k ohřátí vody na požadovanou teplotu využijeme uvedený vzorec.

$$Q = m \times c \times (T2 - T1)$$

$$Q = 1\,000 \times 4\,186,8 \times (295,15 - 293,15)$$

$$Q = 8\,373\,600\text{ J} = 2\,000\text{ kcal}$$

Nepřihlíželi jsme ale ke ztrátám topítka. Účinnost použitého ohříváče lze vyjádřit vzorcem $\eta = Q / WC$, kde WC je elektrická práce a Q je přijaté teplo. Budeme uvažovat s účinností ohřívání vody $\eta = 75\%$ (jedná se o účinnost procesu ohřevu, nikoli topítka). To znamená, že ke stávajícímu výsledku (2000 kcal potřebného tepla musíme přičíst navíc 25 %. Výsledkem je potom celková energie dodaná do ohřevu vody.

$$WC = 10\,467\,000\text{ J} = 2\,500\text{ kcal}$$

Nyní provedeme přepočítání hodnoty energie v kJ na elektrickou energii kWh. U běžných elektrických spotřebičů se uvádí spotřeba elektrické energie v kWh, proto je tento údaj pro uživatele názornější. Podle uvedeného převodního vztahu (1 kWh = 3 600 kJ) převedeme teplo na elektrickou energii: $10\,467 / 3\,600 \approx 2,9075\text{ kWh}$.

3.4.7. Kalkulace poměru produkce ryb a rostlin

Pro optimální živinovou bilanci akvaponického systému se při návrhu systému vychází z poměru mezi množstvím ryb a rostlin, tj. poměru krmné dávky (angl. *Feeding Rate Ration*, FRR), což je denní množství použitého krmiva pro 1 m² rostlinné části, následovně:

Výpočet poměru krmné dávky (FRR) (podle Somerville a kol., 2014):

$$FRR = \frac{\text{denní krmná dávka (g)}}{\text{plocha rostlinné sekce (m}^2\text{)}}$$

Rakocy (2007) doporučuje pro listovou zeleninu a bylinky v raftovém systému poměr 60–100 g krmiva.m⁻².den⁻¹. Endnut a kol. (2010) doporučují 15–42 g krmiva.m⁻².den⁻¹. Somerville a kol. (2014) doporučují (při použití krmiva s 32 % proteinu) pro listovou zeleninu 40–50 g

krmiva.m⁻².den⁻¹ a pro plodovou zeleninu 50–80 g krmiva.m⁻².den⁻¹. Doporučovaná optimální hodnota FRR pro NFT systémy je 15–25 g krmiva.m⁻².den⁻¹.

Příklad: Pokud má rostlinná sekce v akvaponickém systému plochu 200 m², mělo by se v rybochovné části zkrmit při požadované hodnotě FRR = 100 g.m⁻².den⁻¹ denní krmná dávka 20 000 g.

Hustota osazení rostlinami

Dle Somerville a kol. (2014) bývá běžná hustota osazení pěstební plochy v akvaponickém systému bývá u listové zeleniny 20–25 rostlin.m⁻² a u plodové zeleniny 4–8 rostlin.m⁻².

Tab. 12. Optimální podmínky pro rostliny, doba růstu a doporučená technika (upraveno dle Somerville a kol., 2014).

	Bazalka	Salát	Okurka	Paprika	Rajče
pH	5,5–6,5	6–7	5,5–6,5	5,5–6,5	5,5–6,5
Hustota (rostlin.m ⁻²)	8–40	20–25	2–5	3–4	3–5
Teplota (°C)	20–25	15–22	22–28	22–30	22–26
Doporučená technika	MBS, NFT, RAFT	MBS, NFT, RAFT	MBS, DI, RAFT	MBS, DI	MBS, RAFT, DI, NFT
Doba růstu (dny)	24–35 do sklizně	24–32 do sklizně	55–65 do plodů	60–95 do plodů	50–70 do plodů

MBS – media based system; NFT – nutrient film technique; DWC – deep water culture; DI – drip irrigation.

Resh (2013) uvádí v systémech využívajících kapénkové závlahy následující hustoty plodové zeleniny:

Okurky: 1,2–1,4 rostlin.m⁻² s průměrnou roční produkcí 120 okurek na rostlinu.

Rajčata (varieta beefsteak): 3,6 rostlin.m⁻² s průměrnou roční produkcí 50–75 kg.m⁻².

Papriky: 3,3–3,5 rostlin.m⁻²

Dle doporučení Somerville a kol. (2014) se při výpočtu pěstební plochy nejprve zvolí požadovaný počet rostlin a podle toho se spočítá potřebná plocha pěstebních záhonů.

Příklad: Při požadavku produkce 100 salátů je potřeba pěstební plochy 4–5 m². K tomu je potřeba pro dodržení doporučené hodnoty FRR 40–50 g krmiva.den⁻¹.m⁻² 160–250 g krmiva.den⁻¹. Při krmné dávce 2 % hmotnosti obsádky, je potřeba 8–12,5 kg ryb v chovné nádrži.

Stanovení optimální hodnoty FRR pro akvaponické systémy se liší v závislosti na mnoha faktorech: typ hydroponického systému, druh pěstovaných rostlin, chemické složení a zdroj používané vody a procentuální ztráta vody během odstraňování nerozpuštěných látek. I laickému pozorovateli je jasné, že udržet optimální FRR kontinuálně po celý rok či sezónou je vzhledem k růstu ryb nemožné. Pokud hodláme v systému chovat ryby od plůdku do tržní

velikosti, je logické, že nelze udržovat konstantní krmnou dávku po celý rok. Krmná dávka se kontinuálně zvyšuje s přírůstkem ryb. Existují však tři způsoby, které pomáhají zajistit optimální hodnotu FRR v akvaponickém systému.

První metoda zahrnuje použití více nádrží pro chov ryb s rozloženou produkcí. Do jednotlivých nádrží jsou umístěny skupiny ryb s různou hmotností. Jakmile ryby v první nádrži dosáhnou tržní hmotnosti a jsou odloveny, je do této nádrže nasazena nová skupina násadových ryb. Přísun krmiva do systému sice po nasazení nových ryb poklesne, ale poté dochází k postupnému zvyšování až na optimální hodnotu. Tímto způsobem se dají výkyvy v přísunu živin minimalizovat.

Druhou metodou, která zachovává FFR, je odchov ryb různých velikostí v jedné nádrži. Princip je takový, že jakmile dosáhnou největší jedinci požadované tržní velikosti, ryby jsou manuálně odloveny a nahrazeny stejným počtem jedinců o počáteční hmotnosti (20–40 g). Takto častá manipulace s obsádkou (odlovení tržních jedinců) vyvolává u ryb stres, který může být příčinou poklesu příjmu potravy či dokonce úhynu. Tento způsob proto není příliš vhodný.

Třetí metoda, která se používá v komerčních akvaponických systémech, je založena na tom, že výkyvy v hodnotě FFR se vyrovnávají doplněním chybějících živin pomocí hydroponických hnojiv. Při této metodě je vhodné, aby odpadní voda z RAS používaná pro přípravu živného roztoku neměla příliš vysokou hodnotu EC a poskytovala tak dostatečný prostor pro doplnění chybějících živin a zároveň nepřesahovala maximální hodnotu EC tolerovanou pěstovaným druhem rostlin. Pokud má odpadní voda z RAS příliš vysokou hodnotu EC, je nutné ji nejprve naředit s dalším zdrojem vody (pitná, dešťová či podzemní).

3.4.8. Kalkulace kapacity aerobní mineralizační jednotky

Pro hobby a menší komerční akvaponické systémy s roční produkcí ryb do 10 tun lze využít jednoduché statické aerobní mineralizační jednotky skládající se z nádrže o potřebném objemu a aerace. Pro výpočet potřebného objemu mineralizační nádrže budeme vycházet z předpokladu, že podmínky pro proces mineralizace jsou optimální, pokud je v nádrži teplota vody alespoň 20 °C, koncentrace nerozpuštěných látek max. 3 000 mg.l⁻¹ (ideálně méně než 2 500 mg.l⁻¹) a koncentrace rozpuštěného kyslíku se blíží 100% nasycení. Za těchto podmínek trvá v průměru 30 dní, než jsou nerozpuštěné látky plně mineralizovány. Pokud je koncentrace nerozpuštěných látek vyšší než 3 000 mg.l⁻¹, teplota vody nižší než 20 °C a nasycení vody kyslíkem výrazně nižší než 100 %, proces mineralizace se zpomaluje a je potřeba patřičně zvětšit objem mineralizační nádrže.

První způsob výpočtu je založen na jednoduchém pravidlu, že na každé 2 kg krmiva.den⁻¹ je potřeba 1 000 l objemu aerobní mineralizační jednotky.

V modelovém případě budeme počítat s tím, že v akvaponickém systému je krmeno 1 kg krmiva denně. Potom je v takovém případě potřeba použít mineralizační jednotku o objemu 500 l.

Druhý způsob výpočtu je založen na denním objemu nerozpuštěných látek, které jsou do mineralizační jednotky dodávány. V tomto případě se vychází z objemu odpadní vody, ve které jsou nerozpuštěné látky do mineralizační jednotky dodávány. Pokud např. očekáváme,

že denní produkce odpadní vody s nerozpuštěnými látkami bude 25 l a počítáme s dobou mineralizace 30 dní, budeme potřebovat mineralizační jednotku o objemu:

Objem mineralizační jednotky = objem odpadní vody × počet dní potřebných k mineralizaci

= 25 l.den⁻¹ × 30 dní = 750 l.

3.5. Kalkulace a konstrukce malých hobby akvaponických systémů

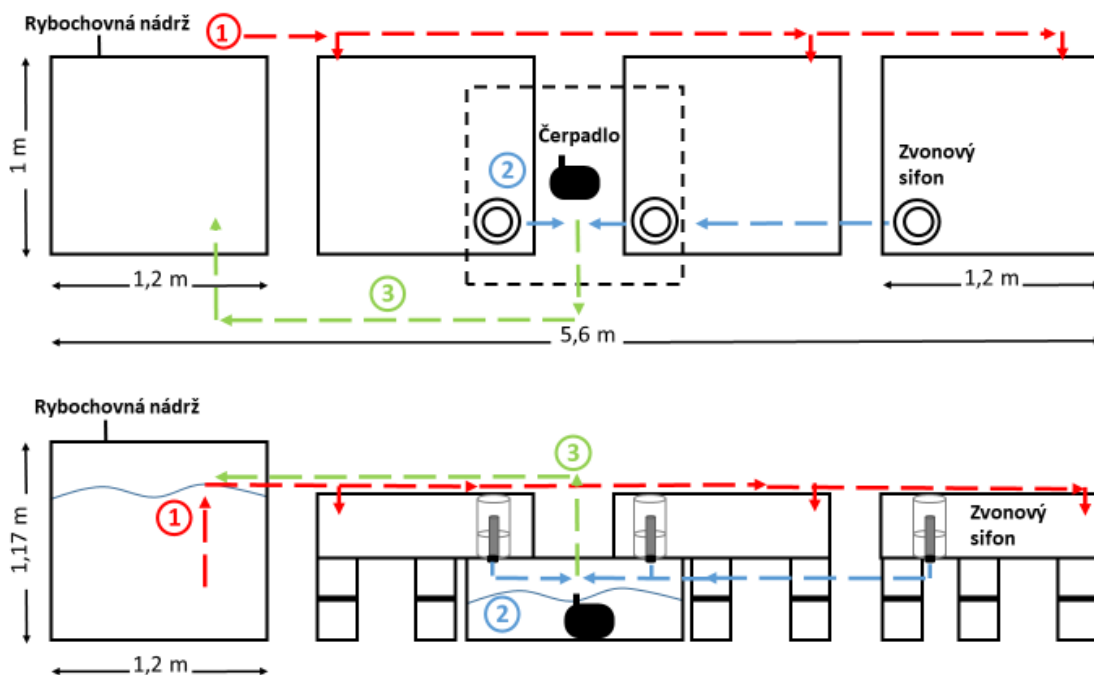
Pro kalkulaci malých hobby akvaponických systémů lze využít hodnoty doporučené v Tab. 13, či použít jeden ze tří návodů uvedených níže. Jedná se o jednoduché systémy vhodné pro začátečníky. Při výpočtech byla použita poměrně nízká obsádka ryb (20 kg.m⁻³). Pro zkušenější chovatele lze při použití aerace s dostatečnou kapacitou obsádku zvýšit až na 50 kg.m⁻³.

3.5.1. Konstrukce malého hobby Media bed systému

Pro začátečníky s akvaponií je vhodné začít s tzv. Media bed systémem. V tomto systému není nutné mít samostatný mechanický a biologický filtr, protože tuto funkci nahrazují pěstební záhony. Systém je poměrně robustní, nevyžaduje velkou údržbu a lze v něm pěstovat široké spektrum rostlin. Celkový pohled na sestavený systém, schéma půdorysu a bokorysu (viz Obr. 40 a 41).



Obr. 40. Celkový pohled na malý Média bed system vyrobený z IBC kontejnerů (upraveno dle Somerville a kol., 2014).



Obr. 41. Schéma půdorysu a bokorysu malého Média bed systému vyrobeného z IBC kontejnerů: 1 – odtok odpadní vody z rybochovné nádrže do pěstebních záhonů, 2 – svod vyčištěné vody z pěstebních záhonů do retenční nádrže, 3 – voda z retenční nádrže je čerpána zpět do rybochovné nádrže (upraveno dle Somerville a kol., 2014).

Budeme plánovat systém s jednou chovnou nádrží o objemu 1 000 l. Tu vyrobíme z vyřazeného/recyklovaného IBC kontejneru tak, že vyřízneme horní stěnu s ponecháním cca 10 cm ze všech stran (viz Obr. 40 vlevo). Odtok odpadní vody z chovné nádrže vytvoříme z HT trubek o průměru 50 mm. Skrz stěnu chovné nádrže projdeme vyvrtáním otvoru (ve výšce plánované hladiny po napuštění) a jeho osazením vrapovou manžetou, skrze kterou prostrčíme HT trubku. Pro případ zacpání odtokové trubky použijeme jako rezervu ještě druhou trubku. Po přechodu skrz stěnu nádrže můžeme obě odtokové trubky spojit do jedné. Odtok svedeme až do míst umístění plánovaných přítoků do pěstebních záhonů.

Tab. 13. Předpokládané hodnoty jednotlivých částí u malých hobby akvaponických systémů (upraveno dle Somerville a kol., 2014).

Objem chovné nádrže (l)	Hmotnost ryb (kg) ¹	Denní krmná dávka (g) ²	Průtok vody (l.h ⁻¹)	Objem filtru (l) ³	Min. objem biofiltračního média (l) Šterk ⁴	Min. objem biofiltračního média (l) Bio balls ⁴	Plocha pěstebních záhonů (m ²) ⁵
200	5	50	800	20	50	25	1
500	10	100	1 200	20–50	100	50	2
1000	20	200	2 000	100–200	200	100	4
1500	30	300	2 500	200–300	300	150	6
2000	40	400	3 200	300–400	400	200	8
3000	60	600	4 500	400–500	600	300	12

¹ Doporučená hustota ryb pro začátečníky 20 kg.1 000 l⁻¹. Vyšší hustoty jsou možné s přidáním aerace a mechanické filtrace.

² Doporučená krmná dávka 1 % hmotnosti ryb.den⁻¹ pro ryby o kusové hmotnosti 100 g a více. *Feeding rate ratio* je: 40–50 g.m⁻² pro listovou zeleninu a 50–80 g.m⁻² pro plodovou zeleninu.

³ Objem mechanického a biologického filtru by měl být 10–30 % objemu vody v chovné nádrži. Nejsou vyžadovány pro Média bed systémy.

⁴ Hodnoty jsou vypočteny pro optimální podmínky nitrifikace. Je vhodné použít násobky těchto hodnot pro robustnost systému a případy krátkodobě zhoršených podmínek.

⁵ Hodnoty jsou vypočítány pro listovou zeleninu. Plodová zelenina by měla o něco menší plochu.

Rozříznutím dalších dvou IBC kontejnerů vytvoříme tři pěstební záhony a retenční nádrž. Pěstební záhony by měly být 35 cm vysoké a retenční nádrž 70 cm. Pěstební záhony umístíme na betonové šalovací tvárnice do výšky 75 cm (tzn. 3 × 25 cm vysoké šalovací tvárnice). Pro odtok vody z pěstebních záhonů a regulaci záplavového cyklu použijeme zvonové sifony (viz Obr. 42). Do pěstebních záhonů umístíme pěstební médium do výšky 30 cm. Můžeme použít kuličky z expandovaného jílu či křemenný písek (viz kapitola 3.2.7).



Obr. 42. Detail konstrukce jednotlivých částí zvonového sifonu (upraveno dle Hallama, 2011).

Do retenční nádrže umístíme čerpadlo o výkonu min 2 000 l.h⁻¹ ve výšce 1 m. Na něj napojíme hadici s neprůsvitnou černou stěnou (zábrana růstu sinic a řas v hadici), kterou přivedeme vodu z retenční nádrže do odchovné nádrže. Tento způsob řešení cirkulace vody v systému je založen na gravitačním přítoku odpadní vody z chovné nádrže do pěstebních záhonů a voda tak v systému tvoří jeden cyklus.

Druhou možností je řešit přítok vody do pěstebních nádrží tlakovou vodou. Její výhoda je v tom, že zabráňuje zarůstání přítokové trubky biofilmem a změnám v průtoku vody do jednotlivých pěstebních záhonů. Tento způsob cirkulace vody je řešen tak, že čerpadlo vede vodu pod tlakem z retenční nádrže jak do chovné nádrže, tak i do pěstebních záhonů. Zpátky je odpadní voda z chovné nádrže i pěstebních záhonů svedena zpět do retenční nádrže. Voda

v tomto případě nemá jeden velký okruh skrze celý systém. Výhodou je prevence zarůstání trubek s přírodní vodou do pěstebních záhonů a změn průtoku vody. Nevýhodou jsou mírně vyšší náklady na čerpání vody.

Po sestavení napustíme systém vodou a začneme se zabíháním biofiltru (viz kapitola 3.2.3). Rostliny je vhodné do pěstebních záhonů nasadit hned na počátku zabíhání systému a podpořit jejich zakořenění a růst hydroponickým hnojivem (Obr. 43 a 44). Systém nasazujeme obsádkou ryb ideálně až po zaběhnutí biofiltru, což podle podmínek může trvat 4–8 týdnů. Pro začátečníky je vhodné začít s počáteční obsádkou $5 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ a končnou obsádkou $20 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Pro zvýšení kapacity systému a zlepšení kyslíkového režimu je potřeba do chovné nádrže přidat aeraci (viz kapitola 3.2.5).



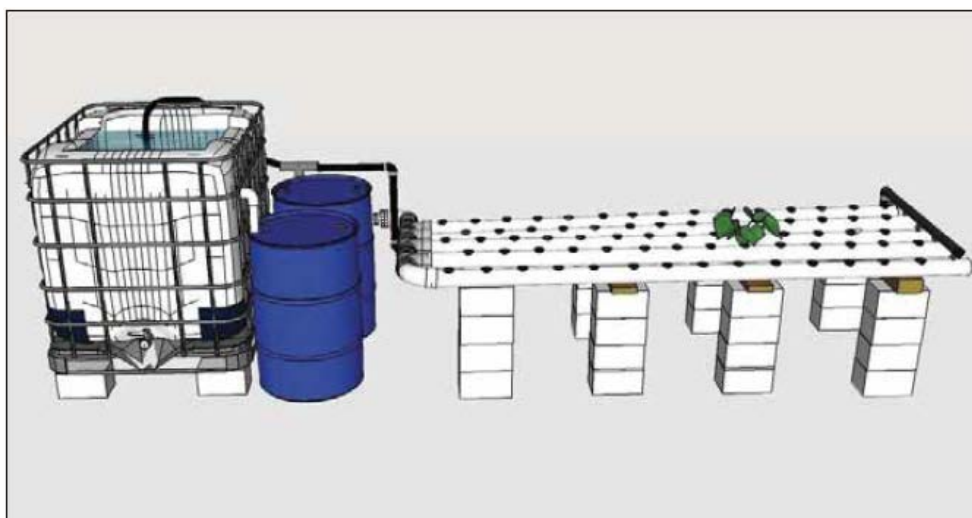
Obr. 43. Ukázka čerstvě postaveného (vlevo dole) a zaběhlého Média bed systému (vpravo dole) s ukázkou pěstovaných rostlin (nahore; foto: J. Mráz).



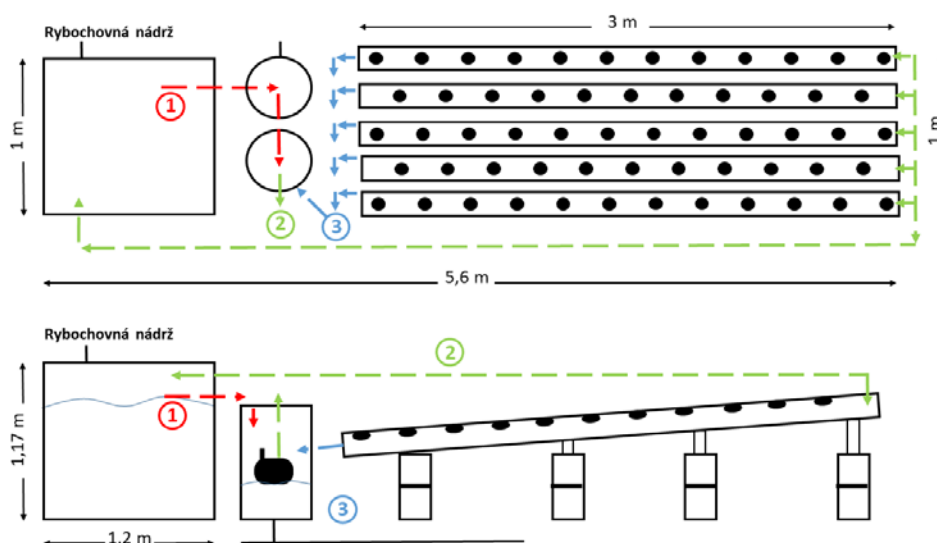
Obr. 44. Ukázka malé balkonové akvaponie typu Média bed systém. Vlevo nahoře je chovná nádrž vyrobená z obdélníkové nádrže na dešťovou vodu. Vpravo jsou z přepravek vyrobené pěstební záhony a dole pod nimi retenční nádrž (foto: J. Mráz).

3.5.2. Konstrukce malého hobby NFT systému

Při sestavování malého NFT systému je nutné zařadit samostatný mechanický a biologický filtr, protože pěstební část v tomto případě nemá dostatečný povrch pro kolonii nitrifikačních bakterií. Kořeny rostlin v systému jsou při nadměrném množství nerozpuštěných látek ve vodě náchylné na zahnívání, a tak je nutné mít i dostatečně výkonnou mechanickou filtraci. Systém je vhodný především pro pěstování bylinek a salátů. Celkový pohled na sestavený systém, schéma půdorysu a bokorysu (viz Obr. 45 a 46).



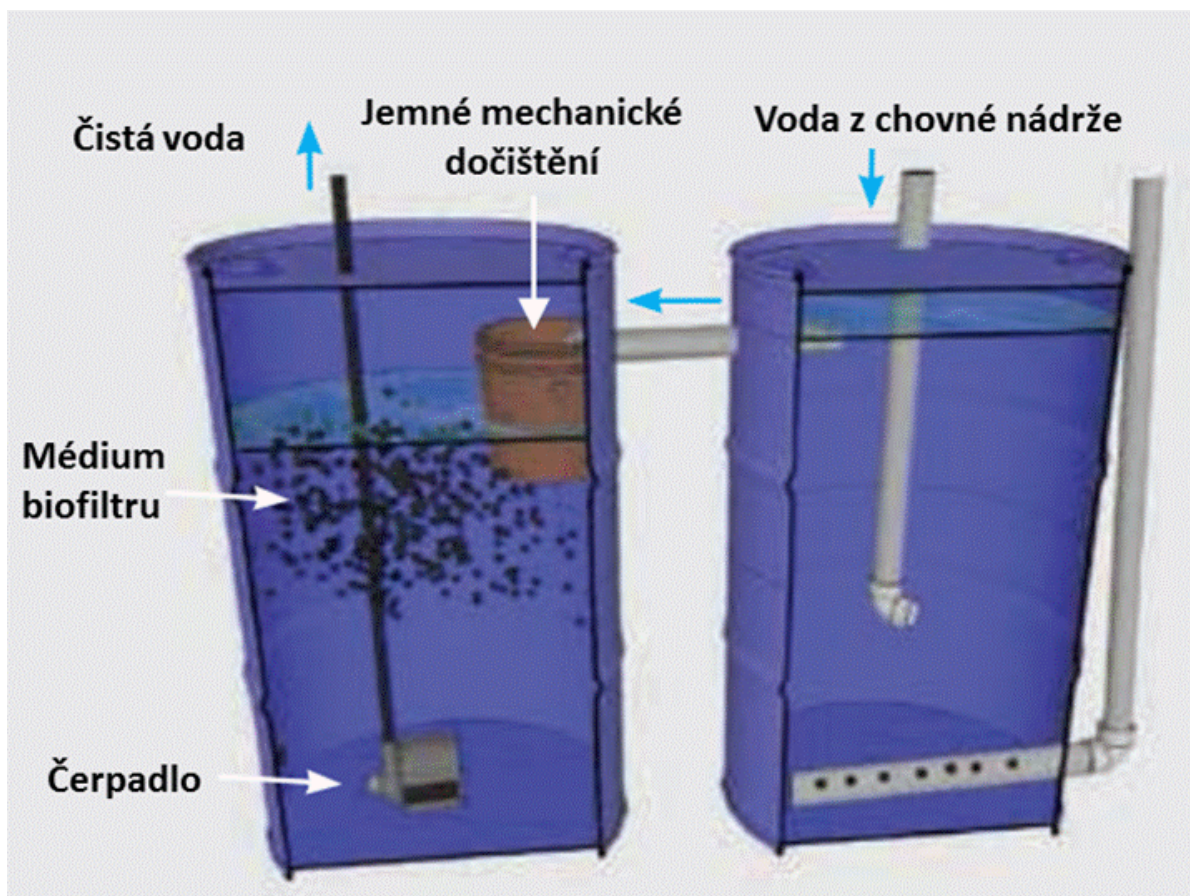
Obr. 45. Celkový pohled na malý NFT systém vyrobený z IBC kontejneru, plastových sudů a trubek (upraveno dle Somerville a kol., 2014).



Obr. 46. Schéma půdorysu a bokorysu malého NFT systému vyrobeného z IBC kontejneru, plastových sudů a trubek: 1 – odpadní voda z rybochovné nádrže je svedena do mechanického a dále do biologického filtru, 2 – čerpání upravené vody z biofiltru do rybochovné a pěstební části, 3 – svod vyčištěné vody z pěstebních záhonů do biofiltru (upraveno dle Somerville a kol., 2014).

Stejně jako v předešlém případě budeme i zde plánovat systém s jednou chovnou nádrží o objemu 1 000 l vyrobenou z vyřazeného/recyklovaného IBC kontejneru (viz Obr. 45). Odtok odpadní vody z chovné nádrže vytvoříme z HT trubek o průměru 50 mm. Skrz stěnu chovné nádrže vyvrtáme otvor (ve výšce plánované hladiny po napuštění) a osadíme jej vrapovou manžetou, skrze kterou prostrčíme HT trubku. Pro případ zacpání odtokové trubky použijeme jako rezervu ještě druhou. Po přechodu skrz stěnu nádrže můžeme obě odtokové trubky spojit do jedné. Odtok svedeme až do míst umístění plánovaného mechanického filtru.

Mechanický a biologický filtr vyrobíme ze dvou plastových sudů nebo plastových nádrží na dešťovou vodu (o minimálním objemu 200 l, lépe větší). Detail vnitřního uspořádání mechanického a biologického filtru viz Obr. 47. Na přítoku do biologického filtru umístíme ještě jednotku na dočištění jemných nerozpuštěných látek. Do biologického filtru umístíme aeraci a komerčně prodávané plastové bioelementy o objemu 100 l. Zde také umístíme čerpadlo o výkonu min 2 000 l.h⁻¹ ve výšce 1 m.



Obr. 47. Schéma vnitřního uspořádání mechanického a biologického filtru pro malé hobby akvaponické systémy. Nádrže jsou z plastových sudů či nádob na dešťovou vodu (min. 200 l, lépe více), trubky z odpadních HT trubek o průměru 50 mm. Průchody skrze stěnu jsou řešeny pomocí vrapových manžet. Jemné mechanické čištění je řešeno pomocí 20 l plastového kbelíku s děrovaným dnem a vloženým hustým filtračním médiem (pěnová houba apod.). Náplň biofiltru tvoří komerčně vyráběné plastové bioelementy typu Bio balls (upraveno dle Somerville a kol., 2014).

Na čerpadlo napojíme hadici s neprůsvitnou černou stěnou, kterou rozdělíme pomocí T kusu na dvě větve. První větví přivedeme vodu z retenční do odchovné nádrže a druhou větev přivedeme do vzdálenějšího konce a rozvedeme ji do pěstebních trubek. Na vstupu do pěstebních trubek umístíme ventily pro regulaci průtoku. Ty po spuštění systému nastavíme tak, aby do každé trubky tekla voda o průtoku $1\text{--}2\text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$. Pěstební část vyrobíme z 5 trubek o průměru 110 mm a délce 3–4 metry. V nich vykružovacím řezákem ve vzdálenosti 25 cm vyřízneme otvory pro umístění kořenáčů s rostlinami. Průměr otvorů volíme přesně dle velikosti vyrobených či zakoupených kořenáčů. Otvory neděláme větší, než je potřeba, abychom zabránili osvitě živného roztoku světlem a podpořili prevenci růstu řas a sinic uvnitř trubek. Trubky umístíme na betonové šalovací tvárnice ve výšce cca 1 m a se sklonem $1\text{ cm}\cdot\text{m}^{-1}$ směrem k filtrům. U filtrů svedeme odtok z pěstebních trubek do jedné, kterou zredukujeme na průměr 50 mm, a pomocí vrapové manžety ji zaústíme do horní části biofiltru.

Do chovné nádrže a biofiltru umístíme vzduchovací kameny a napojíme je na vzduchovací čerpadlo. Po sestavení napustíme systém vodou a začneme se zabíháním biofiltru (viz kapitola 3.2.3). Rostliny je vhodné v kořenáčích do pěstebních trubek nasadit hned na počátku zabíhání systému a podpořit jejich zakořenění a růst hydroponickým hnojivem. Kořenáče buď koupíme

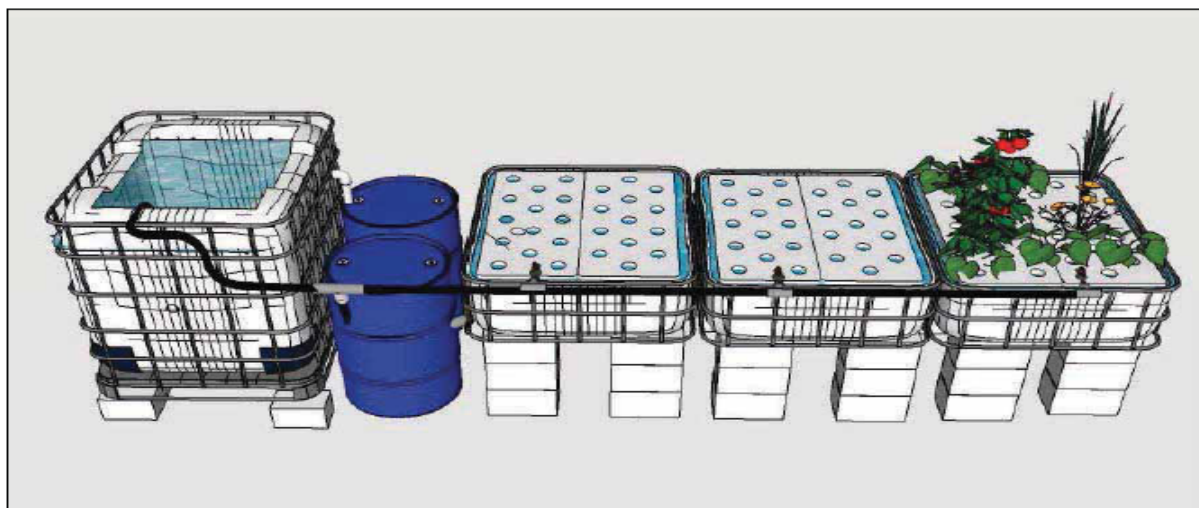
v potřebách pro hydroponii, nebo je můžeme vyrobit z plastových kelímků, ve kterých uděláme dostatek otvorů pro kořeny rostlin. Při sázení sazeniček do kořenáčů jejich kořenový systém zasypeme kuličkami z expandovaného jílu.

Systém nasazujeme obsádkou ryb ideálně až po zaběhnutí biofiltru, což podle podmínek může trvat 4–8 týdnů. Nebo můžeme do biofiltru umístit elementy z již zaběhnutého filtru a fázi zabíhání tak výrazně zkrátit. Pro začátečníky je vhodné začít s počáteční obsádkou $5 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ a končenu obsádkou $20 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$.

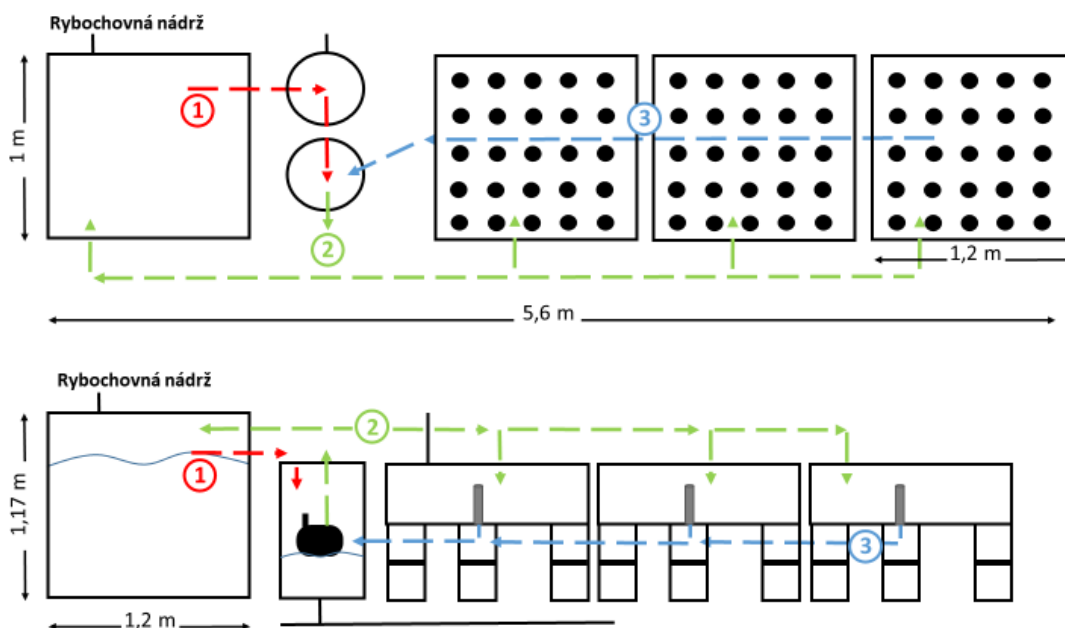
3.5.3. Konstrukce malého hobby DWC, raftového systému

Při sestavování malého raftového systému je stejně jako u NFT systému nutné zařadit samostatný mechanický a biologický filtr, protože pěstební část v tomto případě nemá dostatečný povrch pro kolonii nitrifikačních bakterií. Kořeny rostlin v tomto systému jsou při nadměrném množství nerozpuštěných látek ve vodě náchylné na uhnívání, a proto je nutné mít i dostatečně výkonnou mechanickou filtraci. Tento systém je vhodný především pro pěstování bylinek a salátů. Celkový pohled na sestavený systém, schéma půdorysu a bokorysu (viz Obr. 48 a 49).

Stejně jako v předešlém případě budeme i zde plánovat systém s jednou chovnou nádrží o objemu 1 000 l vyrobenou z vyřazeného/recyklovaného IBC kontejneru (viz v Obr. 48 vlevo). Odtok odpadní vody z chovné nádrže vytvoříme z HT trubek o průměru 50 mm. Skrz stěnu chovné nádrže projdeme vyvrtáním otvoru (ve výšce plánované hladiny po napuštění), otvor osadíme vrapovou manžetou, skrz kterou prostrčíme HT trubku. Pro případ zacpání odtokové trubky použijeme jako rezervu ještě druhou. Po přechodu skrz stěnu nádrže můžeme obě odtokové trubky spojit do jedné. Odtok svedeme až do místa umístění plánovaného mechanického filtru.



Obr. 48. Celkový pohled na malý raftový systém vyrobený z IBC kontejnerů a plastových sudů (upraveno dle Somerville a kol., 2014).



Obr. 49. Schéma půdorysu a bokorysu malého raftového systému vyrobeného z IBC kontejnerů a plastových sudů: 1 – svod odpadní vody z rybochovné nádrže do mechanického a pak biologického filtru, 2 – čerpání vyčištěné a upravené vody do rybochovné a pěstební části, 3 – svod vyčištěné vody z pěstební části do biofiltru (upraveno dle Somerville a kol., 2014).

Mechanický a biologický filtr vyrobíme stejně jako v případě NFT systému. Obdobně jako u NFT systému také do biologického filtru umístíme čerpadlo a rozvedeme vodu do pěstebních nádrží a chovné nádrže.

Pěstební nádrže vytvoříme stejně jako u Média bed systému z rozříznutých IBC kontejnerů o výšce 35 cm. Ty umístíme na betonové šalovací tvárnice ve výšce 75 cm (tj. 3 × 25 cm šalovací tvárnice). Na vstupu do pěstebních nádrží umístíme ventily pro regulaci průtoku (po spuštění systému je nastavíme tak, aby do každé nádrže tekla voda o průtoku cca 100 l.h⁻¹), svedeme přítok vody na dno nádrží a pomocí kolena nasměrujeme proud přitékající vody podél stěny nádrže (tento způsob pomůže vytvořit krouživý pohyb vody v nádrži). Odtok z pěstebních nádrží umístíme uprostřed nádrží. Vyrobíme jej tak, aby přelivová trubka vymezovala hladinu vody v nádržích ve výšce 28–30 cm. Vodu odtékající z pěstebních nádrží svedeme do jedné trubky a tu pomocí manžety připojíme k biofiltru.

Do odchovné nádrže, biofiltru i každé pěstební nádrže umístíme vzduchovací kameny připojené ke vzduchovacímu čerpadlu. V případě pěstebních nádrží umístíme vzduchovací kameny hned za přítok vody do nádrže, čímž zajistíme rovnoměrný rozvod okysličené vody skrze celou nádrž.

Do každé z pěstebních nádrží vyrobíme plovoucí rafty. Důležité je, aby byla celá hladina nádrže zakrytá, abychom zabránili osvitě živného roztoku světlem a podpořili prevenci růstu sinic a řas uvnitř nádrží. Rafty vyrábíme z polystyrenových desek o tloušťce minimálně 3 cm, aby unesly hmotnost pěstovaných rostlin. Je potřeba koupit takový polystyren, který je bezpečný a nevyučuje žádné toxické látky do vody. Umístění děr pro kořenáče a jejich hustotu

volíme podle pěstovaných rostlin a jejich velikosti. Obvyklá velikost komerčně dostupných košíčků bývá mezi 16 mm (pro sazeničky) a 30 mm.

Po sestavení napustíme systém vodou a začneme se zabíháním biofiltru (viz kapitola 3.2.3). Rostliny je vhodné v kořenáčích do pěstebních trubek nasadit hned na počátku zabíhání systému a podpořit jejich zakořenění a růst hydroponickým hnojivem. Košíčky pro sazenice koupíme v potřebách pro hydroponii nebo je můžeme vyrobit z plastových kelímků, ve kterých uděláme dostatek otvorů pro kořeny rostlin. Při sázení sazeniček do košíčků jejich kořenový systém zasypeme kuličkami z expandovaného jílu.

Systém nasazujeme obsádkou ryb ideálně až po zaběhnutí biofiltru, což podle podmínek může trvat 4–8 týdnů (nebo můžeme do biofiltru umístit elementy z již zaběhnutého filtru a fázi zabíhání tak výrazně zkrátit). Pro začátečníky je vhodné začít s počáteční obsádkou $5 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ a končnou obsádkou $20 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$.

Zálohování elektrické energie

RAS i akvaponie jsou závislé na kontinuální dodávce elektrické energie. V okamžiku, kdy dojde k výpadku dodávky proudu, je otázkou několika desítek minut, než ryby v nádrži uhynou. I ve výše zmíněných hobby systémech je vhodné používat zálohovací systém. Při výpočtu je potřeba si ujasnit, které přístroje a s jakým příkonem budeme zálohovat. Nejdůležitější je oběhové čerpadlo a zdroj vzduchování.

Máme například čerpadlo o příkonu 30 wattů a vzduchovací kompresor o příkonu 35 wattů. Dále je potřeba stanovit, kolik hodin má být baterie schopná elektřinu dodávat v případě výpadku (např. alespoň 8 hodin) a kolik voltů má baterie (např. 12 V). Kapacitu baterie je potřeba vynásobit alespoň 3×, protože není vhodné, aby baterie byla plně vybitá, je potřebné mít rezervu. **Zjednodušeně lze potřebnou kapacitu baterie vypočítat následujícím způsobem** (Stout, 2013):

$$65 \text{ wattů} \times 8 \text{ hodin za den} = 520 \text{ watthodin} / 12 \text{ V} = 43,4 \text{ Ah} \times \text{bezpečnostní faktor } 3 = \mathbf{130 \text{ Ah}}$$

Dále je možné použít on-line kalkulačky pro výpočet kapacit baterie (např. Battery.cz, 2018).

3.6. Kalkulace a konstrukce komerční akvaponické farmy

3.6.1. Akvakulturní část

3.6.1.1. Určení druhu ryby a plánované roční produkce

Cílem je odchov tržního keříčkovce červenolemého o roční produkci 10 tun.

Nasazovat se bude plůdek o hmotnosti 10 g a cílem je dosáhnout za 4 měsíce tržní hmotnosti 1 000 g. Produkce bude rozložena na $3 \times 3,3$ tun ryb za rok. V kusech se jedná o 3 300 ks tržních keříčkovců červenolemých o hmotnosti 1 000 g každé 4 měsíce. Při nasazení budeme počítat s rezervou pro případné kusové ztráty ve výši 10 %, tj. nasadíme 3 630 ks násady o průměrné kusové hmotnosti 10 g (o celkové hmotnosti 36,3 kg). Počítáme s přírůstkem 3 264 kg ryb každé 4 měsíce, tj. 9 790 kg za rok. Při výpočtu spotřeby krmiva

za rok je potřeba zjistit, jaký má daná krmná směs krmný koeficient. Krmné směsi pro keříčkovce červenolemého mají obvykle hodnotu FCR okolo 1 kg krmiva na 1 kg přírůstkem. V našem případě potřebujeme 9 790 kg krmiva na rok.

3.6.1.2. Výpočet potřebného objemu vody v chovných nádržích

Keříčkovce červenolemého je možné chovat v maximálních hustotách až $400 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Jedná se ale o hodnotu hraniční, při které ryby již špatně rostou. Zvolíme raději nižší maximální hustotu $300 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Pokud má být maximální obsádka farmy 3,3 tuny = 3 300 kg a maximální hustota $300 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, vychází potřeba objemu chovných nádrží 11 m^3 .

3.6.1.3. Výpočet potřebného průtoku vody

Při těchto rybích obsádkách je potřeba, aby se voda v chovných nádržích obměnila minimálně 2krát za hodinu. Při objemu vody v chovných nádržích 11 m^3 je nutné, aby průtok vody byl minimálně $11 \times 2 = 22 \text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$.

3.6.1.4. Výpočet výkonu čerpadla

Při výpočtu výkonu čerpadla je kromě požadovaného minimálního průtoku potřeba zvážit, jaký biofiltr bude v RAS použit a jaký bude rozdíl hladin, které musí čerpadlo překonat. V našem případě budeme uvažovat o MMBR biofiltru, kde je rozdíl mezi minimální a maximální hladinou vody minimální (1–2 m). Naše čerpadlo tak musí mít při výtlaku do 2 metrů výkon minimálně $22 \text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$. Pro jistotu přidáme rezervu a budeme hledat čerpadlo o výkonu minimálně $30 \text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$ ($560 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$) do výšky 2 metrů. Pro průtok $30 \text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$ je potřeba zvolit průměr potrubí min. $2 \frac{1}{2}''$ s vnitřním průměrem min. 65 mm.

3.6.1.5. Výpočet kapacity mechanického filtru

Při výpočtu kapacity mechanického filtru vycházíme jednak z požadovaného průtoku vody systémem, což je v našem případě $22 \text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$ (odpovídá $6,12 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$), a dále ze zatížení vody nerozpuštěnými látkami a požadované efektivity čištění. V našem případě si zvolíme jako dostatečnou efektivitu odstranění nerozpuštěných látek 95 %, čemuž odpovídá hustota mikrosít $30 \mu\text{m}$ (Obr. 38). Z Tab. 9 lze vyčíst, že pro tuto hustotu mikrosíta a požadovaný minimální průtok vody je dostačující bubnový filtr A s kapacitou $30 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$. Kapacita tohoto bubnového filtru je o 400 % vyšší, než je požadovaná minimální hodnota. Tato rezerva je dostačující i pro sníženou průchodnost vody při zacpávání síta.

3.6.1.6. Výpočet kapacity biofiltru

Pro výpočet kapacity biofiltru si nejprve spočítáme maximální krmnou dávku při maximální obsádce ryb v systému. Uvažujeme o maximální obsádce 3 300 kg ryb a maximální denní krmné dávce 1,3 %, což odpovídá 43 kg krmiva denně. Plánujeme používat krmnou směs s 37 % proteinu. To odpovídá $1\,034 \text{ g}$ vyloučeného NH_3 denně. Budeme počítat s konzervativní

rychlostí odstraňování amoniaku biofiltrem $0,57 \text{ g amoniaku} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{den}^{-1}$, z čehož vyplývá minimální požadovaná plocha bioelementů $1\,814 \text{ m}^2$. Budeme uvažovat o bioelementech BT 10 a plochou povrchu $1\,180 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-3}$. Z toho vyplývá, že je potřeba $1,54 \text{ m}^3$ těchto elementů. Raději jako rezervu objem elementů o něco navýšíme a budeme počítat s 2 m^3 těchto elementů. Budeme uvažovat o typu MBBR biofiltru a pro výpočet objemu vlastní nádrže biofiltru s 33 % naplněním nádrže bioelementy. Z toho plyne, že nádrž bude mít objem minimálně 6 m^3 .

3.6.1.7. Výpočet aerace

Pro metabolismus ryb je potřeba na každý kg krmiva zhruba 1 kg kyslíku. Při maximální denní krmné dávce 43 kg odpovídá spotřeba kyslíku v systému minimálně $43 \text{ kg O}_2 \cdot \text{den}^{-1}$, tj. $1,79 \text{ kg O}_2 \cdot \text{h}^{-1}$.

Budou použity jemnobublinné difuzéry s průtokem $17 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$, SOTE 0,05 na m hloubky, hloubka 1,2 metru a FTE 0,5. Po dosazení hodnot do vzorce:

$$17 \times 1,2 \times 0,23 \times (0,05 \times 1,2) \times 0,5 = 0,14076 \text{ kg O}_2 \cdot \text{h}^{-1} \text{ na jeden difuzér.}$$

Vydělíme potřebu kyslíku 1,79 výkonem 1 difuzéru $0,14076 = 12,7 \times 1,06$ (plus 6 % za nadmořskou výšku 450 m n. m.) = **14 difuzérů**. Každý z nich má průtok vzduchu $17 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \times 14 \text{ difuzérů} = \mathbf{238 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}}$.

3.6.1.8. Výpočet spotřeby vody, produkce odpadní vody a nerozpuštěných látek

Denní spotřeba vody v RAS se běžně pohybuje okolo 3–5 % chovného objemu. V našem případě je počítáno s chovným objemem vody 11 m^3 . Z čehož vyplývá, že je potřeba denně doplňovat do systému 330–550 l čerstvé vody. Množství produkované odpadní vody můžeme při zanedbání výparu uvažovat ve stejné úrovni. Při výpočtu množství nerozpuštěných látek budeme uvažovat s tím, že 25 % hmotnosti zkrmeného krmiva bude do systému vyloučeno ve formě nerozpuštěných látek, z čehož plyne, že při maximální denní spotřebě krmiva 43 kg (a 90% sušiny krmiva) bude množství nerozpuštěných látek odpovídat 9,7 kg sušiny nerozpuštěných látek.

Obsah sušiny filtrovaných kalů je ovlivněn mnoha faktory. Hlavním faktorem je to, zda je odkalená voda z nádrží a mechanického bubnového filtru dále mechanicky čištěna. Vhodné je zařadit na odtoku oplachové odpadní vody z mechanického filtru a odkalovacího potrubí další mechanickou filtraci. Vzhledem k násobně nižšímu objemu odpadní vody je vhodné volit nějakou formu sedimentační mechanické filtrace (vortex, sedimentační nádrž) a tím kaly zkoncentrovat a odpadní vodu vyčistit od nerozpuštěných látek. Kaly je pak vhodné dále využít např. pro vermikompostování. Vyčištěnou odpadní vodu lze dále použít jako zdroj pro přípravu nutričního roztoku pro hydroponickou část akvaponické farmy. Při námi uvažovaném množství 550 litrů odpadní vody denně a kalů o hmotnosti 9,7 kg sušiny a uvažovaném zkoncentrování kalů na 5 % sušiny vychází, že kaly budou mít 203,7 kg mokré váhy (9,7 kg nerozpuštěných látek + 194 l vody). Pro hydroponickou sekci bude k dispozici 356 litrů vody denně. V případě, že je potřeba vody v hydroponické jednotce výrazně vyšší, můžeme si dovolit větší obměnu vody v RAS, čímž se zároveň sníží koncentrace živin v odpadní vodě a bude snazší je doplnit o chybějící živiny bez přesáhnutí maximální hodnoty EC.

3.6.2. Hydroponická část

3.6.2.1. Určení druhu pěstovaných rostlin a plánované roční produkce

Budeme počítat s hydroponickou jednotkou typu rockwoolové rukávce s kapénkovou závlahou. Cílem bude pěstování rajčat varieta beefsteak. Tato varieta rajčete se v tomto systému obvykle pěstuje v hustotě 3,6 rostlin na m^2 a s průměrnou roční produkcí $50\text{--}75 \text{ kg}\cdot m^{-2}$. V hydroponické jednotce o pěstební ploše 400 m^2 bude $(3,6 \times 400)$ cca 1 440 rostlin s roční produkcí rajčat $(400 \times 50 / 1\ 000)$ 20–30 tun.

3.6.2.2. Výpočet potřebné pěstební plochy

Doporučovaná hodnota FRR pro plodovou zeleninu je $50\text{--}80 \text{ g krmiva}\cdot m^{-2}\cdot \text{den}^{-1}$. V našem případě je maximální denní krmná dávka 43 kg krmiva. Pokud budeme plánovat hydroponickou část tak:

- aby využila maximální množství živin a v případě nižší spotřeby krmiva doplňovat živiny pomocí hnojiv, tak vychází potřeba pěstební plochy na $538\text{--}860 \text{ m}^2$.
- aby byla hydroponická část plánována na kapacitu odpovídající průměrné krmné dávce 20 kg a nadbytek živin byl buď vyhozen, nebo shromážděn v akumulární nádrži. V takovém případě je potřeba pěstební plochy poloviční $250\text{--}400 \text{ m}^2$.

V našem případě budeme dále uvažovat s variantou B a pěstební plochou 400 m^2 .

3.6.2.3. Výpočet potřeby vody

V komerčních hydroponických systémech se obvykle počítá s potřebou vody pro přípravu nutričního roztoku $10,8 \text{ l}\cdot m^{-2}\cdot \text{den}^{-1}$. Pokud budeme počítat s pěstební plochou hydroponického systému 400 m^2 , budeme potřebovat $10,8 \times 400 = 4\ 320 \text{ l}\cdot \text{den}^{-1}$, tj. $4,3 \text{ m}^3\cdot \text{den}^{-1} + 30\%$ na propláchnutí média, tj. $4,3 \times 1,3 = 5,6 \text{ m}^3\cdot \text{den}^{-1}$.

3.6.2.4. Výpočet průtoku vody a výkonu čerpadla

Jestliže budeme počítat s tím, že při maximálním výparu budeme muset rostlinám dodat $4,3 \text{ m}^3\cdot \text{den}^{-1}$ a budeme počítat s 5 zavlažovacími cykly denně (rockwool s kapénkovou závlahou), tak je potřeba průtoku $4,3 \text{ m}^3 / 5 \text{ cykly} = 0,86 \text{ m}^3$ na cyklus, tj. $2,15 \text{ l}\cdot m^{-2}$ na cyklus. Maximální průtok omezený kapačem je $2 \text{ l}\cdot h^{-1}$. Hustota rajčat na m^2 je počítána $3,6 \text{ rostlin}\cdot m^{-2}$, tj. 3,6 kapačů na m^2 , tj. $7,2 \text{ l}\cdot m^{-2}\cdot h^{-1}$. Pokud potřebujeme rajčatům nakapat $2,15 \text{ l}\cdot m^{-2}\cdot \text{cyklus}^{-1} + 30\%$ na propláchnutí média, tj. $2,8 \text{ l}\cdot m^{-2}\cdot \text{cyklus}^{-1}$ a maximální průtok omezený kapači je $7,2 \text{ l}\cdot m^{-2}\cdot h^{-1}$, tak je potřeba, aby zavlažovací cyklus trval cca 25 minut. Čerpadlo tak musí být schopné dávat na konci zavlažovacího systému minimální průtok $1,12 \text{ m}^3\cdot 25 \text{ min}^{-1}$, tj. $2,7 \text{ m}^3\cdot h^{-1}$.

3.6.2.5. Výpočet kapacity zásobníků dešťové vody

Je vhodné zachytit a akumulovat maximum dešťové vody, která dopadne na plochu střechy farmy. Pokud budeme uvažovat o celkové ploše farmy 1 000 m² a průměrných srážkách 630 mm za rok, dopadne za rok na střechu farmy 630 m³ srážkové vody. Průměrné měsíční srážky se v oblasti Českých Budějovic ve vegetační sezóně pohybují na úrovni 30–80 mm za měsíc, což odpovídá při ploše střechy 1 000 m² 30–80 m³ srážkové vody. Maximální měsíční srážky se pro oblast Českých Budějovic pohybují mezi 100–200 mm za měsíc, což při ploše střechy 1 000 m² odpovídá 100–200 m³ srážkové vody.

Při výpočtu potřebné kapacity akumulací nádrže na srážkovou vodu je potřeba si ujasnit:

- Bude využívána pouze pro hydroponickou část, nebo i pro akvakulturní? Pokud bude využívána i pro akvakulturní část, tak při požadované potřebě RAS 550 l denně odčerpá z měsíčních srážek 16,5 m³ vody × 12 = 198 m³ vody za rok.
- Jaká je spotřeba vody rostlinami – 10,8 l.m⁻².den⁻¹ a 1 512 m³ vody za rok.
- Zda chceme zachytit průměrnou či maximální hodnotu srážek.
- Za jak dlouhou dobu chceme srážky zachytávat.

Budeme uvažovat s tímto scénářem: Chceme mít kapacitu zachycení vody průměrných srážek za jeden měsíc. V tom případě potřebujeme akumulací nádrž o kapacitě 30–80 m³.

3.6.2.6. Výpočet kapacity mechanické filtrace

U systémů s kapénkovou závlahou se obvykle rostlinám z důvodu propláchnutí média od přebytečných solí zavlažuje o 30 % více, než jsou jejich požadavky na vodu. V uvažovaném případě, kdy je maximální potřeba vody 2,15 m³ na cyklus je 30 % přídatku na propláchnutí 258 l.cykus⁻¹ (5 cyklů za den), který bude sbírán pomocí sběrného systému kanálků do sběrné nádrže přebytečného živného roztoku.

Uvažujeme-li o 5 zavlažovacích cyklech, jedná se o 258 l × 5 cyklů = 1 290 l.den⁻¹, tj. 54 l.h⁻¹. Jedná se o poměrně malý průtok v porovnání s potřebou kapacity průtoku v RAS (22 m³.h⁻¹). Díky tomu jsme pro tento účel schopni zvolit mechanickou filtraci s malou kapacitou a velkou efektivitou čištění např. pískový filtr, DE filtr či cartridge filtr.

Při výpočtu kapacity mechanické filtrace pro přepouštěnou odpadní vodu z RAS do hydroponického systému budeme při výměně vody v RAS v rozsahu 5–30 % denně počítat s produkcí odpadní vody 1,1–6,6 m³.den⁻¹, tj. 46–275 l.h⁻¹. Tuto odpadní vodu (z odkalování a oplachu bubnového filtru) je nejprve vhodné hrubě předčistit a získaný kal je následně možno po zkoncentrování využít pro vermikompostování (denní produkce 204 kg mokré hmotnosti při zkoncentrování na 5% sušinu, tj. 75 tun ročně) nebo jej lze mineralizovat v některém typu mineralizační jednotky a uvolněné živiny použít jako zdroj živin pro tvorbu živného roztoku. Po hrubém předčištění této odpadní vody je vhodné ji dočistit ve stejném typu mechanické filtrace jako přebytečný živný roztok (viz výše). Pokud tuto jemnou filtraci budeme využívat jak pro živný roztok, tak pro předčištěnou odpadní vodu z RAS, pak je potřeba, aby měla minimální kapacitu 54 + 212 = 266 l.h⁻¹.

3.6.2.7. Výpočet kapacity UV sterilizace

Pokud budeme sterilizovat přebytečný živný roztok (54 l.h^{-1}) a předčištěnou vodu z RAS ($46\text{--}275 \text{ l.h}^{-1}$), tak je potřeba UV lampy s minimální kapacitou 266 l.h^{-1} . Spíše se ale UV lampou ošetřuje pouze voda přebytečného živného roztoku, protože voda z RAS obsahuje prospěšné bakterie, které napomáhají kořenovému systému rostlin. V tom případě by byla potřeba kapacity UV lampy pouze 54 l.h^{-1} .

3.6.2.8. Výpočet úpravy kvality vody

Pro hydroponickou jednotku o pěstební ploše 400 m^2 s potřebou vody pro rostliny $10,8 \text{ l.m}^{-2}.\text{den}^{-2}$ a 30% rezervou na průplach média je nutná úprava s kapacitou minimálního množství nutričního roztoku $5,6 \text{ m}^3.\text{den}^{-1}$.

3.6.2.9. Výpočet kapacity sběrné nádrže na přebytečný živný roztok

Obecné pravidlo je, že kapacita sběrné nádrže na přebytečný živný roztok by měla být minimálně taková, aby byla schopná pokrýt celodenní dodávku živného roztoku pro rostliny cca $10,8 \text{ l.m}^{-2}.\text{den}^{-1}$. Pokud budeme uvažovat o hydroponické části o pěstební ploše 400 m^2 , měla by mít nádrž na sběr přebytečného nutričního roztoku kapacitu minimálně $10,8 \times 400 = 4\,320 \text{ l}$, tj. $4,3 \text{ m}^3$.

3.6.3. Příklady akvaponických farem

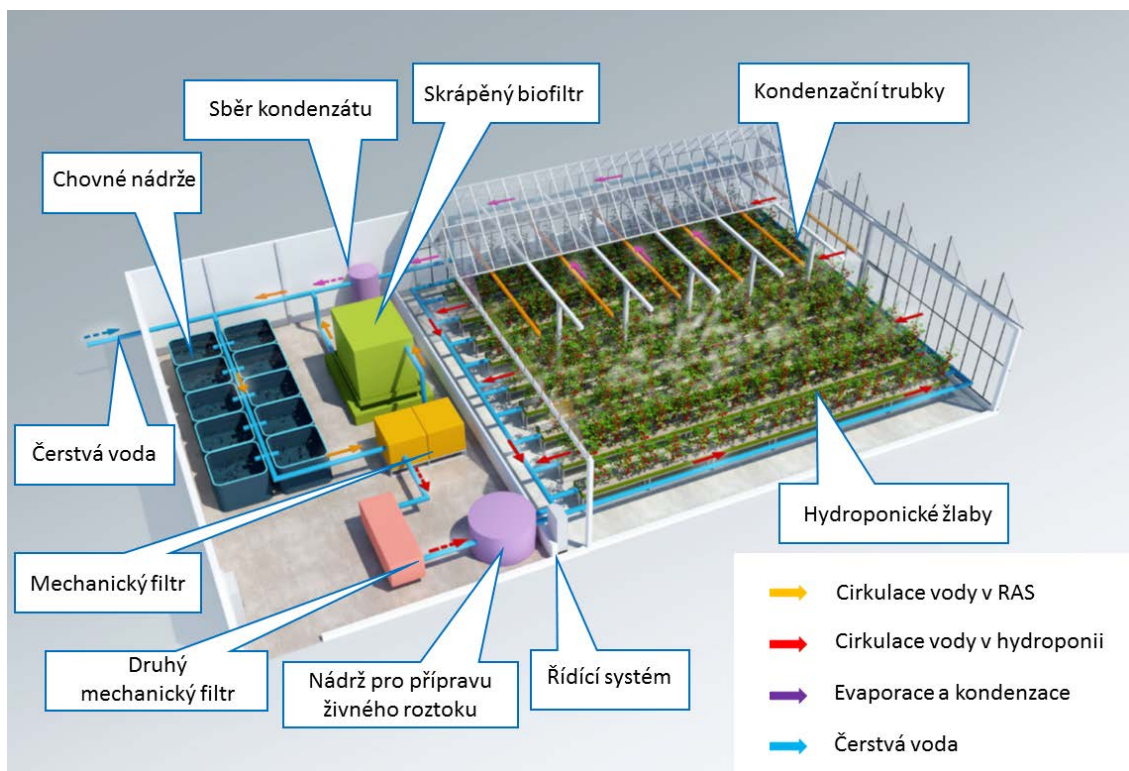
Příklad akvaponické farmy menší velikosti (Německo)

Jako příklad komerční akvaponické farmy střední velikosti v blízkosti České republiky je možné uvést farmu postavenou v rámci projektu INAPRO (Innovative Aquaponics for Professional Applications) v oblasti Waren v Německu (Obr. 50 a 51).

Celková plocha této farmy je 573 m^2 a obsahuje RAS s chovem keříčkovce červenolemého a hydroponický skleník s pěstováním rajčat. Farma je plánována na roční produkci 24 tun keříčkovce červenolemého a 11 tun rajčat.



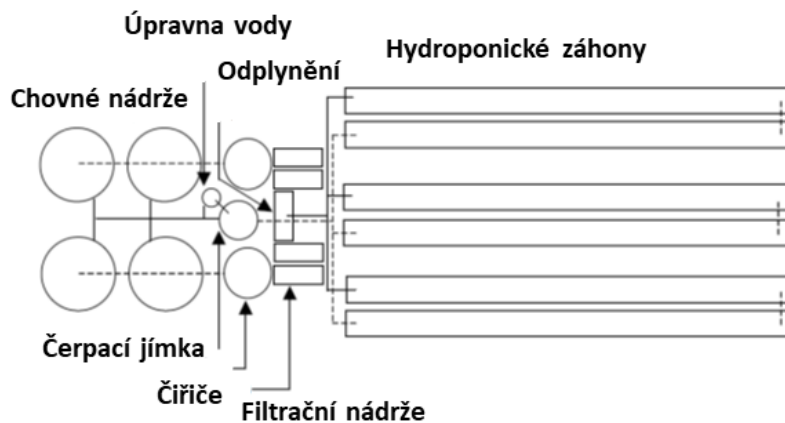
Obr. 50. Celkový pohled na akvaponickou farmu ve Waren v Německu (foto: J. Mráz).



Obr. 51. Schéma vnitřního uspořádání akvakulturní farmy ve Waren v Německu (Inapro-project.eu, 2018).

Příklad akvaponické farmy menší velikosti (Panenské ostrovy)

Asi nejlépe prozkoumaný typ akvaponického systému je systém vyvinutý týmem z Univerzity na Panenských ostrovech (Rakocy a kol., 2006). Jedná se o plně cirkulující tzv. coupled systém založený na raftovém hydroponickém systému. Na Obr. 52 je vidět schéma systému a parametry jednotlivých částí a na Obr. 53 pak celkový pohled na tento akvaponický systém. Tým vedený J. Rakocym byl jedním z hlavních průkopníků v oblasti akvaponie a v rámci tohoto systému otestoval produktivitu řady rostlinných a rybích druhů a optimalizoval vhodný poměr obsádky ryb k pěstební ploše různých druhů rostlin. Jako u jednoho z mála jsou u tohoto systému známa ekonomická a produkční data při použití v podmínkách tropického i mírného pásma.



Rozměry nádrží:

Chovné nádrže: průměr 3 m, výška 1,2 m, objem 7 800 l

Čiřiče: průměr 1,8 m, výška 1,2 m, objem 3 785 l

Filtreační nádrže: délka 1,8 m, šířka 0,76 m, hloubka 0,61 m, objem 700 l

Hydroponické nádrže: délka 30,5 m, šířka 1,2 m, hloubka 0,61 m, objem 11 356 l

Čerpací jímka: průměr 1,2 m, výška 0,9 m, objem 606 l

Nádrž na úpravu vody: průměr 0,6 m, výška 0,9 m, objem 189 l

Celkový objem vody: 111 196 l

Průtok: 378 l.min⁻¹

Celková plocha: 0,05 ha

Velikosti potrubí:

Přítok do chovné nádrže: 10 cm

Z chovné nádrže do čiřiče: 10 cm

Z čiřiče do filtrační nádrže: 10 cm

Mezi filtračními nádržemi: 15 cm

Z filtrační do odplyňovací nádrže: 10 cm

Z odplyňovací do hydroponické nádrže: 15 cm

Mezi hydroponickými nádržemi: 15 cm

Z hydroponické nádrže do čerpací jímky: 15 cm

Obr. 52. Design akvaponického systému na Univerzitě na Panenských ostrovech (upraveno dle Rakocy, 2017).



Obr. 53. Pohled na akvaponický systém na Univerzitě na Panenských ostrovech (Rakocy a kol., 2006).

4. Srovnání novosti postupů

Takto koncipovaná certifikovaná metodika konstrukce recirkulačních akvaponických systémů není dosud v České republice k dispozici. Měla by být první z řady metodik určených pro akvaponický chov a pěstování. Metodika poskytuje konkrétní postupy a doporučení pro návrh a konstrukci akvaponických systémů. Kde to bylo možné, jsou uvedeny i tipy a rady, jak některé uvedené sofistikovanější postupy z komerčních systémů nahradit pro účely hobby variant.

5. Popis uplatnění certifikované metodiky

Předností předkládané metodiky je široká použitelnost jak pro odbornou, tak i laickou veřejnost. Je psána jako souhrn praktických rad pro ty, kdo chtějí akvaponické systémy budovat, a to ať v hobby měřítku, tak pro komerční účely. Vzhledem ke zvyšujícímu se zájmu o akvaponii nalezne metodika uplatnění u zájemců o hobby a menší komerční systémy.

6. Ekonomické aspekty

6.1. Hobby akvaponie

Následující kalkulace jsou vypočítány pro malý hobby Média bed systém s pěstebními záhony o ploše 3 m² a chovné nádrži o objemu 1 000 l. Pro jednoduchost kalkulace je počítáno s pěstováním salátu a rajčat, celoročním provozem systému, teplotou vody 23–26 °C a krmením kvalitního krmiva s obsahem proteinu 32 %.

Chovanou rybou je tlamoun nilský s celoroční obsádkou 10–20 kg. Ryby jsou krmeny denní krmnou dávkou 150 g. Hmotnost násadových ryb je 50 g a předpokládaná finální kusová hmotnost je 500 g za 6–8 měsíců. Vzhledem k tomu, že se jedná o hobby systém, není v kalkulacích počítáno s cenou lidské práce potřebné pro obsluhu systému.

Předpokládaný výnos rostlin je 20 hlávek salátu.m⁻².měsíc⁻¹ a 3 kg rajčat.m⁻².měsíc⁻¹.

Tab. 14. Celkové pořizovací náklady akvaponického systému (Somerville a kol., 2014).

Položka	Cena (Kč)
IBC kontejnery	4 000
Čerpadlo, vzduchovací pumpa, přípojky	2 400
Podpora záhonů-betonové tvarovky a dřevo	1 600
Křemičitý štěrk	300
Různé pomůcky – sítko a další	2 000
Rozvody vody	1 600
Celkem	11 900

Tab. 15. Celkové měsíční provozní náklady (upraveno dle Somerville a kol., 2014).

	Jednotka	Jednotek/měsíc	Cena za jednotku	Celkové náklady (Kč)
Rostliny	Semenáčky	35	2	70
Ryby	Násada	5	20	100
Elektřina	kWh	25	4	100
Voda	litr	450	0,06	27
Krmivo	kg	4,5	50	225
Ostatní	-	1	60	60
Celkem				582

*Hodnoty jsou odhadnuté a ilustrační. Jednoduše lze tyto hodnoty nahradit běžnými cenami v dané lokalitě a přepočítat tak aktuální provozní náklady.

Semenáčky: 35 semenáčků je průměrná hodnota vysazování na měsíc pro plochu 3 m², pokud je pěstováno 50 % listové zeleniny (20 rostlin.m⁻²) a 50 % plodové zeleniny (5 rostlin.m⁻²).

Násada ryb: Maximální roční produkce ryb je plánována na 30 kg ryb, což odpovídá 60 ks ryb o hmotnosti 500 g. Proto je potřeba nasadit 60 ks ryb.rok⁻¹ nebo 5 ryb.měsíc⁻¹.

Elektřina: 30 W čerpadlo + 5 W vzduchovací motůrek × 24 h × 30 dní / 1 000 = 25 kWh.měsíc⁻¹.

Krmivo: 50 g krmiva × 3 záhony × 30 dní = 4,5 kg krmiva.měsíc⁻¹.

Ostatní: Předpokládané náklady na úpravu pH, testy kvality vody a doplňková hnojiva.

Tab. 16. Předpokládaná roční produkce a příjmy z rostlin a ryb (Somerville a kol., 2014).

	Produkce	Jednotky	Cena jednotky (Kč)	Příjmy (Kč)
Saláty	360	hlávka	24	8 640
Rajčata	54	kg	32	1 728
Ryby	30	kg	160	4 800
Celkem				15 168

Produkce salátu: $1,5 \text{ m}^2$ (50 % pěstební plochy) \times 20 hlávek. $\text{m}^{-2}.$ měsíc $^{-1}$ ($1,5 \times 20$) = 30 hlávek.měsíc $^{-1}$. Produkce za rok činí $30 \times 12 = 360$ hlávek salátu.

Produkce rajčat: $1,5 \text{ m}^2$ (50 % pěstební plochy) \times 3 kg. m^{-2} rajčat za měsíc = 4,5 kg.měsíc $^{-1}$. Produkce za rok je $4,5 \times 12 = 54$ kg.

Produkce ryb: Násada je nasazená o průměrné hmotnosti 50 g, tržní ryby narostou do hmotnosti 500 g po 6–8 měsících. Průměrná hustota obsádky je 10–20 kg. m^{-3} . Průměrný výlov činí 5 ryb.měsíc $^{-1}$, tj. ekvivalent 2,5 kg.měsíc $^{-1}$, 30 kg ryb.rok $^{-1}$.

Tab. 17. Roční ekonomická analýza (upraveno dle Somerville a kol., 2014).

Celkové příjmy a náklady za rok	Celkem za rok (Kč)
Požizovací náklady	11 900
Roční provozní náklady	6 984
Roční příjmy	15 168
Roční čistý zisk	8 184
Návratnost pořizovacích nákladů (v měsících)	17,5

Upozornění: Použité kalkulace jsou založené na rozložení produkci ryb v zaběhnutém akvaponickém systému. V novém systému by předpokládané produkce byly nižší.

Pokud porovnáme finální hodnoty vypočtených provozních nákladů a předpokládaných ročních příjmů, je roční zisk tohoto systému 8 184 Kč. Návratnost pořizovacích nákladů tak činí 17,5 měsíc. Snížení pořizovacích nákladů (použití recyklovaných materiálů), snížení provozních nákladů (doplnkové krmivo pro ryby) nebo zvýšení příjmů (dražší rostliny, trh s organickými produkty apod.) by mohly dále zrychlit návratnost počáteční investice.

6.2. Komerční akvaponie

Pro úspěch komerční akvaponické farmy je v první řadě nutný dobrý podnikatelský plán, od kterého by se měl odvíjet design farmy. V mnohých případech bylo motorem pro vznik farmy nadšení majitelů farem, ovšem bez kvalitního podnikatelského plánu. Takové firmy velmi často zkrachovaly (Turnšek Hančič, ústní sdělení; Lennard, 2017). Klíčem k úspěchu je tedy v první řadě kvalitně provedený průzkum trhu, ekonomická analýza a dobrý podnikatelský plán. Druhým klíčem k úspěchu jsou dostatečné znalosti a zkušenosti s akvaponií. Pokud někdo plánuje postavit komerční akvaponickou farmu, měl by se s tímto systémem nejprve naučit dobře pracovat v hobby měřítku. Třetím klíčem k úspěchu je kvalitní design farmy vhodný pro plánované druhy produkovaných ryb a rostlin. Ten, kdo plánuje farmu postavit, by neměl šetřit na plánování a nechat si zpracovat projekt odborníky, kteří mají s tímto typem farem zkušenosti a dobré reference. Je nutné se vyhnout nadšencům

slibujícím zlatá vejce bez toho, že mají za sebou úspěšné a ekonomicky životaschopné realizace. Akvaponie je nákladný a rizikový business a určitě se vyplatí investovat do kvalitního plánu, než na něm šetřit a pak zkrachovat.

Majorita fungujících akvaponických komerčních farem jsou menší farmy do produkční plochy rostlin 1 000 m². Ty se většinou zaměřují na produkci speciálních plodin, přímý prodej či vysokou kvalitu s vyšší cenou, než jsou standardní velkoobchodní ceny. Pro jejich úspěch je nezbytné, aby byly schopné svůj produkt na trhu realizovat za co nejlepší ceny, měly velkou efektivitu práce (protože lidská práce zde tvoří nejvyšší náklad), zákaznický servis a byly schopné oslovit dobrý segment trhu ochotný zaplatit vyšší cenu (lokální restaurace, koneční spotřebitelé). Velmi často tyto farmy využívají jako další zdroj příjmů exkurze či služby malým hobby akvaponistům. Je nutné si uvědomit, že v prvním roce farmy nebude produkce optimální a že obvykle trvá 6–12 měsíců, než je farma optimalizována a dosáhne své plné produkce.

Pro velké farmy je potřeba jiného přístupu a minimální velikost pro konkurenceschopnost je zde alespoň 10 000 m² rostlinné plochy s podnikatelským plánem zaměřeným na velkoobchod. Lennard (2017) definuje zónu mezi 1 000–10 000 m² rostlinné plochy jako mrtvou zónu, kde je vysoká pravděpodobnost neúspěchu farmy. Takové farmy mají již příliš velkou produkci na to, aby ji byly schopny prodat konečným zákazníkům za vysokou cenu, a zároveň příliš malou, aby byly schopny být životaschopné na velkoobchodním trhu.

Tab. 18. Produkce a předpokládané ekonomické výsledky z akvaponického systému vyvinutého na Univerzitě na Panenských ostrovech v Crop Diversification Center South (Alberta, Kanada¹) (Rakocy a kol., 2006).

Plodina	Roční produkce		Velkoobchodní ceny		Hodnota produkce	
	kg.m ⁻²	tun.systém ⁻¹	jednotka	Kč.jednotka ⁻¹	Kč.m ⁻²	tis. Kč.systém ⁻¹
Rajčata	30,24	3,67	6,8 kg	356,23	1 531	382,75
Okurky	62,49	7,58	1,0 kg	32,57	1 975	493,75
Lilek	11,59	1,41	5,0 kg	531,45	1 183	295,75
Bazalka pravá	31,25	3,72	85 g	115,24	41 416	10 354,00
Bazalka citron	13,61	1,63	85 g	130,08	20 147	5 036,75
Bazalka purpur	7,06	0,86	85 g	144,92	11 812	2 953,00
Koriandr	19,15	2,31	85 g	159,56	35 139	8 784,75
Petržel	23,69	2,86	85 g	174,40	47 446	11 861,50
Šrucha zelná	17,64	2,13	85 g	189,04	38 656	9 664,00

¹ Ekonomické údaje vycházejí z velkoobchodních cen trhu v Calgary (Alberta, Kanada) ke dni 4. 7. 2003.

V odborné literatuře bohužel není příliš zdrojů zabývajících se ekonomikou akvaponických farem. Nejvíce prozkoumaným systémem, u kterého jsou dostupná ekonomická data, je systém vyvinutý týmem z Univerzity na Panenských ostrovech. Rakocy a kol. (2006) uvádějí jednak produktivitu systému při využití různých rostlin a druhů ryb včetně předpokládané ceny na trhu (Tab. 18). Z té je na první pohled jasné, že výběr druhů rostlin je zásadní pro ekonomickou úspěšnost farmy. Většina autorů se shoduje, že podnikatelský plán úspěšné akvaponické farmy je založen především na rostlinné části a příjem z produkce ryb je doplňkem.

7. Seznam použité literatury

- Adams, P., 1980. Nutrient uptake by cucumbers from recirculating solutions. *Acta Horticulturae* 98: 119–126.
- Affnan's Aquaponics, 2017. *Affnan's Valve - A Detailed Explanations of A Simple Item*. <http://www.affnanaquaponics.com/2010/02/affnans-valve-detailed-explanations-of_9459.html>. Navštíveno 3. prosince 2017.
- Aquaponic.be, 2017. *Best bell siphon ever explained*. <<https://www.youtube.com/watch?v=lyrvCqv5V0>>. Navštíveno 3. prosince 2017.
- Aquaponic Lynx, 2017. *Tanks*. <<http://www.aquaponiclynx.com/products/aquaponic-systems-and-components/tanks>>. Navštíveno 3. prosince 2017.
- Aquaponics how to, 2015. *DIY vertical aquaponics*. <http://aquaponichowto.com/wp-content/uploads/2014/04/diy-vertical-aquaponics-7.jpg>. Navštíveno 3. prosince 2017.
- AquaticEco. 2017. *How much oxygen will aeration device deliver: Tech talk 35*. <<https://pentairaes.com/media/docs/03-PAES-Master-Catalog-39th-Edition-Aeration.pdf>>. Navštíveno 3. prosince 2017.
- Ayuka, A.O., 2015. *Design of a recirculating aquaculture system*. <<http://ebe.uonbi.ac.ke/sites/default/files/cae/engineering/ebe/2015%20aquaculture%20pdf%20AYUKA.pdf>>. Navštíveno 3. února 2015.
- Battery.cz, 2018. *Kalkulačka*. <www.battery.cz/kalkulacka>. Navštíveno 5. listopadu 2018.
- Bleyaert, P., 2016. First results of a semi-practice combination of tomato and fish growth. Prezentace konference COST Aquaponic hub, Ljubljana, Slovenia.
- Blue Earth Sustainable, 2017. *Autogrow Systems – Nutridose Controller (AA-2100-000)*. *Autogrow Systems – Nutridose Controller (AA-2100-000)* <<https://blueearthsustainable.com/environmental-controllers/autogrow-systems-nutridose-controller-aa-2101-100>>. Navštíveno 3. prosince 2017.
- Bright Agrotech, 2015. *Zip grow towers*. <<http://shop.brightagrotech.com/zipgrow-the-realistic-vertical-farm>>. Navštíveno 10. června 2015.
- Brook, R., 2015. *The 3 Aquaponics Grow Bed Zones*. <<http://homeaquaponicssystem.com/basics/the-3-aquaponics-grow-bed-zones/>>. Navštíveno 3. února 2015.
- Chopin, T., 2006. Integrated multi-trophic aquaculture. What is it and why you should care... and don't confuse it with polyculture. *Northern Aquaculture* 12: 4.
- de Nijs, B., 2013. Low-tech flexible growing systems bears fruit for Indian growers. <<http://www.hortidaily.com/article/1005/Low-tech-flexible-growing-systems-bears-fruit-for-Indian-growers>>. Navštíveno 3. února 2015.
- DeLong, D., Losordo, T.M., Rakocy, J.E., 2009. Tank Culture of Tilapia. SRAC Publication No. 282.

- Dolan, E., Oliver, R., Murphy, N., O'Hehir, M., 2011. *A Test Method for Optimal Micro-screen Drum Filter Selection*. <<https://arrow.dit.ie/cgi/viewcontent.cgi?article=1003&context=engschmancon>>. Navštíveno 3. prosince 2017.
- Donaldson, G., 2017. *Urban Aquaponics Manual*. <<http://garydonaldson.net>>. Navštíveno 3. prosince 2017.
- E-cerpadla.cz, 2017. *Jak vybrat čerpadlo?* <<https://www.e-cerpadla.cz/page.html?chapter=0&id=3>>. Navštíveno 3. prosince 2017.
- Endnut, A., Jusoh, A., Ali, N., Wan Nik, W.B., Hassan, A., 2010. A study on the optimal hydraulic loading rate and plant ratios in recirculation aquaponic system. *Bioresource Technology* 101: 1511–1517.
- FAO, 2017. <http://www.fao.org/fishery/culturedspecies/Sander_luciperca/en>. Navštíveno 3. prosince 2017.
- GrayStone Creations, 2017. *EasyPro Bio-Balls Filter Media 1 cubic ft*. <https://www.graystonecreations.com/EasyPro-Bio-Balls-Filter-Media-1-cubic-ft_p_685.html>. Navštíveno 3. prosince 2017.
- Hallam, M., 2011. *DIY Aquaponics*. Ecofilms Australia, Austrálie, DVD.
- Halliday, 2007. *Cycling graph*. <http://theaquariumwiki.com/wiki/File:Cycling_graph.png>. Navštíveno 3. února 2015.
- Hillyer, C.D., 2007. Is aquaponics the agriculture of the future? *INFORM – International News on Fats, Oils and Related Materials* 18: 83–85.
- Homegrown Hydroponics, 2017. *Gardens and Grow Media*. <<https://hydroponics.com/hydroponics-in-your-home/gardens-and-grow-media/>>. Navštíveno 3. února 2017.
- Hughey, T.W., 2005. *Barrel-ponics. a.k.a. Aquaponics in a Barrel*. <<http://www.aces.edu/dept/fisheries/education/documents/barrelponics.pdf>>. Navštíveno 14. března 2014.
- In-Eko.cz, 2018. *Diskový filtr*. <<https://www.in-eko.cz/produkty/mikrofiltrace-a-filtrace-diskovy-filtr/#diskovy-filtr>>. Navštíveno 3. listopadu 2018.
- Inapro-project.eu, 2018. *Inapro*. <www.inapro-project.eu>. Navštíveno 5. listopadu 2018.
- Jezírka e-shop, 2017. <<https://www.jezirka-eshop.cz>>. Navštíveno 5. listopadu 2018.
- Kloas, W., Wuertz, S., Rennert, B., 2011. *Integration of aquaculture and hydroponic into a (nearly) emission free aquaponic system assuring recycling of process water in urban farming*. <http://media.wix.com/ugd/320218_015bbf6a35bf4b89b9040e589e99f0f0.pdf>. Navštíveno 2. prosince 2017.
- Kouřil, J., Drozd, B., Prokešová, M., Stejskal, V., 2012. Intenzivní chov keříčkovce jihoafrického – sumečka afrického (*Clarias gariepinus*). *Edice Metodik, FROV JU, Vodňany, č. 138, 60 s.*
- Kouřil, J., Mareš, J., Pokorný, J., Adámek, Z., Randák, T., Kolářová, j., Palíková, M., 2008. Chov lososovitých druhů ryb, lipana a síhů. *Výzkumný ústav rybářský a hydrobiologický, Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, 141 s.*

- Kouřil, J., Matoušek, J., 2008 Využití tepelných čerpadel v akvakultuře. Edice Metodik, FROV JU, Vodňany, č. 87, 20 s.
- Lennard, W., 2017. Commercial aquaponic systems. Integrating recirculating fish culture with hydroponic plant production. Wilson Lennard, Austrálie, 375 s.
- Lepil, O., 1999. Přístroje spotřební elektroniky ve školní experimentální technice. WWW:<http://kdf.mff.cuni.cz/veletrh/sbornik/Veletrh_04/04_12_Lepil.html>. Navštíveno 14. března 2018
- Michaud, L., Blancheton, J.P., Bruni, V., Piedrahita, R., 2006. Effect of particulate organic carbon on heterotrophic bacterial populations and nitrification efficiency in biological filters. *Aquacultural Engineering* 34: 224–233.
- Nichols, M.A., Savidov, N.A., 2012. Aquaponics: A nutrient and water efficient production system, pp. 129–132.
- Pearson, T., 2012. *Aquaponics. The Aquaponics Gardening Community*. <http://community.theaquaponicsource.com/photo/aquaponics-5-12-2012-002?xg_source=activity>. Navštíveno 14. března 2014.
- Polcar, T., Samarin, A.M., Mélard, C., 2015. Culture Methods of Eurasian Perch During On-growing. In: Kestemont, P., Dabrowski, K., Summerfelt, R.C. (Eds), *Biology and Culture of Percid Fishes – Principles and Practices*. Springer Netherlands. 417–737.
- Pranger, 2017. <<http://prangerent.com/aquaculture/>>. Navštíveno 3. prosince 2017.
- Rakocy, J.E., Masser, M.P., Losordo, T.M., 2006. Recirculating Aquaculture Tank Production Systems: Aquaponics–Integrating Fish and Plant Culture. SRAC Publication No. 454.
- Rakocy, J., 2007. *Ten Guidelines for Aquaponic Systems*. <<http://aquaponics.com/media/docs/articles/Ten-Guidelinesfor-Aquaponics.pdf>>. Navštíveno 8. března 2014.
- Rakocy, J.E., Bailey, D.S., Shultz, C., Thoman, E.S., 2017. *Update on tilapia and vegetable production in the UVI aquaponic system*. <<https://cals.arizona.edu/azaqua/ista/ista6/ista6web/pdf/676.pdf>>. Navštíveno 28. listopadu 2017.
- Resh, H.M., 2013. *Hydroponic Food Production, a Definitive Guidebook for the Advanced Home Gardener and the Commercial Hydroponic Grower*. 7. vydání, CRC Press, Boca Raton, Florida, USA, 524 pp.
- Reefbuilders, 2017. <<https://reefbuilders.com/>>. Navštíveno 28. listopadu 2017.
- 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*, Řím, Technical Paper 589, 288 s.
- Spensley, K., Winsor, G.W., 1978. Nutrient film technique, crop culture in flowing nutrient solution. *Outlook on Agriculture* 9: 299–305.
- Storey, N.R., 2012. Vertical hydroponic plant production apparatus. Patent č. US 8327582 B2.
- Stout, M., 2013. *The Complete Idiot's Guide to Aquaponic Gardening*. Alpha books, Indianapolis, USA, 336 pp.

- Strange, R.J., 2004. *Solid waste. Recirculation Aquaculture*. <<http://web.utk.edu/~rstrange/wfs556/html-content/10-solids.html>>. Navštíveno 3. února 2015.
- Thorarinsdottir, I.R., 2015. *Aquaponics guidelines*. <https://www.researchgate.net/publication/282732809_Aquaponics_Guidelines>. Navštíveno 3. prosince 2017.
- Timmons, M.B., Summerfelt, S.T., Vinci, B.J., 1998. Review of circular tank technology and management. *Aquacultural Engineering* 18: 51–69.
- Timmons, M.B., Ebeling, J.M., 2010. *Recirculating aquaculture*. Cayuga Aqua Ventures, LLC, 2nd edition, 948 s.
- Toner, D., 2015. The Market for Eurasian Perch. In: Kestemont, P., Dabrowski, K., Summerfelt, R.C. (Eds), *Biology and Culture of Percid Fishes – Principles and Practices*, Springer Netherlands, 865–891.
- True aquaponics, 2017. *Auto Siphons*. <<http://trueaquaponics.com/auto-siphons.html>>. Navštíveno 3. prosince 2017.
- Winsor, G.W., Adams, P., Massey, D., 1980. New light on nutrition. *Grower* 93(8): 99, 103.

8. Seznam publikací, které předcházely metodice

- Dovalil, B., 2014. Chov ryb v akvaponickém systému. Bakalářská práce, Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Fakulta rybářství a ochrany vod, České Budějovice, 100 s.
- Kouba, A., 2012. Vývoj technologie likvidace odpadních kalů z RAS pro chov ryb pomocí vermikompostování. Závěrečná zpráva projektu CZ.1.25/3.1.00/11.00257 OP rybářství, 54 s.
- Kouba A., Lunda R., Hlaváč D., Kuklina I., Hamáčková J., Randák T., Kozák P., Koubová A., Buřič M., 2018. Vermicomposting of sludge from recirculating aquaculture system using *Eisenia andrei*: Technological feasibility and quality assessment of end-products, Journal of Cleaner Production 177: 665–673.
- Kouba, A., Hlaváč, D., Kuklina, I., Hamáčková, J., Másílko, J., Mráz, J., Kozák, P., Koubová, A., Buřič, M., 2017. Vermikompostování kalů ze sladkovodních akvakulturních recirkulačních systémů a zhodnocení kvality finálních vermikompostů a biomasy žížal. Ověřená technologie. FROV JU, Vodňany, 49 s.
- Kouřil, J., Hamáčková, J., Stejskal, V., 2013. Recirkulační akvakulturní systémy pro chov ryb. (2. vydání), Edice Metodik, FROV JU, Vodňany, č. 85, 53 s.
- Kouřil, J., Matoušek, J., 2008 Využití tepelných čerpadel v akvakultuře. Edice Metodik, FROV JU, Vodňany, č. 87, 20 s.
- Lang, Š., Kopp, R., Brabec, T., Vítek, T., Mareš, J., 2011. Optimalizace hydrochemických parametrů v recirkulačním systému pro chov ryb: I. Stabilizace kyselinové neutralizační kapacity a snížení toxicity dusitanů v recirkulačním systému dánského typu. Mendelova univerzita v Brně, 25 s.
- Lang, Š., Kopp, R., Mareš, J., 2015. Metodika záběhu biologického filtru v intenzivním recirkulačním zařízení dánského typu pro chov ryb. Mendelova univerzita v Brně, 21 s.
- Lang, Š., Kopp, R., Mareš, J., 2015. Ověřená technologie ovlivnění záběhu biologického filtru v intenzivním recirkulačním zařízení dánského typu pro chov ryb. Mendelova univerzita v Brně, 25 s.
- Mráz, J., Dovalil, B., 2015. Akvaponické systémy – intenzivní chov ryb spojený s pěstováním rostlin. In: Polícar, T., Svačina, P. (Eds), Potenciál recirkulačních akvakulturních systémů (RAS) pro české produkční rybářství. FROV JU, Vodňany, 97–105 s.
- Svobodova, Z., Machova, J., Poleszczuk, G., Huda, J., Hamackova, J., Kroupova, H., 2005. Nitrite poisoning of fish in aquaculture facilities with water-recirculating systems. Acta Veterinaria 74: 129–137.

9. Dedikace a oponenti

Dedikace

Metodika je výsledkem řešení výzkumného projektu Národní agentury pro zemědělský výzkum č. **QJ1510119** s názvem „Efektivní a dlouhodobě udržitelné využívání živin v intenzivní akvakultuře s využitím multitrofických systémů“ (70 %), dále MŠMT projektu č. **CZ.1.05/2.1.00/01.0024** s názvem „Jihočeské výzkumné centrum akvakultury a biodiverzity hydrocenóz“ (10 %), a MŠMT projektu CENAKVA II v rámci programu NPU I č. **LO1205** s názvem „Udržitelnost a excellence centra akvakultury a biodiverzity hydrocenóz“ (10 %), a GAJU projektu č. **060/2016/Z** s názvem „Inovace pro dlouhodobě udržitelný rozvoj akvakultury“ (10 %).

Externí odborný oponent

prof. Ing. Lukáš Kalous, Ph.D., Česká zemědělská univerzita v Praze, Kamýcká 129, 165 00 Praha 6 – Suchdol

Interní odborný oponent

Ing. Miloš Buřič, Ph.D., Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Fakulta rybnářství a ochrany vod, Jihočeské výzkumné centrum akvakultury a biodiverzity hydrocenóz, Výzkumný ústav rybnářský a hydrobiologický, Zátíší 728/II, 389 25 Vodňany, www.frov.jcu.cz

Oponent za státní správu

Ing. Petr Chalupa, Ph.D., Ministerstvo zemědělství, Odbor státní správy lesů, myslivosti a rybnářství, Těšnov 65/17, 110 00 Praha 1

Osvědčení o uplatněné certifikované metodice č. 72557/2018 ze dne 17.12.2018

Adresa autorského kolektivu

doc. Ing. Jan Mráz, Ph.D., Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Fakulta rybnářství a ochrany vod, Jihočeské výzkumné centrum akvakultury a biodiverzity hydrocenóz, Ústav akvakultury a ochrany vod, Na Sádkách 1780, 370 05 České Budějovice, www.frov.jcu.cz (70 %)

Ing. Roman Lunda, Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Fakulta rybnářství a ochrany vod, Jihočeské výzkumné centrum akvakultury a biodiverzity hydrocenóz, Ústav akvakultury a ochrany vod, Na Sádkách 1780, 370 05 České Budějovice, www.frov.jcu.cz (20 %)

Ing. Vlastimil Stejskal, Ph.D., Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Fakulta rybnářství a ochrany vod, Jihočeské výzkumné centrum akvakultury a biodiverzity hydrocenóz, Ústav akvakultury a ochrany vod, Na Sádkách 1780, 370 05 České Budějovice, www.frov.jcu.cz (10 %)

V edici Metodik (technologická řada) vydala Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Fakulta rybnářství a ochrany vod, Vodňany, www.frov.jcu.cz; přidělený editor: Ing. Antonín Kouba, Ph.D.; jazyková korektura: Ing. Markéta Prokešová, Ph.D., redakce: Zuzana Dvořáková; náklad: 200 ks, 1. vydání; metodika uplatněna v roce 2018.