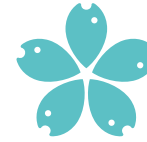




Fakulta rybnářství
a ochrany vod
Faculty of Fisheries
and Protection
of Waters

Jihočeská univerzita
v Českých Budějovicích
University of South Bohemia
in České Budějovice



Fakulta rybnářství
a ochrany vod
Faculty of Fisheries
and Protection
of Waters

Jihočeská univerzita
v Českých Budějovicích
University of South Bohemia
in České Budějovice

Technologie a technické prvky recirkulačních akvakulturních systémů pro chov ryb

Vlastimil Stejskal, Radek Gebauer, Jan Matoušek,
Roman Šebesta, Markéta Prokešová, Jan Mráz,
Jan Kouřil



ISBN 978-80-7514-110-1





Fakulta rybnářství
a ochrany vod
Faculty of Fisheries
and Protection
of Waters

Jihočeská univerzita
v Českých Budějovicích
University of South Bohemia
in České Budějovice

Technologie a technické prvky recirkulačních akvakulturních systémů pro chov ryb

Vlastimil Stejskal, Radek Gebauer, Jan Matoušek,
Roman Šebesta, Markéta Prokešová, Jan Mráz, Jan Kouřil

Vodňany



EVROPSKÁ UNIE
Evropský námořní a rybářský fond
Operační program Rybářství

**Vydání a tisk publikace byly uskutečněny v rámci Operačního programu
Rybářství 2014–2020:**

„Publikace V“ CZ.10.5.109/5.2/4.0/18_012/0000595

**Obsahová část publikace byla zpracována za finanční podpory
následujících projektů:**

*NAZV QJ1510119 Efektivní a dlouhodobě udržitelné využívání živin v intenzivní
akvakultuře s využitím multitrofických systémů – 85 %*

MŠMT – CENAKVA II (LO1205 v rámci programu NPU I) – 5 %

MŠMT – Jihočeské výzkumné centrum akvakultury a biodiverzity hydrocenóz

(OPV a Vpl, CZ.1.05/2.1.00/01.0024) – 5 %

GAJU 060/2016/Z Inovace pro dlouhodobě udržitelný rozvoj akvakultury – 5 %



č. 174

ISBN 978-80-7514-110-1

OBSAH

1. ÚVOD DO PROBLEMATIKY	7
2. CÍL	8
3. MÍSTO OVĚŘENÍ TECHNOLOGIE	8
4. POPIS TECHNOLOGIE	8
5. EKONOMICKÝ PŘÍNOS	100
6. UPLATNĚNÍ TECHNOLOGIE V PRAXI	100
7. SEZNAM LITERATURY	100

1. ÚVOD DO PROBLEMATIKY

Recirkulační akvakulturní systémy (RAS) umožňují intenzivní chov a produkci ryb v kontrolovaných podmínkách. Přemístění části produkce ryb do těchto bezpečnějších (nejen z hlediska predátorů) a lépe kontrolovatelných podmínek by mohlo významně pozvednout produkci ryb v ČR. Potenciálem RAS je diverzifikace nabídky druhového spektra, ale také flexibilita výroby, která v akvakultuře vede k významnému zvýšení konkurenceschopnosti.

V současné době se RAS většinou sestavují z odchovné nádrže, automatického mechanického filtru (bubnový nebo diskový) a biologického filtru (zkrápěný či ponořený s pevným nebo pohyblivým ložem). V některých případech jsou instalovány také denitrifikační věže (zdrojem uhlíku je obvykle methylalkohol) pro snížení spotřeby dopouštěné vody. Odchovné nádrže jsou obvykle vyráběny pro všechny velikostní kategorie ryb. Většinou bývají plastové nebo betonové opatřené nátěrem a mají pravouhlý nebo kruhový půdorys. RAS farmy bývají většinou zastřešené a používají prvky klasických RAS.

Stávající technologie RAS umožňují chov ryb v optimálních podmínkách zajišťujících maximální růst chovaných ryb. Vhodnou teplotou, chemizmem vody a vyváženou kompletní krmnou směsí lze zkrátit růstový interval pro dosažení tržní hmotnosti ryb, případně požadované kategorie násadových ryb. Investiční náročnost spolu s nedostatkem informací a zkušeností však brání širšímu využití RAS pro produkci hospodářsky významných druhů ryb. Losordo a kol. (1998) uvádějí investiční náklady pro rybníční systémy ve výši 0,41 USD/kg.rok⁻¹ ve srovnání s náklady RAS, které činí 0,45–1,81 USD/kg.rok⁻¹. Produkce ryb v RAS je tedy efektivní a rentabilní pouze při použití vysokých hustot obsádek odchovávaných ryb, s čímž jsou také spojeny velmi vysoké nároky na udržení nebo úpravu kvality vody.

Technologie RAS začala být ve světě rozvíjena z různých důvodů. V USA byla důvodem sezónnost produkce tilapie v jižněji položených rybníčních systémech. V Norsku využití kontrolovaného prostředí RAS vede ke stabilní produkci smoltů lososa, větších a odolnějších ryb pro klecové chovy a lepší kontrole procesu smoltifikace. V Dánsku podnítilo vysoké promoření povrchových vod patogenními organizmy (virového i bakteriálního původu) a s tím spojené časté problémy v klasických průtočných farmách vyšší využívání RAS systémů (změnu chovné technologie). Zatímco v Holandsku stojí za využitím RAS systémů neutuchající poptávka po tržních úhořích. Farmy s RAS se však budují i v pouštních oblastech, např. farma pro výrobu kaviáru v Abu Dhabi (plánovaná produkce 35 tun/rok).

2. CÍL

Cílem předložené technologie je poskytnout informace o konstrukčních řešeních, designu, účinnosti a výhodách či nevýhodách jednotlivých prvků RAS pro chov ryb.

3. MÍSTO OVĚŘENÍ TECHNOLOGIE

Některé komponenty RAS byly testovány v experimentálních zařízeních Fakulty rybářství a ochrany vod Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích (FROV JU). Využití dalších prvků RAS bylo prakticky zkoušeno v prostorech rybí farmy a podniku vyrábějícího komponenty RAS (Agrico, s. r. o.).

4. POPIS TECHNOLOGIE

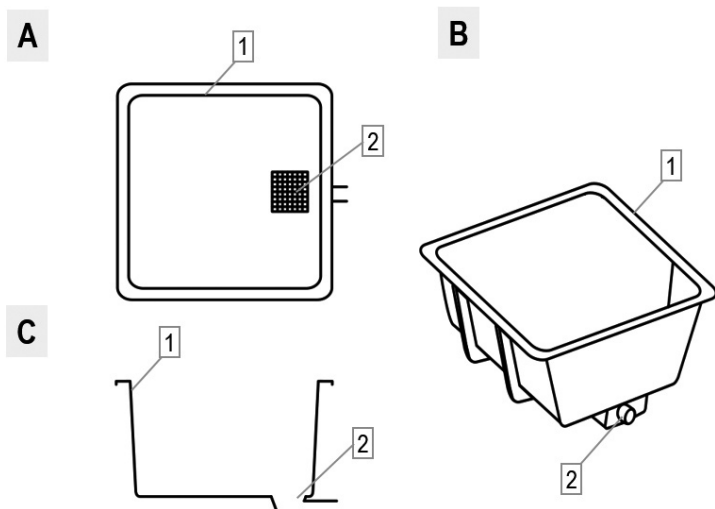
Recirkulační akvakulturní systémy jsou produkční systémy pro chov ryb či jiných organizmů, kde je voda opakovaně využívána díky různým prvkům pro mechanické a biologické čištění vody. Tyto systémy zahrnují součásti pro odstraňování nerozpuštěných látek (exkrementů, případně zbytků krmiv a uvolněných bakteriálních nárostů) pomocí principů sedimentace nebo mechanické filtrace (případně flotace). V některých případech se využívá i kombinace sedimentace a mechanické filtrace. Produkt metabolismu ryb, toxický amoniak, je v těchto systémech odstraňován procesem nitrifikace v biologických filtrech různé konstrukce. Nové a vysoce sofistikované RAS jsou vybavovány i denitrifikační jednotkou pro přeměnu dusičnanů na inertní plynný dusík pomocí procesu denitrifikace. Průběh denitrifikace je podmíněn dávkováním organického uhlíku (např. metylalkohol). Další úpravy recirkulované vody zpravidla zahrnují odplynění (zejména snížení obsahu ve vodě rozpuštěného oxidu uhličitého, případně dusíku), úpravu pH, zvýšení obsahu ve vodě rozpuštěného kyslíku (pomocí aerace či oxygenace), případně též dezinfekci vody (pomocí ozonizace nebo UV záření) a úpravu teploty vody (ohřev). Nedílnou součástí RAS jsou systémy měření, regulace a řízení provozu a signalizace mezních hodnot a stavů (včetně využití dálkové kontroly a přenosu dat). Konstrukce recirkulačních systémů se orientuje různými směry, zejména s cílem zvýšení provozní spolehlivosti a snížení energetických vstupů pro provoz RAS.

4.1. Odchovné nádrže – konstrukce, hydraulika a hydrodynamika

Konstrukce a hydrodynamika odchovných nádrží jsou v RAS klíčovými parametry. Kromě celkové produktivity RAS ovlivňují také samočisticí schopnost systému, chování a welfare ryb. Nádrže pro RAS jsou vyráběny z různých materiálů. Důležité je, aby materiál nádrže byl inertní (nereagoval s vodou nebo neuvolňoval pro ryby toxické látky) a poměrně levný. Nejčastěji používanými materiály jsou sklolaminát, polyetylén, polypropylén, PVC textilie uvnitř konstrukcí a beton.

Plastové nádrže (sklolaminát a polyetylén) jsou zcela inertní, snadno se čistí a sterilizují. Polyetylenové nádrže však nejsou tak silné nebo tuhé jako nádrže ze sklolaminátu, a pokud nejsou nějakým způsobem vyztuženy, nepoužívají se ve větších rozměrech (obvykle nad 2 m v průměru). Velké nádrže jsou obvykle dodávány v kusech a sestavovány na místě. Sklolaminát, ačkoliv není nejlevnějším materiálem, je nejoblíbenější díky své síle a trvanlivosti, nicméně sortiment nádrží včetně barevného vyhotovení je poměrně omezený na prefabrikované výrobky (různé v závislosti na výrobcích). Litý beton se používá pro největší nádrže, cement používaný v této technologii je ovšem velmi alkalický a může zvýšit pH vody. Nové technologie vibrovaných smontovatelných betonových nádrží tuto nevýhodu odstraňují. Výsledné nádrže bývají poněkud porézní a obtížně dezinfikovatelné. Lze však využít dvousložkový epoxidový nátěr k vytvoření nepropustného povlaku (další zvýšení nákladů).

Nádrže jsou buď čtvercového (obr. 1), obdélníkového nebo kruhového tvaru. Největší recirkulační nádrže jsou obvykle obdélníkového půdorysu. Kruhové nádrže mají ale výhodu, že jsou do určité míry samočisticí.



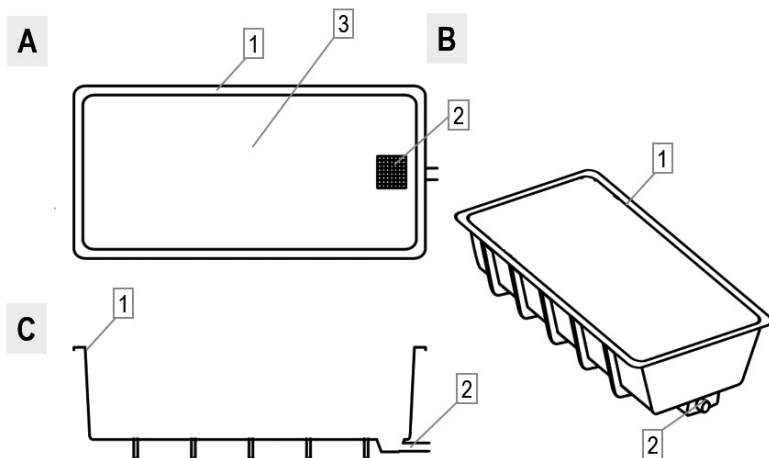
Obr. 1. Schéma čtvercové odchovné nádrže s jednoduchým odtokem: (A) pohled shora, (B) izometrický pohled a (C) příčný řez nádrží. Číslo (1) označuje stěnu a (2) odtok nádrže.

Čtvercové nádrže a obdélníkové žlaby

Nádrže obdélníkového tvaru neboli žlaby (obr. 2) jsou hojně využívány v průtočných systémech pro chov lososovitých druhů ryb, které svým aktivním pohybem zlepšují hydrodynamiku nádrže a tím i její samočisticí schopnosti (Timmons a kol., 1998). Tyto nádrže lze úspěšně využít v RAS, jako jsou např. farmy „dánského“ typu.

Pro dosažení lepší hydrodynamiky vody mívají žlaby většinou poměr stran kolem 1 : 10. U jednoduchých instalací je přítok vody vyvýšený, zatímco odtok u dna odvádí výkaly a nespotřebované krmivo. Podélné žlaby většinou nemají hloubku větší než jeden metr, což je kromě zajištění lepší hydrodynamiky také vhodné z hlediska vizuální kontroly obsádky. Mírný spád žlabu zlepšuje odvod sedimentovaných částic. Odchovné žlaby jsou v RAS zapojeny za jednotkou pro biologické čištění vody, popř. za jednotkami pro úpravu vody (aerátory, UV lampy, ozonizátory). Vzhledem k nižší samočisticí schopnosti žlabů může být voda předčištěna před samotnou mechanickou filtrací pomocí odstředivých separátorů (tzv. vortexů).

TECHNOLOGIE A TECHNICKÉ PRVKY RECIRKULAČNÍCH AKVAKULTURNÍCH SYSTÉMŮ PRO CHOV RYB



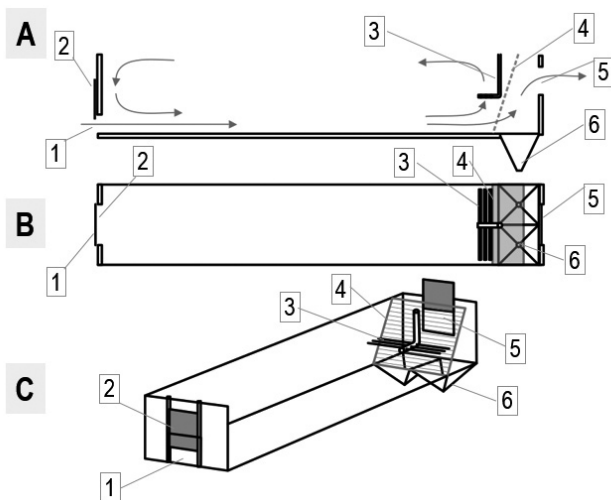
Obr. 2. Schéma obdélníkové nádrže (žlabu) s jednoduchým odtokem: (A) pohled shora, (B) izometrický pohled a (C) podélný řez nádrží. Číslo (1) značí stěnu, (2) odtok a (3) dno odchovného žlabu.

Hlavní výhodou odchovných žlabů je kompletní využití zastavěného prostoru pro odchov ryb (o 20 % více ve srovnání s kruhovými nádržemi) a jednoduchá manipulace s rybami při výlovu či třídění (Timmons a kol., 1998). Žlaby mohou být vyrobeny z řady dostupných materiálů (beton, plast, sklolaminát, gumotextilie). Nevýhodou žlabů je především jejich snížená samočisticí schopnost a špatná hydrodynamika v rozích nádrží, které je nutné periodicky manuálně čistit. Pro dosažení vyšší samočisticí schopnosti je nutné zajistit větší přítok vody ve srovnání s kruhovými nádržemi, tedy instalovat silnější čerpadla (výměna vody 1–4krát za hodinu). Jednoduché přítoky mají za následek gradient kvality vody a nerovnoměrnou distribuci obsádky především ve velkých nádržích. Nejvíce ryb (jsou zde druhová specifika) je zpravidla u přítoku, a tím nedochází k využití celého objemu nádrže. Samočisticí schopnost a produkční potenciál podélných žlabů je možné zlepšit zapojením airliftu (nízkotlaký difúzer) a sedimentačních kónusů, instalací modifikovaných podélných přítoků a odtoků (Watten a Johnson, 1990) nebo využitím tzv. segmentovaného žlabu s dvojitým odtokem (Labatut a kol., 2007; Watten a kol., 2000).

Odchovný žlab recirkulačního systému „dánského“ typu

V takzvaných RAS „dánského typu“ jsou jako odchovné nádrže často využívány obdélníkové betonové žlaby (obr. 3). Navzdory horší hydrodynamice

obdélníkových nádrží je samočisticí schopnost těchto odchovných žlabů vysoká díky vhodné pozici přítoku (umístěn u dna), sekundární rotaci vody pomocí airliftu a přítomnosti sedimentačních kónusů (Martins a kol., 2010). Toto uspořádání tvoří žlab s přítokovým otvorem opatřeným šoupětem. Airlift je umístěn nade dnem před deskou oddělující chovnou a sedimentační část žlabu. Pod úroveň airliftu je namísto desky mříž, za kterou se vedle sebe nachází dva sedimentační kónusy s dnovou výpustí (gumový uzávěr na lanku). Odtok ze žlabu je situován v horní části zadní stěny tak, aby byla zajištěna sedimentace nerozpuštěných částic.



Obr. 3. Schéma odchovného žlabu RAS „dánského“ typu: (A) směr proudění vody, (B) pohled shora, a (C) izometrický pohled. Číslo (1) značí přítok vody, (2) regulaci přítoku (hradítko), (3) rozvod vzduchu (airlift), (4) mříž, (5) odtok a (6) sedimentační kónus (upraveno podle Mareš a kol., 2013).

Odchovné žlaby jsou v RAS „dánského“ typu zapojeny za hlavním difusérem zajišťujícím oběh vody v horizontálním RAS. Odtokem je voda ze žlabu odváděna do mechanického filtru, zatímco ze sedimentačních kónusů teče voda do odpadní jímky. Tyto odchovné žlaby zajišťují optimální hydrodynamiku vody, což má za následek efektivní využití nádrže rybami a samočisticí schopnosti nádrže. Kromě vylepšení kyslíkových poměrů způsobuje airlift rotaci vody v nádrži, kdy jsou nerozpuštěné částice unášeny při dně přes mříž do sedimentačních kónusů (Roque d’Orbecastel a kol., 2009). Deska má za úkol zabránit rotačnímu pohybu vody v sedimentační části nádrže a směřovat

TECHNOLOGIE A TECHNICKÉ PRVKY RECIRKULAČNÍCH AKVAKULTURNÍCH SYSTÉMŮ PRO CHOV RYB

sekundární pohyb vody ve žlabu. Sedimentační kónusy zajišťují nevyplavování sedimentovaných látek díky strmým stěnám kónusů.

Obdélníkové žlaby nabízejí větší odchovnou plochu v porovnání s kruhovými nádržemi (v rámci zastavěné plochy), jednodušší manipulaci, výlov a třídění ryb (často pomocí speciálně konstruovaných přibližovacích mříží) (Mozes a Conijeski, 2004). Mezi nevýhody patří nutnost pravidelného manuálního odkalení sedimentačních kónusů nejlépe 2–3 hodiny po ranním krmení (Mareš a kol., 2013), protože v tomto čase se v kónusu hromadí nejvíce materiálu. V rozích nádrží se mohou vytvářet mrtvé zóny bez rotace vody. Při zajištění správných fyzikálně-chemických podmínek je však efektivita těchto žlabů stejná či vyšší než v průtočných systémech (Roque d'Orbcastel a kol., 2009).

Celkový koncept RAS „dánského“ typu

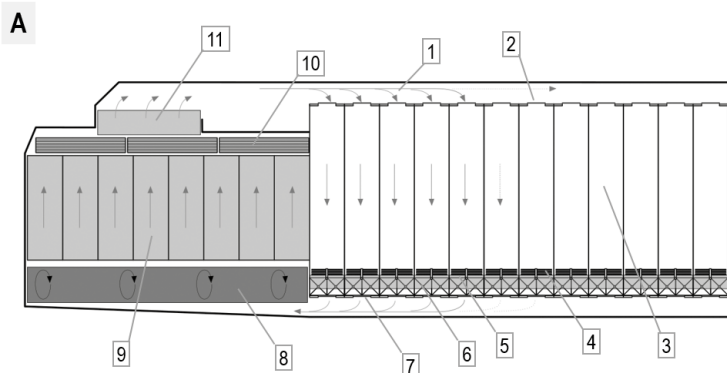
Recirkulační akvakulturní systém „dánského“ typu (obr. 4) je horizontální farma využívající pro koloběh vody nízkotlaké difuzéry (tzv. airlifty). Tato technologie byla vyvinuta v Dánsku, kde vládní směrnice určují a kontrolují složení a množství odpadních vod z rybích farem a množství odebírané povrchové vody pro účely chovu ryb.

Airlifty zajišťují cirkulaci vody (vlivem rozdílné výšky hladiny vody na úrovni 10–15 cm), vhodné podmínky pro nitrifikaci, kyslík pro chované ryby a výměnu plynů, což má pozitivní vliv na ekonomiku chovu (Mozes a Conijeski, 2004). Hlavní airlift pohání vodu do přítokového kanálu, která je následně přiváděna přes šoupata (hradítka) do odchovných žlabů. Správná hydrodynamika (a tedy i samočištění) je v odchovných žlabech zajištěna vhodně umístěným airliftem a sedimentačními kónusy v zadní části nádrže. Ze sedimentačních kónusů je voda odváděna do jímky. Přes odtoková okna je voda ze všech žlabů sbírána do odtokového kanálu, odkud proudí do biologického filtru s plovoucími elementy a do biologického filtru s ponořeným médiem. Za biofiltrem se nachází aerátory, jejichž hlavní funkcí je odplynění oxidu uhličitého vzniklého při nitrifikaci v biologickém filtru.

Hlavní výhodou RAS „dánského“ typu je nízká energetická náročnost (1,9–3,5 kWh.kg⁻¹ produkce ryb) a nutnost doplňovat pouze 1–1,5 % vody denně (Roque d'Orbcastel a kol., 2009), ale při vysoké intenzitě chovu lososovitých ryb až 60 kg.m⁻³ (Ellis a kol., 2002). Nízkotlaké difuzéry zajišťují kromě cirkulace vody také efektivní výměnu plynů (okysličení a odvod oxidu uhličitého). Zahuštěný kal z jímky lze dále využít (např. kompostování, bioplyn). Při zužitkování kalu je množství produkovaného odpadu minimální. Potřeba vody se pohybuje kolem 10 m³.kg⁻¹ použité krmné směsi, což představuje stokrát menší objem vody ve srovnání s průtočnými systémy (Blancheton a kol., 2007).

Při zastřešení RAS lze dosáhnout celoroční efektivní produkce tržních ryb i v klimatických podmínkách ČR.

Nevýhodou RAS obecně je však jejich náchylnost na kvalitu vody vzhledem k vysokému stupni intenzifikace (Martins a kol., 2010).



Obr. 4. Půdorys RAS „dánského“ typu: (1) přítokový kanál, (2) přítoky do odchovných nádrží (hradítka), (3) odchovné nádrže, (4) airlifty, (5) dělicí mříže, (6) sedimentační kónusy, (7) odtokový kanál, (8) biologický filtr s plovoucím médiem, (9) osmikomorový biologický filtr s ponořeným médiem, (10) airlift pro odplynění vody a (11) hlavní airlift zajišťující cirkulaci vody v systému. Šipky znázorňují směr proudění vody v systému (upraveno podle Mareš a kol., 2013).

Oválné nádrže

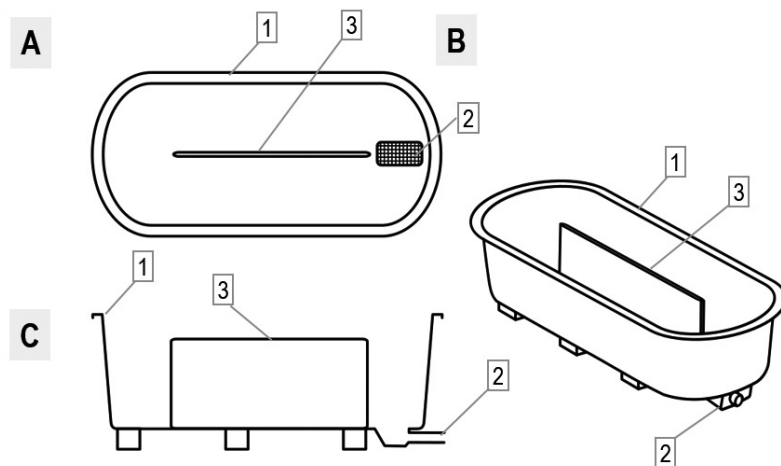
Oválné nádrže (anglicky tzv. „D-ended tanks“ – obr. 5) jsou hojně využívány v chovu tilapií, jeseterů, mořských a reofilních druhů ryb, ale i krevet (DeLong a kol., 2009). Na výrobu těchto nádrží lze použít řadu dostupných materiálů včetně betonu nebo sklolaminátu.

Středová dělicí stěna slouží pro zlepšení hydrodynamiky, přičemž je možné instalovat i přídavné airlifty, které kromě výměny plynů zajišťují pohyb vody. Odchovné nádrže jsou v RAS zapojeny za jednotkou pro biologické čištění vody, popř. za jednotkami pro úpravu vody (aerátory, UV lampy, ozonizátory). Z odchovných nádrží může být voda předčištěna ve vortexu nebo je odváděna přímo do mechanických filtrů.

Hlavní výhodou oválných nádrží je efektivnější využití zastavěného prostoru daného zařízení ve srovnání s kruhovými nádržemi. Ve srovnání se žlaby nepotřebují tyto nádrže tak vydatný průtok vody, protože svým tvarem, středovou stěnou a přídavnými airlifty zajišťují efektivní samočištění, čímž je navíc minimalizován výskyt mrtvých zón (Malone, 2013).

TECHNOLOGIE A TECHNICKÉ PRVKY RECIRKULAČNÍCH AKVAKULTURNÍCH SYSTÉMŮ PRO CHOV RYB

Nevýhodou oválných nádrží je vyšší pořizovací cena a komplikovanější výlov ryb způsobený středovou stěnou. Oválné nádrže je možné využít např. u larválních stadií některých druhů mořských ryb, kde mají tyto nádrže pozitivní vliv na přežívání a růst ryb (Bengtson a kol., 2004; Ostrowski a kol., 1996). Tyto nádrže jsou zároveň vhodnější pro ryby, které vyžadují rychlejší proudění vody. Při využití modifikací přítoků, odtoků a airliftů je samočisticí schopnost těchto nádrží srovnatelná s kruhovými nádržemi.



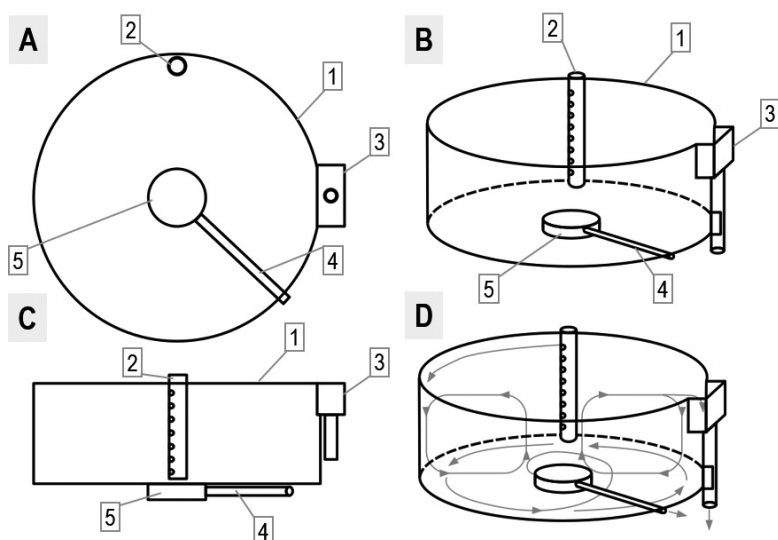
Obr. 5. Schéma oválné nádrže: (A) pohled shora, (B) izometrický pohled a (C) podélný řez nádrží. Číslo (1) označuje stěnu nádrže, (2) odtok z nádrže opatřený mříží a (3) dělicí přepážku.

Kruhová nádrž s modifikovaným přítokem a odtokem – typ „Cornell“

Dvojitý odtok s uspořádáním typu „Cornell“ je využíván především u kruhových nádrží s cílem co nejdříve odstranit podstatnou část sedimentujících látek z vody RAS, a tím usnadnit práci mechanickému filtru. Prvek je úspěšně využíván v nádržích s různým objemem vody – desítky až stovky m³ (Davidson a Summerfelt, 2004). Princip dvojitého odtoku byl vyvinut a testován na Univerzitě v Cornellu, New York, USA.

Půdorysně toto uspořádání tvoří kruhová nádrž s horním přítokem vody a dvojitým odtokem typu „Cornell“ (obr. 6). První odtok se nachází u dna uprostřed nádrže, zatímco druhý je vyvýšený a situován na boku nádrže v jejím plášti. Dvojitý odtok s uspořádáním typu „Cornell“ je součástí odchovných nádrží, které se nachází za jednotkou pro biologické čištění vody. Z bočního

vyvýšeného odtoku voda pokračuje do mechanického filtru. Z dnového odtoku lze dále v následných prvcích systému nečistoty separovat za pomoci vortexu, sedimentační nádrže nebo filtrů s mikrosíty. V systému vybaveném odchovnými nádržemi s dvojitým odtokem s uspořádáním typu „Cornell“ lze docílit významného snížení nákladů spojených s čištěním sedimentujících částic z odtékající vody, kdy většina částic je koncentrována u odtoku umístěného na dně nádrže. Druhý odtok, který je situován na boku nádrže, zaručuje eliminaci vířivého pohybu vody, a tím dosažení rovnoměrnější distribuce chovaných ryb v nádrži (možnost využití vyšší obsádky). Toto uspořádání odtoků zároveň zajišťuje dokonalé mísení vody v nádrži (Summerfelt a kol., 2004).



Obr. 6. Schéma kruhové nádrže s modifikovaným přítokem a odtokem typu „Cornell“: (A) pohled shora, (B) izometrický pohled, (C) příčný řez nádrží a (D) směr proudění vody v nádrži. Číslo (1) značí stěnu nádrže, (2) modifikovaný přítok, (3) odtok ve stěně nádrže, (4) odtok vody s vyšším podílem sedimentujících látek a (5) mříž s prostorem pro sedimentaci (upraveno podle Timmons a kol., 1998).

Mezi nevýhody tohoto uspořádání patří, že při nedodržení ideálního poměru výšky k průměru nádrže (1 : 4,5–6) hrozí vznik zóny bez rotace vody s následnou sedimentací nečistot (Timmons a kol., 1998). Tento jev lze pozorovat obzvláště u druhů ryb (včetně velikostních kategorií), které nejsou aktivní při dně nádrže. Sekundární spodní odtok umístěný uprostřed nádrže koncentruje v průměru 79 % sedimentujících částic ve 12–18 % celkového průtoku nádrže (Davidson

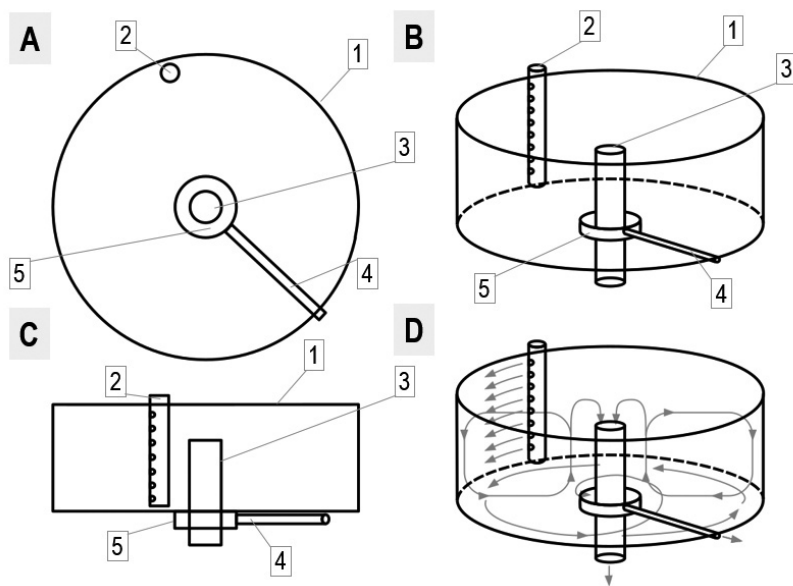
TECHNOLOGIE A TECHNICKÉ PRVKY RECIRKULAČNÍCH AKVAKULTURNÍCH SYSTÉMŮ PRO CHOV RYB

a Summerfelt, 2004). Zbytek vody odtéká z nádrže bočním odtokem. Tímto je významně snížena zátěž mechanického filtru.

Dvojitý odtok (norský typ)

U kruhových či osmihranných nádrží s dvojitým odtokem (obr. 7) je zajištěno efektivní odstranění sedimentujících látek pomocí malého množství protékající vody. Tím lze významně snížit zatížení mechanického filtru (Losordo a kol., 2000). Tento systém byl úspěšně testován v různých velikých odchovných nádržích – jednotky až stovky m³.

Odtok u dna koncentruje sedimentující látky a nespotřebované krmivo, zatímco vyvýšený středový odtok odvádí velké množství vody s minimem pevných částic. Nádrže s dvojitým odtokem jsou umístěny za jednotkou pro biologické čištění vody. Ze středového odtoku je voda odvedena přímo do mechanického filtru, zatímco z dnového odtoku lze nečistoty dále separovat za pomoci vortexu, sedimentační nádrže nebo filtrů s mikrosítami.



Obr. 7. Schéma kruhové nádrže s dvojitým odtokem: (A) pohled shora, (B) izometrický pohled, (C) příčný řez nádrží a (D) směr proudění vody v nádrži. Číslo (1) značí stěnu nádrže, (2) modifikovaný přítok, (3) odtok ve středu nádrže, (4) dnový odtok vody s vyšším podílem sedimentujících látek a (5) prostor pro sedimentaci (upraveno podle Losordo a kol., 2000).

V nádržích s dvěma odtoky situovanými uprostřed nádrže lze docílit významného snížení nákladů spojených s čištěním pevných částic z odtékající vody (spotřeba prací vody a elektrické energie pro pohon mechanického filtru). Významný podíl těchto částic je koncentrován u odtoku umístěného na dně nádrže (Losordo a kol., 2000). Při nedodržení ideálního poměru výšky k průměru nádrže (1 : 3–4,5; vyšší poměr může být u spádovaných nádrží) obvykle dochází ke vzniku zóny (tzv. mrtvá zóna) bez rotace vody s následnou sedimentací nečistot (Twarowska a kol., 1997). Tento jev hrozí především při odchovu ryb (druhů a velikostních kategorií), které nejsou aktivní při dně nádrže. Vlivem centrálního umístění obou odtoků dochází ke vzniku vířivého pohybu vody v nádrži, což má za následek nerovnoměrnou distribuci ryb v nádrži (Skybakmoen, 1993).

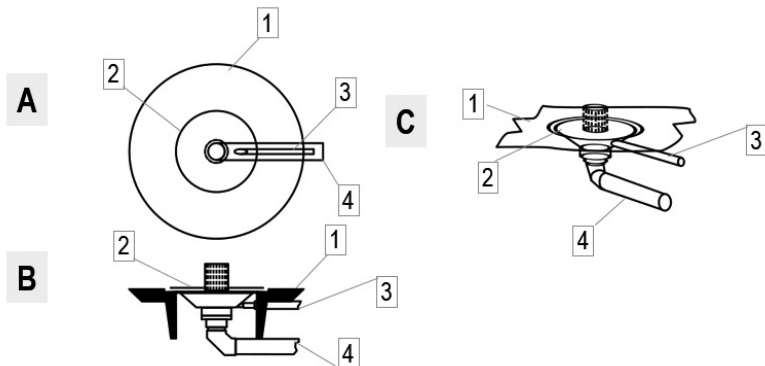
Tento systém dokáže z RAS odseparovat až 95 % sedimentujících látek a 50 % suspendovaných částic pomocí pouze 2–3 % celkového průtoku v nádrži.

Dvojitý odtok – detail

Sedimentující částice (nespotřebované krmivo, výkaly) by měly být ze systému odstraněny co nejdříve, aby nedocházelo ke zbytečnému přetěžování mechanických filtrů. Efektivní odstranění sedimentujících látek v nádržích s kruhovým prouděním lze zajistit správným umístěním dvojitého odtoku (obr. 8), sedimentující částice se pak akumulují na dně uprostřed nádrže (Losordo, 1997). Tento systém byl úspěšně testován v různých velkých odchovných nádržích – jednotky až stovky m³ (Davidson a Summerfelt, 2004).

Dvojitý odtok je umístěný uprostřed chovných nádrží s kruhovým prouděním. Odtok u dna odvádí akumulované sedimentující částice, zatímco vyvýšený odtok odvádí většinu vody se suspendovanými částicemi širším odtokem. Z vyvýšeného odtoku odchází voda přímo do mechanického filtru, zatímco z dnového odtoku lze dále nečistoty separovat pomocí vortexu, sedimentační nádrže nebo mikrosít. Vyvýšený odtok může být umístěn také na boku nádrže (viz kruhové nádrže s modifikovaným přítokem a odtokem typu „Cornell“ – obr. 6).

TECHNOLOGIE A TECHNICKÉ PRVKY RECIRKULAČNÍCH AKVAKULTURNÍCH SYSTÉMŮ PRO CHOV RYB



Obr. 8. Detailní schéma dvojitého odtoku: (A) pohled shora, (B) příčný řez odtokem a (C) izometrický pohled. Číslo (1) značí plášť nádrže, (2) vyvýšená deska pro dělení sedimentujících látek pohybujících se po dně nádrže, (3) odtok vody s vyšším podílem sedimentujících látek a (4) hlavní odtok vody (upraveno podle Losordo a kol., 1999).

V nádržích s dvěma odtoky situovanými uprostřed nádrže lze docílit významného snížení nákladů spojených s čištěním pevných částic z odtékající vody. Významný podíl těchto částic je koncentrován u odtoku umístěného na dně nádrže. Tento prvek může být doplněn o sběrač kalu (sedimentační nádrž umístěná na boku nádrže) pro kontrolu množství nespotebvaného krmiva a následné odstranění sedimentujících částic ze systému (Summerfelt a kol., 2000).

Mezi nevýhody patří, že u varianty s centrálním umístěním obou odtoků dochází ke vzniku vířivého pohybu vody v nádrži (především u velkých nádrží s většími průtoky vody), což má za následek nerovnoměrnou distribuci ryb v nádrži. Toto lze eliminovat umístěním vyvýšeného odtoku na boku nádrže viz obr. 6 (Summerfelt a kol., 2000).

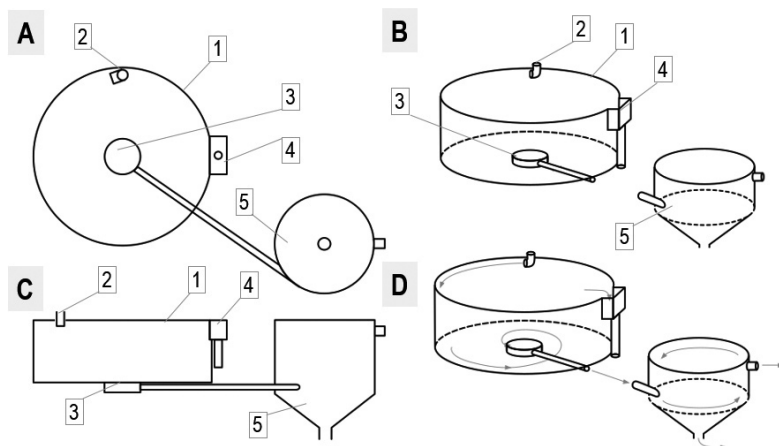
Systém dvojitého odtoku dokáže odseparovat z RAS až 95 % sedimentujících částic pomocí pouhých 5 % celkového průtoku vody. Účinnost separace závisí na průtoku vody, poměru výšky k průměru nádrže (ideálně 1 : 3–4,5; u větších průměrů může dojít ke vzniku zóny bez rotace vody), ale také na druhu chovaných ryb.

Kruhové nádrže – kombinace s vortexem

Kruhové nádrže s dvojitým odtokem jsou v RAS s oblibou využívány pro své samočisticí schopnosti vlivem vířivého pohybu vody (Timmons a kol., 1998). V kombinaci s vortexem (odstředivým separátorem) lze však dosáhnout velice

efektivního předčištění, úspory vody a zároveň vyšší sušiny zahuštěného kalu, který je možné dále zužitkovat (hnojivo, kompostování atd.) (Losordo a kol., 1999).

Z kruhové nádrže s dvojitým odtokem (zde bylo použito uspořádání typu Cornell) je voda přiváděna dnovým odtokem do vortexu, odkud voda pokračuje do mechanických filtrů (obr. 9). Z vyvýšeného odtoku (na boku nádrže) potom voda pokračuje do mechanických filtrů s mikrosítou. Chovné nádrže jsou zapojeny za jednotkou pro biologické čištění vody.



Obr. 9. Schéma kruhové nádrže v kombinaci s dvojitým odtokem, stěnovým odtokem a vortexem: (A) pohled shora, (B) izometrický pohled, (C) příčný řez nádrží a (D) směr proudění vody v nádrži. Číslo (1) označuje stěnu nádrže, (2) přítok, (3) odtok ve dně nádrže, (4) odtok vody ve stěně nádrže a (5) vortex (odstředivý separátor) (upraveno podle Losordo a kol., 2000).

Vlivem zahuštění kalu ve vortexu dochází k úspoře spotřeby vody. Odstraněním velkého množství sedimentujících látek lze významně snížit zatížení mechanických filtrů s mikrosítou, což má pozitivní vliv na jejich účinnost i celkové náklady na filtraci (Davidson a Summerfelt, 2004). Kal z vortexu je ovšem nutné pravidelně odstraňovat. Nižší průtočná kapacita vortexu nepředstavuje v této konfiguraci problém, protože systém dvojitého odtoku dokáže z RAS odseparovat až 95 % sedimentujících látek a až 50 % suspendovaných částic pomocí pouze cca 5 % celkového průtoku v nádrži (Losordo a kol., 2000).

Kruhové nádrže s dvojitým odtokem jsou vyvíjeny a testovány např. na Univerzitě v Cornellu, nebo v norském institutu NOFIMA.

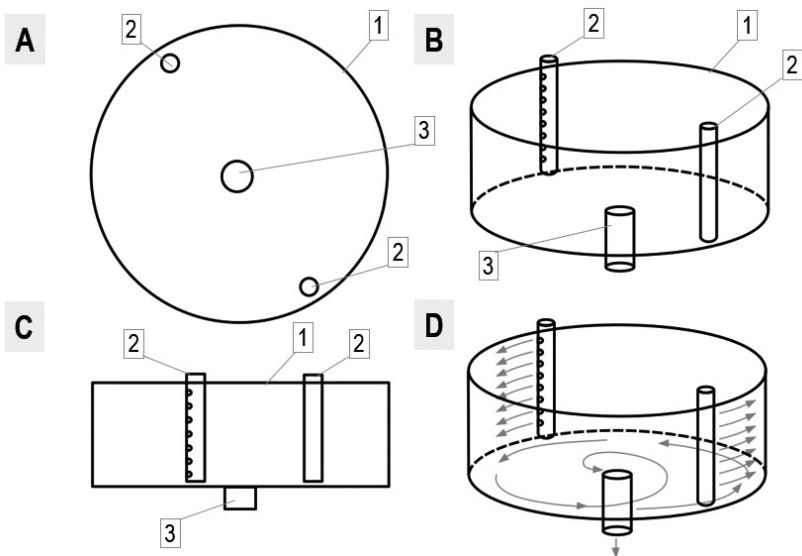
Kruhové nádrže – dvojitý přítok

V kruhových nádržích s velkým poměrem (>6) průměru k hloubce nádrže může docházet ke vzniku tzv. mrtvých zón (zón bez rotace vody). To má za následek horší míchání vody v nádrži a neefektivní využití prostoru rybami (Skybakmoen, 1989). Tyto situace lze často vyřešit instalací dodatečného přítoku, a tím vylepšit hydrodynamiku v nádrži (Timmons a kol., 1998). Umístěním dvou vertikálních přítoků vody (po stranách nádrže) opatřených několika výpustními otvory v celé výšce přítokového tubusu lze dosáhnout rovnoměrného proudění v celém objemu kruhové nádrže (obr. 10).

Přítok vody do nádrže je zapojen za jednotku pro biologickou filtraci. Dvojitý přítok je umístěn po stranách nádrže, aby bylo zajištěno kruhové proudění vody směrem ke středu nádrže. Ve velkých nádržích lze využít kromě vertikálních přítoků také kombinaci vertikálního a horizontálního přítoku (Timmons a kol., 1998). Stejného efektu lze dosáhnout natočením spodních trysek do nádrže zabudovaných vertikálních přítoků v úhlu 45° od stěny nádrže (Davidson a Summerfelt, 2004). Odtok je umístěn uprostřed dna nádrže.

Mezi výhody tohoto uspořádání patří rovnoměrnější proudění vody, lepší odvod sedimentujících látek, rovnoměrnější distribuce ryb v nádrži a tím i efektivnější chov (Tvinnereim a Skybakmoen, 1989). Dvojitý přítok zajišťuje excelentní míchání vody v chovné nádrži (minimální rozdíly v koncentracích rozpuštěného kyslíku napříč nádrží), a to jak v malých (10 m^3), tak ve velkých (150 m^3) chovných nádržích (Davidson a Summerfelt, 2004).

Vzdálenost přítokového tubusu od stěny nádrže musí být zvolena v závislosti na druhu a velikosti chovaných ryb tak, aby nedocházelo k jejich zranění. Přítoky fixně zabudované ve stěnách nádrže jsou dražší. Vhodnější jsou demontovatelné přítoky, které nepřekážají při výlovu ryb z nádrže.



Obř. 10. Schéma kruhové nádrže s modifikovaným (dvojitým) přítokem: (A) pohled shora, (B) izometrický pohled, (C) příčný řez nádrží a (D) směr proudění vody v nádrží. Číslo (1) označuje stěnu nádrže, (2) modifikovaný přítok a (3) odtok ve středu nádrže (upraveno podle Watten, 2000).

Modifikace přítoků do kruhových nádrží

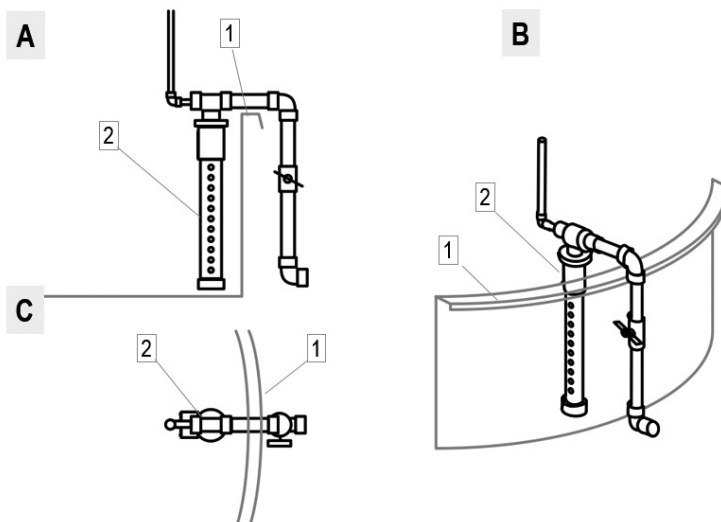
V odchovných nádržích RAS může docházet ke vzniku tzv. mrtvých zón (místa v nádrží, kde nedochází k rotaci vody) v závislosti na tvaru, hloubce a rozměrech nádrží. To má za následek horší samočisticí schopnost nádrže, nedostatečné míchání vody v nádrží a neefektivní využití prostoru rybami. Těto situaci lze předejít instalací různých modifikovaných přítoků, které významně zlepšují hydrodynamiku v nádržích.

Modifikované přítoky vody do nádrží bývají obvykle zapojeny za jednotkou pro biologickou filtraci, popř. za dalšími prvky RAS pro úpravu vody (aerace, ozonizace, UV lampy). Podle umístění lze modifikované přítoky rozdělit na vertikální (po stranách nádrže), horizontální (u dna/hladiny) a kombinované. Mezi další často využívané modifikace patří různý počet trysek a jejich vybočení (Davidson a Summerfelt, 2004). Umístění modifikovaných přítoků je voleno s ohledem na tvar a rozměry odchovných nádrží. U větších nádrží se využívá několika přítoků situovaných na různých místech.

Hydrodynamika žlabů a kubických nádrží může být zlepšena instalací několika přítoků, horizontálním přítokem u dna či sérií vertikálních přítoků.

TECHNOLOGIE A TECHNICKÉ PRVKY RECIRKULAČNÍCH AKVAKULTURNÍCH SYSTÉMŮ PRO CHOV RYB

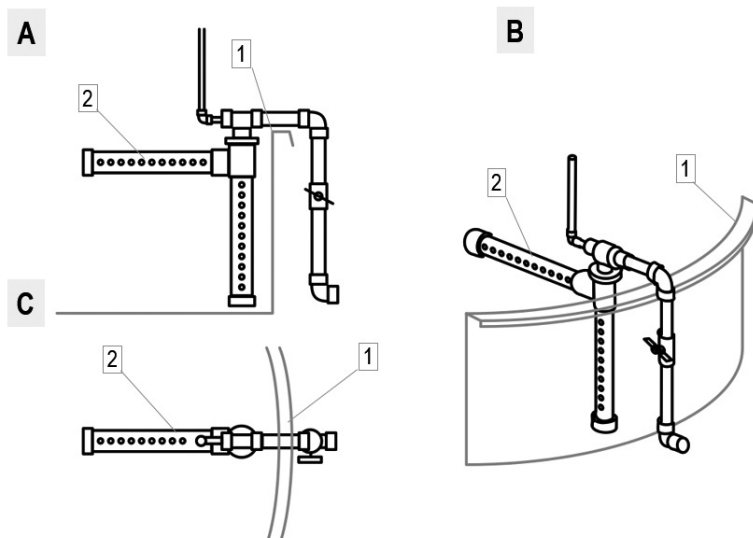
Míchání vody v dělených (segmentovaných) žlabech je pak srovnatelné s kruhovými nádržemi (Watten a kol., 2000). Ve velkých kruhových nádržích lze kromě vertikálních přítoků (obr. 11) využít také kombinaci vertikálního a horizontálního přítoku (obr. 12). Stejného efektu lze dosáhnout také natočením spodních trysek u vertikálních přítoků zabudovaných ve stěnách v úhlu 45° od stěny nádrže (Davidson a Summerfelt, 2004; Venegas a kol., 2014).



Obr. 11. Schéma umístění vertikálního modifikovaného přítoku umístěného u stěny kruhové odchovné nádrže: (A) podélný řez, (B) izometrický pohled a (C) příčný řez. (1) stěna nádrže, (2) modifikovaný přítok (perforovaná trubka) (upraveno podle Davidson a Summerfelt, 2004).

Hlavní výhodou modifikovaných přítoků je dosažení lepšího míchání vody (bez mrtvých zón), čímž jsou zajištěny rychlejší odvod sedimentujících látek, rovnoměrnější distribuce ryb v nádrži, a tím efektivnější chov. Tyto výhody jsou patrné ve velkých odchovných nádržích, a především pak v kubických a obdélníkových nádržích.

Mezi nevýhodami modifikovaných přítoků lze jmenovat jejich vyšší pořizovací cenu a komplikovanější výlov ryb (mohou překážet při výlovu). Nevhodně zvolené a dimenzované přítoky (např. vzdálenost přívodní trubky od stěny) můžou způsobovat povrchové poranění ryb.



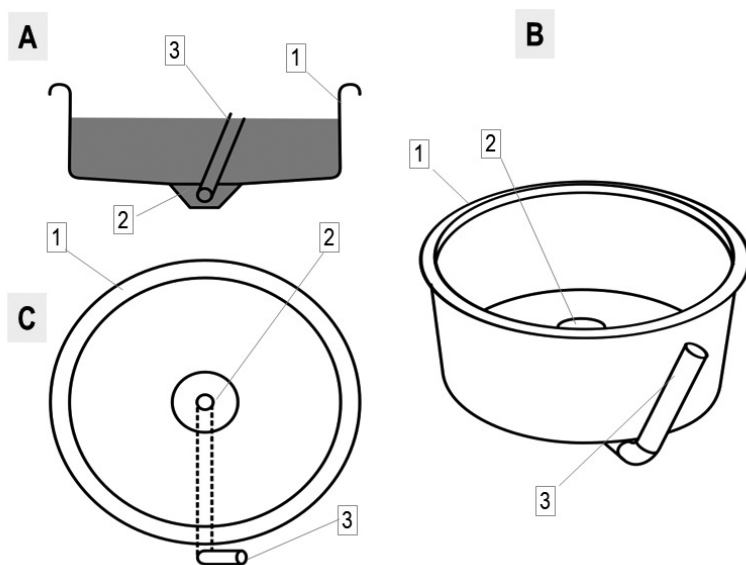
Obr. 12. Schéma umístění kombinovaného (vertikálně-horizontálního) modifikovaného přítoku v kruhové odchovné nádrži: (A) vertikální řez, (B) izometrický pohled, (C) pohled shora. Číslo (1) značí stěnu nádrže a (2) modifikovaný přítok (perforovaná trubka) (upraveno podle Davidson a Summerfelt, 2004).

Modifikace odtoků kruhových nádrží

Správný tvar a design odchovných nádrží v RAS zaručuje samočisticí schopnost nádrží, tedy rychlé odstranění sedimentujících látek, které by jinak zatěžovaly mechanické filtry, popř. zhoršovaly kvalitu vody. Kromě modifikací přítoků lze tyto vlastnosti zlepšit i modifikacemi odtoků, a to především u velkých nádrží s horší hydrodynamikou (s kubickým nebo obdélníkovým tvarem) (Oca a Masaló, 2007, 2013).

Základní modifikací odtoku u kruhové nádrže je dvojitý odtok (obr. 13–15), kde voda odtéká z nádrže spodním (dnovým) odtokem opatřeným mříží zabraňující úniku chovaných ryb. Druhým odtokem je boční trubka (vyvýšený odtok), která slouží pro nastavení výšky vodního sloupce v nádrži. Z trubky voda odtéká do sběrného kanálu a pokračuje do mechanického filtru, zatímco u dnového odtoku nečistoty sedimentují a lze je separovat pomocí vortexu, sedimentační nádrže nebo mikrosít (Summerfelt a Penne, 2005). Další možností může být horizontální odtok v obdélníkových žlabech opatřených horizontálním přítokem vody u dna. Modifikací kruhové nádrže je i nádrž s automatickým čištěním stěny (obr. 16).

TECHNOLOGIE A TECHNICKÉ PRVKY RECIRKULAČNÍCH AKVAKULTURNÍCH SYSTÉMŮ PRO CHOV RYB

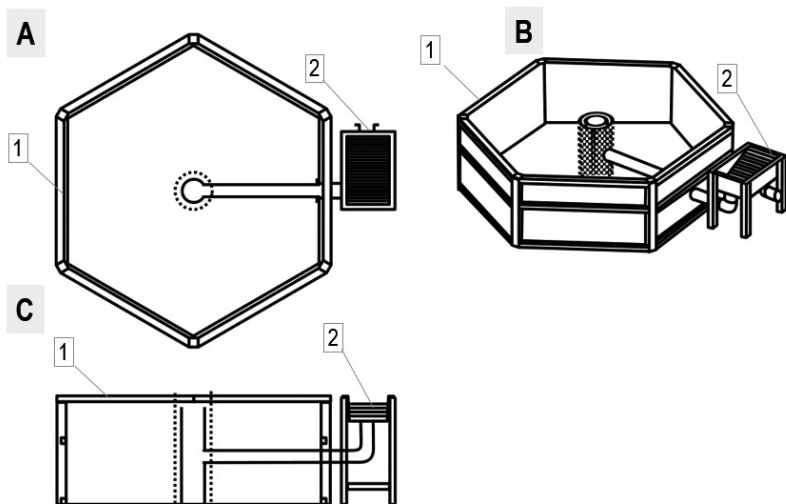


Obr. 13. Schéma modifikovaného dvojitého odtoku vody z kruhové nádrže: (A) vertikální řez nádrží, (B) izometrický pohled a (C) pohled shora. Číslo (1) znázorňuje stěnu nádrže, (2) dnový odtok opatřený mříží, (3) přepadová trubka.

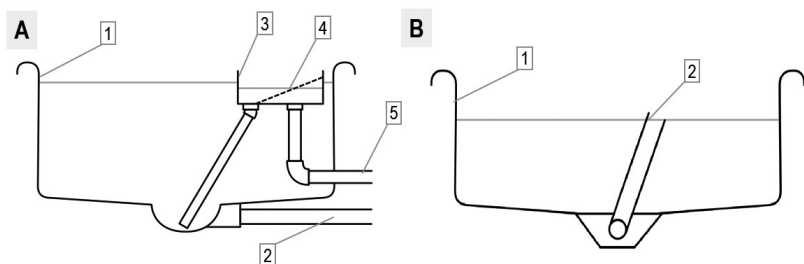
Při centrálním umístění obou odtoků dochází ke vzniku vířivého pohybu vody v nádrži, což má za následek nerovnoměrnou distribuci ryb v nádrži, to lze eliminovat tzv. dvojitým odtokem typu „Cornell“ (Davidson a Summerfelt, 2004; Summerfelt a kol., 2000a).

Mezi výhody těchto modifikací (dvojitých odtoků) lze zařadit významné snížení nákladů spojených s čištěním pevných částic z odtékající vody, neboť významný podíl těchto částic je koncentrován u odtoku umístěného na dně nádrže (Carvalho a kol., 2013). Na podobném principu jsou postaveny také odtoky ve žlabech „dánského“ typu, kdy jsou sedimentující látky sbírány do kónusů na konci nádrže. Dvojitý odtok v kubických nebo dělených (segmentovaných) žlabech dokáže zajistit téměř stejnou hydrauliku vody jako v kruhových nádržích. Výrobce udává, že dvojitý odtok dokáže z RAS odseparovat 95 % sedimentujících látek a 50 % suspendovaných částic pomocí pouze 2–3 % celkového průtoku v nádrži.

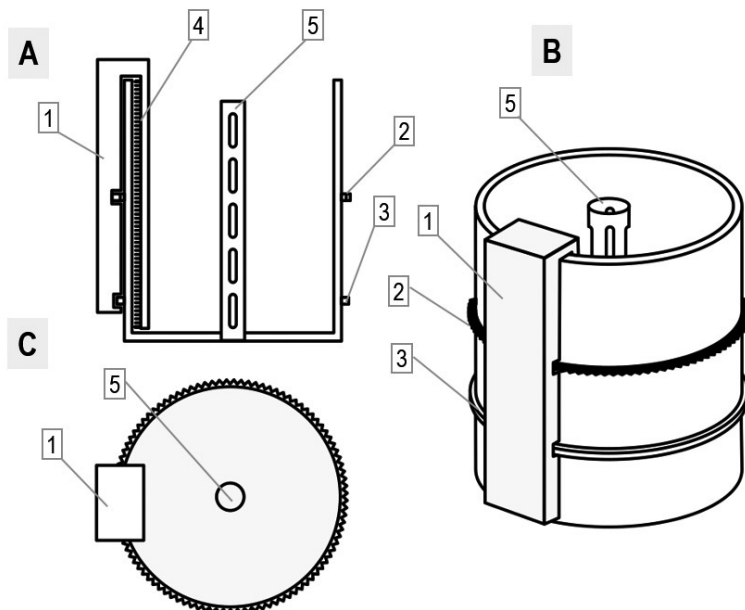
Nevýhodou je však pořizovací cena těchto modifikovaných odtoků, které většinou vyžadují periodické odkalování.



Obr. 14. Schéma modifikovaného odtoku s mřížkou umístěnou uvnitř prostoru šestiúhelníkové nádrže: (A) pohled shora, (B) izometrický pohled a (C) vertikální řez nádrží. Číslo (1) znázorňuje stěnu nádrže a (2) modifikovaný odtok s mřížkou umožňující chovateli inventarizovat počet uhynulých ryb či množství nespotřebovaného krmiva.



Obr. 15. Schémata (A) a (B) porovnávají modifikované odtoky s mřížkou umístěnou uvnitř prostoru nádrže s klasickým provedením odtoku. Číslo (1) značí stěnu nádrže, (2) odtok vody, (3) prostor pro kontrolu, (4) mřížku a (5) druhý odtok.



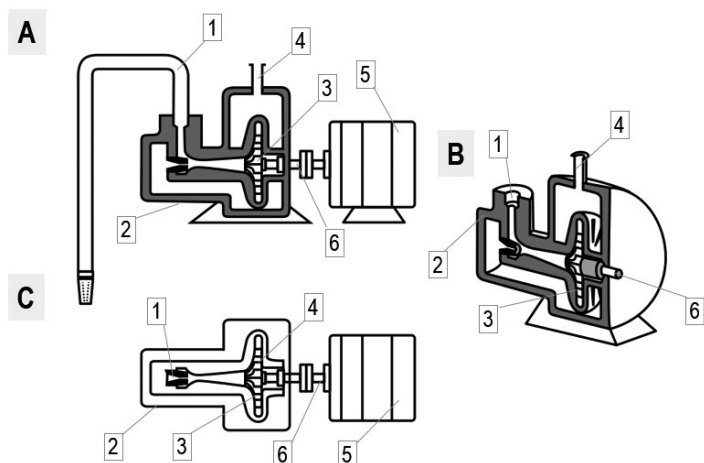
Obr. 16. Schéma kruhové nádrže s čistícím ramenem: (A) vertikální řez, (B) izometrický pohled a (C) pohled shora. Číslo (1) označuje pojízdné čistící rameno, (2) ozubenou kolejnici, (3) vodící drážku, (4) čistící kus a (5) odtok vody z nádrže (upraveno podle <https://www.spranger-kunststoffe.de/en/aquakultur/products>).

4.2. Doprava vody v recirkulačních systémech

Nezbytnou součástí RAS jsou čerpadla, která pohání vodu přes různé stupně filtrace až k samotným odchovným nádržím. Všechny RAS jsou založeny na neustálé cirkulaci vody pomocí čerpadel, přičemž nevhodně zvolené čerpadlo může zvýšit náklady na provoz. Energie potřebná k pohybu vody v systému je jedním z hlavních finančních nákladů na provoz RAS. Čím menší jsou rozdíly hladin a výška potřebná k přesunu vody, tím efektivnější je RAS. energii potřebnou k dopravě vody na nejvyšší bod v systému je ještě potřeba navýšit o ztráty v důsledku tření mezi vodou a potrubím. Tyto ztráty lze minimalizovat vhodnou volbou instalace potrubí (minimalizace počtu 90° kolen, správná volba průměru potrubí atd.).

Zubová čerpadla

Zubová čerpadla pracující na principu odstředivé síly patří k nejběžnějším typům čerpadel v RAS. Zubová čerpadla mohou být klasická (viz obr. 17) nebo excentrická. Čerpadlo tvoří uzavřená komora s dvěma totožnými ozubenými koly s protisměrným točivým pohybem (Lekang, 2013). Voda je podtlakem nasávána do komory čerpadla a pohybuje se na horní a dolní periferní okraj komory, poté je opět vytlačena na protější straně v místě odtoku.



Obr. 17. Schéma zubového čerpadla: (A) vertikální řez, (B) izometrický pohled a (C) horizontální řez. Číslo (1) značí sací potrubí, (2) vnější rám (komora), (3) rotační ozubené kolo, (4) výtlačné potrubí, (5) motor (pohon) a (6) ložisko čerpadla (upraveno podle Scherer, 1993).

Čerpadla jsou umísťována v různých částech RAS a často tvoří v systému bypassy (Huang a Lian, 2009). Využívají se například při bypassovém zapojení chladicích průtokových jednotek, kyslíkových věží atd. Zubová čerpadla jsou využívána také pro čištění mikrosít v mechanických filtrech pomocí tlakových trysek. Hlavní hnací čerpadlo v RAS je obvykle umístěné v nejnižše položené nádrži, která slouží jako zásobní nádrž. Před touto nádrží předchází zpravidla hrubá a jemná mechanická filtrace.

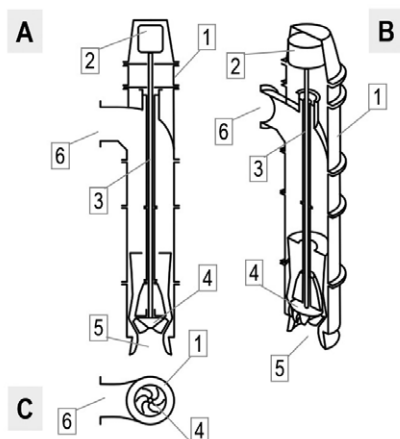
Účinnost čerpadla závisí na viskozitě poháněné kapaliny. S vyšší viskozitou stoupá účinnost čerpadla. Celková účinnost se pohybuje 0,6 až 0,9. Tato čerpadla jsou vhodná i pro vysoce viskózní kapaliny. Zubová čerpadla mohou vyvinout tlak až 200 barů a pracují při 700–3 500 otáčkách za minutu (Huang a Lian, 2009).

TECHNOLOGIE A TECHNICKÉ PRVKY RECIRKULAČNÍCH AKVAKULTURNÍCH SYSTÉMŮ PRO CHOV RYB

Zubová čerpadla vynikají plynulým kontinuálním pohybem kapaliny bez vzniku pulzů, přičemž mohou mít obousměrný pohyb (Colbourne, 1975). Čerpadla jsou konstrukčně jednoduchá a spolehlivá s dlouhou životností. Nevýhodou zubových čerpadel je poměrně hlučný provoz a nevhodnost pro čerpání suspenzí (vysoké nároky na čistotu čerpané kapaliny). Další nevýhody představuje nemožnost měnit geometrický objem a velké zatížení ložisek poháněné hřídele, která bývají poruchová.

Vrtulová čerpadla

Vrtulová čerpadla vypadají tvarově jako odstředivá čerpadla, ale proudění vody způsobuje axiálně nebo radiálně uložené kolo ve tvaru vrtule s několika lopatkami různé geometrie. Čerpadlo je tvořeno statorem v podobě těla a komory čerpadla a rotorem, který tvoří vrtule a hnací hřídel. V dolní části je voda nasávána vrtulí a vytlačována na převáděcí lopatky (difuzory) umístěné za vrtulí, kde se kinetická energie kapaliny mění na tlakovou (Leinveber a Vávra, 1996). Dále pak voda pokračuje vypustí z čerpadla (viz obr. 18).



Obr. 18. Schéma vrtulového čerpadla: (A) podélný řez, (B) izometrický pohled a (C) horizontální řez. Číslo (1) značí vnější plášť, (2) motor (pohon), (3) hřídel, (4) vrtule (lopatky), (5) sací prostor a (6) výtlačné potrubí čerpadla (upraveno podle Scherer, 1993).

Čerpadla bývají instalována v nejspodnější části systému, a to obvykle ve sběrné nebo částečně sedimentační nádrži. Voda v těchto nádržích prošla zpravidla mechanickou filtrací. Čerpadla ženou vodu do vyšších pracovních výšek, kde dochází k biologické filtraci a dezinfekci vody.

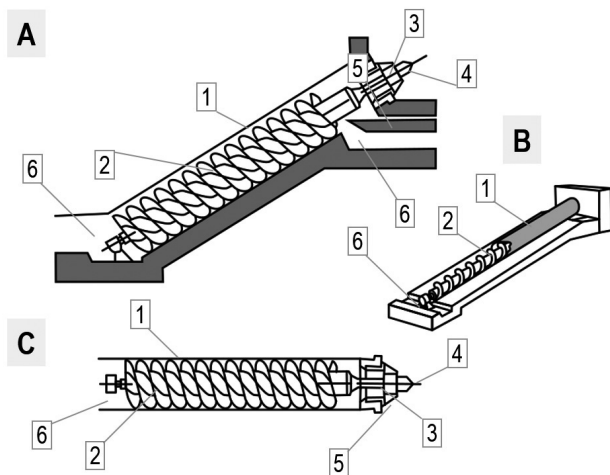
Podle výkonu (0,4–22 kW) se vyrábí různě velké varianty čerpadel nebo kalová čerpadla vhodná k přepravě kapalin v některých průmyslových odvětvích (např. vodárenství, čistírny odpadních vod). Důležité parametry, které se udávají na výrobku, jsou maximální průtoky čerpadlem (nejčastěji v $\text{l}\cdot\text{s}^{-1}$ nebo $\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$) a dopravní výška (m). Tyto veličiny se navzájem ovlivňují a vztah mezi nimi udává výrobce na čerpadle. Obecně vrtulová čerpadla mohou čerpat velké objemy kapaliny, ale do menších dopravních výšek. Podle výkonu se může dopravní výška u vrtulových čerpadel pohybovat 3–9 m o průtoku vody 20–174 $\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$. Extrémní typy čerpadel o výkonech, které se pohybují kolem 1 MW, dokážou přepravit až 42 000 $\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$.

K nevýhodám patří možnost ucpání čerpadla při čerpání vody, která obsahuje velké mechanické nečistoty. Tento problém může vést k zablokování čerpadla nebo ke snížení jeho účinnosti, a tím dojde k navýšení provozních nákladů. K výhodám u těchto čerpadel patří vysoká kvalita, snadný servis a nízké provozní náklady (Doleček and Holoubek, 1989; Scherer, 1993).

Šroubová čerpadla – Archimedovy pumpy

Jednou z možností, jak snížit náklady na provoz RAS, je použití čerpadel s nízkými energetickými nároky. Tyto parametry splňují šroubová čerpadla (Archimedovy pumpy), která mohou být využita jako alternativa konvenčních čerpadel, ale především airliftu v RAS „dánského“ typu (Lekang, 2013). Šroubové čerpadlo (obr. 19) pohání vodu za pomoci šroubu (šneku), který je uvnitř trubky nebo žlabu. Rotační pohyb šroubu způsobí nasátí (nabrání) vody ze zásobní nádrže a její dopravu do vyšších poloh, odkud voda teče gravitací přes odchovné nádrže a filtry zpátky do zásobní nádrže.

TECHNOLOGIE A TECHNICKÉ PRVKY RECIRKULAČNÍCH AKVAKULTURNÍCH SYSTÉMŮ PRO CHOV RYB



Obr. 19. Schéma šroubového čerpadla: (A) podélný řez, (B) izometrický pohled a (C) detail podélného řezu. Číslo (1) značí vnější kryt, (2) šroub (šroubovice), (3) motor, (4) ložisko, (5) odvodný žlab pro vyčerpanou vodu a (6) nátokový prostor (upraveno podle <https://www.landustrie.nl/en/products/pumping/screw-pumps.html>).

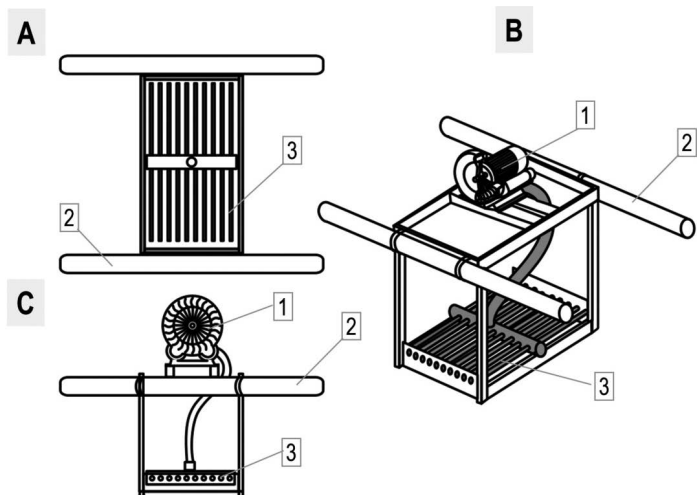
Šroubová čerpadla jsou většinou zapojena za jednotkou pro biologickou filtraci. Čerpadla přivádí vodu do přítokového kanálu (nádrže), odkud je voda distribuována do jednotlivých odchovných nádrží.

Šroubová čerpadla vynikají jednoduchou konstrukcí, vysokou životností a nízkými energetickými nároky (Lekang, 2013). Mezi další výhody patří také nízké riziko ucpání (Colt a Huguenin, 2002). Ve srovnání s airlifty nezajišťují šroubová čerpadla efektivní okysličení/odbourání oxidu uhličitého. Šroubová čerpadla dokážou pumpovat velké množství vody do menší výšky (Brown a kol., 2016), tudíž jsou vhodná především pro RAS „dánského“ typu.

Airlifty

Airlifty (nízkotlaké difuzéry) jsou vhodné především do systémů, kde není potřeba čerpat vodu do výšky, jako jsou např. RAS „dánského“ typu (Moses a Colt, 2018). Airlifty zároveň zajišťují výměnu plynů (aeraci a odstranění oxidu uhličitého).

V airliftu (obr. 20) vzduch proudí do spodní části výtokové trubky (komory), která je ponořena ve vodě. Vzduch způsobí snížení hustoty vody, jež stoupá výtokovou trubicí směrem vzhůru. Z výtokové trubky je voda odváděna do odchovných žlabů.



Obr. 20. Schéma airliftu (nízkotlaký difuzér): (A) pohled zespodu (B) izometrický pohled a (C) pohled zepředu. Číslo (1) značí zdroj vzduchu (turbína), (2) plováky a (3) rozvod vzduchu (upraveno podle <https://www.frea-solutions.com/products/aeration-and-degassing-of-water/low-pressure-diffuser-with-increased-water-flow>).

V RAS „dánského“ typu jsou airlifty umístěny za jednotkami pro biologické čištění vody. Z airliftu je voda popoháněna do odchovných žlabů. Menší airlifty mohou být také umístěny v odchovných žlabech, kde zajišťují samočištění nádrží a zlepšují kyslíkové poměry. Airlifty slouží především pro cirkulaci (dopravu) vody v RAS „dánského“ typu. Kromě cirkulace vody zajišťují airlifty také efektivní výměnu plynů v systému (Wurts a kol., 1994).

Airlifty jsou schopné čerpat velké množství vody o malém tlaku, v RAS dánského typu jsou tedy úspornější ve srovnání s konvenčními čerpadly. Menší airlifty uvnitř odchovných žlabů zlepšují cirkulaci vody ve žlabech, čímž zlepšují samočištění a využití prostoru rybami. Airlifty jsou konstrukčně jednoduché a jejich údržba je levná. Hlavní nevýhodou airliftů je skutečnost, že dokážou čerpat vodu do malých výšek (obecně max. 30 cm). Nejsou tedy vhodné do vertikálních systémů.

Efektivita airliftů je závislá na sladění kompresoru (dmyhadla) a samotného airliftu. Při správném sladění dmyhadla a airliftu (průměr komory, hloubka přívodu vzduchu, rychlost vzduchu) může jedno dmyhadlo o výkonu 0,75 kW čerpat až 3,1 m³/min. Nevýhodou může být přesytení dusíkem při umístění airliftu do velké hloubky a s tím spojené zdravotní problémy u ryb (plynové embolie).

4.3. Mechanická filtrace a systém pro odstranění pevných látek z RAS

Nekontrolované hromadění pevných látek v RAS vede k bodovému či celkovému poklesu kvality vody, což se projeví zvýšenou stresovou zátěží a negativním ovlivněním imunitního systému chovaných ryb či jiných organismů. Koncentrace celkových nerozpuštěných látek by měla být udržována pod 10 mg.l^{-1} v chovu lososovitých s cílem minimalizovat stres ryb (Timmons a Ebeling, 2013).

Nerozpuštěné látky lze podle jejich fyzikálních vlastností rozdělit na sedimentující (frakce, která při zdržení v klidné vodě klesne na dno během 20 minut) a suspendované (nesedimentující). Stanovení těchto skupin se provádí v sedimentačních kónusech dle Imhoffa, případně v sedimentačních trubcích. Relativně velké částice ($>100 \mu\text{m}$) lze poměrně snadno odstranit sedimentací. Toto je levné a jednoduché řešení, které je však nedostatečné, neboť mnoho materiálu stále zůstává v RAS. Sedimentace je proto používána jako primární nebo předběžná úprava vody, nemůže být ale použita jako hlavní technika odstraňování pevných látek. Pro odpovídající funkci RAS je nutné odstranění látek o velikosti částic $50\text{--}75 \mu\text{m}$. Ačkoliv se voda s částicemi o velikosti $<50 \mu\text{m}$ jeví poněkud zakalená, je dostatečně čistá pro produkci většiny druhů ryb v RAS.

Celkové množství produkovaných nerozpuštěných látek v daném produkčním systému lze kromě použití vylepšené technologie čištění ovlivnit i kvalitou krmiva a celkovým managementem krmení. Pokrok v oblasti sestavování krmných směsí včetně testování nových ingrediencí má za následek zvýšení biologické dostupnosti fosforu a bílkovin v krmivech při jejich nižších celkových koncentracích. To má za následek snížení produkce odpadních látek, lepší soudržnost a pomalejší rozpad pelet. K dispozici jsou dále nové technologie na principu ultrazvuku pro monitorování výskytu a množství nespotebovaného krmiva (detekci pelet či granulí) v odtoku z chovných nádrží (Summerfelt a kol., 1995).

V současnosti je k dispozici také celá řada komerčně dostupných typů či konstrukčních řešení separátorů částic nebo mechanických filtrů pro RAS. Separáční technologie lze podle principu, na kterém pracují, rozdělit na mechanické, odstředivé a gravitační (sedimentační). Často se v systémech používá několika různých způsobů separace nebo jejich kombinací.

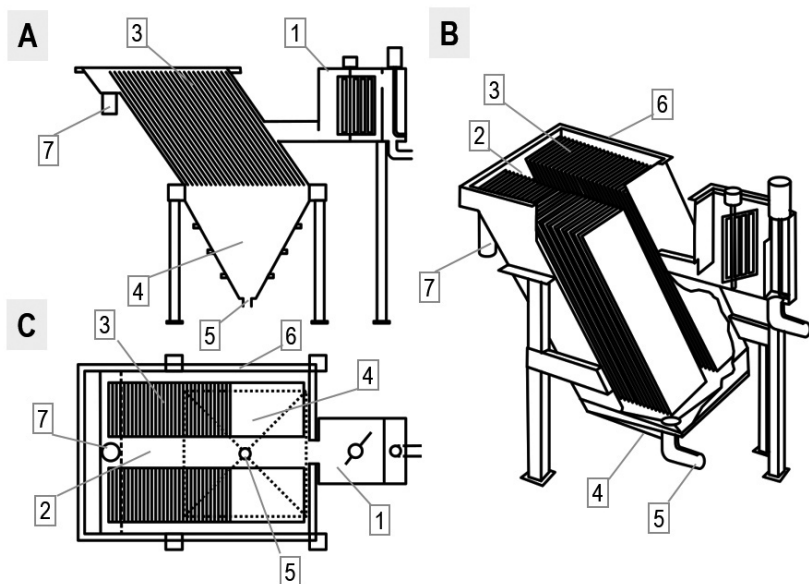
Šikmá lamelová sedimentační nádrž

Mechanická filtrace patří k prvním důležitým krokům úpravy vody. Na mechanické filtraci je závislá účinnost biologické filtrace, stejně tak jako

celková kvalita vody. Šikmá sedimentační nádrž slouží k odstranění hrubého znečištění (nerozpuštěných částic), které dokážou sedimentovat. V RAS bývá obvykle zařazena za odchovné nádrže.

Šikmá sedimentační nádrž (obr. 21) patří ke složitějším a účinnějším typům sedimentačních nádrží. Tělo zařízení má obdélníkový půdorys. V pravé části se nachází přítok znečištěné vody, který může být opatřen před-nádrží sloužící k flokulaci (vločkování či srážení) koloidních nečistot. V levé části a po obvodu lamel se nachází přepadový odtokový žlábek, kudy odtéká čistá voda. Ve střední a největší části sedimentační nádrže jsou šikmě (pod úhlem 45–60°) uložené sedimentační lamely (Tarpagkou a Pantokratoras, 2014). Uprostřed mezi lamelami je vtokový kanálek, jenž vede vodu do spodní části nádrže. Dolní kónická část filtru slouží jako sedimentační prostor. Na dně se nachází odkalovací ventil sloužící k odpuštění nahromaděného sedimentu (kalu, exkrementů, zbytků krmiva).

Voda proudí šikmou sedimentační nádrží následujícím způsobem. Znečištěná voda tedy přitéká do filtru zprava. Středovým kanálkem je poté voda svedena do dolní části filtru přes sedimentační lamely. Zde kal pomalu ztrácí proudovou rychlost a padá ke dnu, respektive na spodní stranu lamel. Čistá voda pak přepadá přes zubovitý (kvůli rozprostření odtoku) okraj odtokového žlabu. V dolní části filtru pak začínají sedimentovat hrubší částice a v horní mikročástice. Flokulační nádrž (není vždy součástí) slouží k vysrážení koloidních nečistot, které se pak usadí v sedimentační nádrži.



Obr. 21. Schéma šikmé lamelové sedimentační nádrže: (A) vertikální řez, (B) izometrický pohled a (C) horizontální řez. Číslo (1) označuje přítok znečištěné vody, (2) středový přívodní kanál, (3) sedimentační lamely, (4) sedimentační kónus, (5) odkalovací potrubí, (6) přelivovou hranu a odtokový kanálek a (7) odtok mechanicky vyčištěné vody (upraveno podle Tarpagkou a Pantokratos, 2014).

K výhodám šikmé sedimentační nádrže patří malá potřeba prostoru pro instalaci a snadná údržba filtru. Nevýhodou tohoto filtru je možnost organických nárůstů na lamelách u vysoce organicky zatížených vod (nutnost dodatečného mechanického čištění). Dochází tím ke snížení účinnosti filtru a následně nedostatečnému odstraňování mikročástic a koloidních nečistot z vody (Tabera a Iznaola, 1989). Účinnost filtru závisí také na rychlosti a množství protékající vody a samozřejmě na délce, respektive na výšce sedimentačních lamel. Vzorec výpočtu účinnosti filtru je následující:

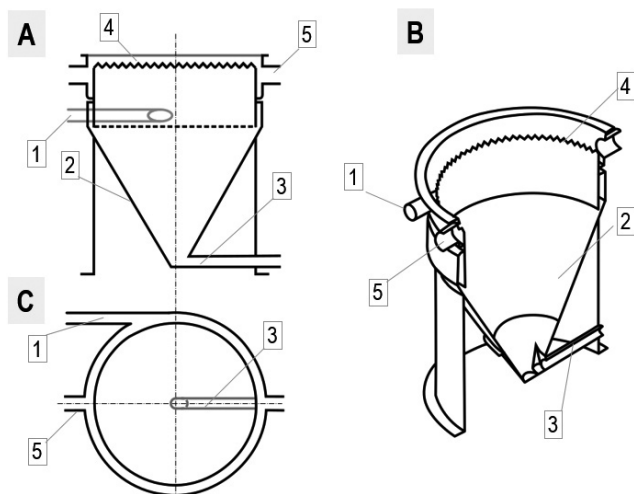
$$Vf_{\max} = Vs L/d$$

Vf označuje maximální rychlost proudění tekutiny, Vs značí usazovací rychlost částic, L je délka nádrže a d hloubka nádrže (Tarpagkou a Pantokratoras, 2014).

Odstředivý separátor (vortex)

Separaci nečistot nedochází k nadměrnému přetěžování mechanických filtrů, do kterých voda většinou dále pokračuje. Vortex neboli odstředivý separátor je jedním z nejjednodušších způsobů separace nerozpuštěných látek z vody RAS. Tento prvek využívá principu odstředivé síly vody (vířivé separace), čímž dochází k sedimentaci nečistot (Lee, 2014).

Na obr. 22 je znázorněn vertikální a horizontální průřez vortexu s tangenciálním přívodem vody (u stěny vortexu). Voda je odváděna z vortexu přes speciálně konstruovanou přelivovou hranu, která zajišťuje rovnoměrný odtok z těla vortexu. Uprostřed dna kónusu je umístěný ventil pro periodické odkalování. Kónický tvar vortexu zajišťuje efektivní sedimentaci nečistot. Vortex bývá zpravidla zapojen za odchovnými nádržemi. Vortex může být však také instalován za mechanickým filtrem pro zahušťování kalu (Lee, 2015).



Obr. 22. Schéma odstředivého separátoru (vortex) s tangenciálním přítokem vody: (A) vertikální řez, (B) izometrický pohled a (C) horizontální řez. Číslo (1) značí přítok znečištěné vody, (2) kónické dno separátoru, (3) odtok sedimentujících látek, (4) přelivovou hranu a sběrný obvodový kanálek a (5) odtok vyčištěné vody (upraveno podle Veerapen a kol., 2005).

V intenzivní akvakultuře jsou vortexy nejčastěji využívány jako mechanické předčištění nerozpuštěných částic, čímž lze usnadnit práci následným prvkům pro mechanickou filtraci (bubnové, diskové filtry atd.). Vortexy se vyznačují jednoduchou konstrukcí, dobrou účinností a tichým chodem bez potřeby

TECHNOLOGIE A TECHNICKÉ PRVKY RECIRKULAČNÍCH AKVAKULTURNÍCH SYSTÉMŮ PRO CHOV RYB

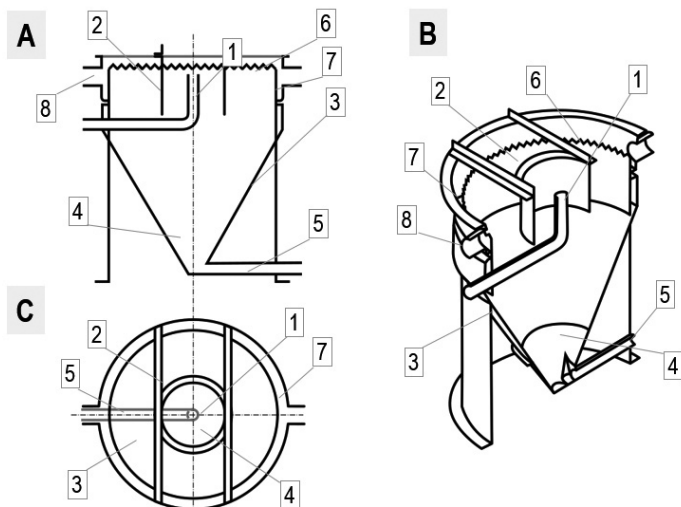
elektrické energie. Mezi nevýhody patří nižší průtočná kapacita. U periodického odkalování je důležité pravidelné manuální (potřeba lidské práce) odstraňování sedimentovaných látek (spodním ventilem), jinak hrozí rozkladné procesy a uvolňování sirovodíku, metanu atd. Další nevýhodou vortexu je, že při gravitačním zapojení tohoto prvku se zvyšuje rozdíl mezi hladinou v odchovných nádržích a hladinou zásobní nádrže. Tím pádem je nutno čerpat vodu do větší výšky (tzn. nárůst spotřeby energie).

Účinnost vortexu závisí především na rychlosti proudění vody ve vortexu (lze ovlivnit přizpůsobením průměru, výšky vortexu, průtoku vody, průměru přítokového a odtokového potrubí atd.), ale také na vlastnostech nerozpuštěných látek (Coelho a Medronho, 2001; Veerapen a kol., 2005). Při správné konfiguraci odseparuje vortex až 71 % zbytků krmiva a až 63 % výkalů (Lee, 2015).

Odstředivý separátor (vortex) s radiálním přítokem

Vortexy s radiálním přítokem mají, stejně jako klasické vortexy, za úkol odseparovat nerozpuštěné látky z vody RAS. Místo odstředivé separace je však využíván princip sedimentace nečistot (Sharrer a kol., 2010).

Půdorysně mají vortexy s radiálním nátokem kruhový průřez (obr. 23). Znečištěná voda je přiváděna radiálně doprostřed nádrže do kruhové sedimentační šachty. Z vortexu je pak mechanicky vyčištěná voda odváděna přes přelivovou hranu. Kónický tvar vortexu zajišťuje efektivní sedimentaci nečistot ve středovém kónusu. Na dně kónusu se nachází ventil, kterým jsou sedimentované nečistoty periodicky (nebo kontinuálně) odkalovány.



Obr. 23. Schéma odstředivého separátoru (vortex) s radiálním přítokem: (A) vertikální řez, (B) izometrický pohled a (C) horizontální řez. Číslo (1) označuje přítok znečištěné vody, (2) usměrňovač proudění, (3) plášť separátoru, (4) kónické dno separátoru, (5) odtok sedimentujících látek, (6) přelivovou hranu, (7) sběrný obvodový kanálek a (8) odtok vyčištěné vody (upraveno podle Johnson a Chen, 2006).

V RAS je vortex s radiálním nátokem obvykle umístován před mechanickými (bubnový nebo diskový) filtry s mikrosíty, čímž lze eliminovat zbytečné přetěžování těchto filtrů. Vortex může být však také instalován na výtoku nečistot z mechanických filtrů, kde zajišťuje zahušťování kalu. Proto jsou vortexty s radiálním nátokem nejčastěji používány pro mechanické předčištění vody z chovných nádrží.

Mezi výhody vortextů s radiálním nátokem patří jednoduchá konstrukce, kompaktnost, dobrá účinnost a tichý chod bez spotřeby elektrické energie. Mezi nevýhody zapojení vortextů s radiálním nátokem patří, že mají zpravidla nižší průtočnou kapacitu znečištěné vody (aby bylo dosaženo odpovídajících parametrů na výstupu). Dále je zde potřeba periodického odkalování (pravidelného manuálního odstraňování sedimentovaných látek spodním ventilem), jinak hrozí rozkladné procesy a uvolňování sirovodíku, metanu atd. Při gravitačním zapojení tohoto prvku se navíc zvyšuje rozdíl mezi hladinou v odchovných nádržích a hladinou zásobní nádrže. Tím pádem je nutno čerpat vodu do větší výšky za vynaložení vyšší spotřeby energie.

Vortexty s radiálním nátokem jsou schopné odstranit až 82 % sedimentujících látek z vody. V RAS jsou vortexty s radiálním nátokem až dvakrát efektivnější než

TECHNOLOGIE A TECHNICKÉ PRVKY RECIRKULAČNÍCH AKVAKULTURNÍCH SYSTÉMŮ PRO CHOV RYB

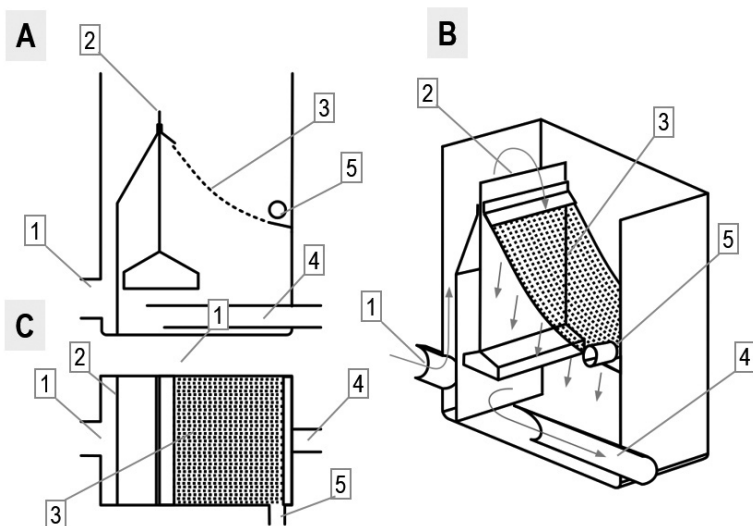
klasické vortexy s tangenciálním přítokem vody, protože dokážou efektivně odstranit i částice s nízkou hustotou (např. výkaly, malé nečistoty) (Johnson a Chen, 2006).

Parabolický filtr

Parabolický filtr patří mezi jednoduché mechanické filtry, kde voda přitéká na povrch speciálně uzpůsobeného mikrosíta a odtéká k dalšímu stupni filtrace. Tento filtr bývá obvykle umístěn za odchovnými nádržemi, kde odstraňuje hrubé nečistoty (předčištění). V některých případech se tento typ filtru používá i pro tzv. denitrifikační smyčku, kdy dochází k vracení organického materiálu zpět do prostoru denitrifikační věže (např. holandské systémy pro produkci keříčkovce červenolehmého). Po tomto prvku obvykle následuje jemnější mechanická filtrace, dezinfekce (ozon, UV) a biologická filtrace.

Parabolický filtr (obr. 24) má v levé dolní části přítok znečištěné vody. Přibližně v jedné pětině filtru je přepážka, která vzdouvá vodu do horní části filtru. Voda pak rovnoměrně přepadá přes přelivovou hranu na filtrační síto parabolického tvaru (možnost zvolit různou hrubost filtračních ok). Tato část tvoří přibližně 4/5 filtru. V pravé části schématu se nachází sběrný kanálek na kal a sediment. Pod sítím je sběrný prostor pro předčištěnou vodu, která pokračuje k dalším fázím čištění vody. Nečistoty jsou pak zadrženy na filtračním sítu a nová přitékající voda je tlačí na spodní část síta, kde se nachází odtokový kanálek. Díky tomuto principu má filtr samočisticí vlastnost.

Výhodami tohoto mechanického filtru je, že je jednoduchý a bezporuchový. Slouží především k odstranění nerozpuštěných hrubších nečistot. Mikročástice a koloidní částice nejsou však odfiltrovány. Mezi nevýhody patří nutnost provádění pravidelné kontroly a údržby. Samočisticí schopnost filtru může být nedostačující, a proto se musí provádět občasné mechanické čištění filtračního síta (nárůst řas a bakterií) (Danaher a kol., 2011). Při použití tohoto filtru je nezbytné zapojit další mechanickou filtraci pro odstranění jemnějších nečistot. Další nevýhodou je ztráta energie gravitačního potenciálu vody (výšky), která přepadá přes navýšenou přelivovou hranu skrz filtrační síto do níže položené retenční nádrže.

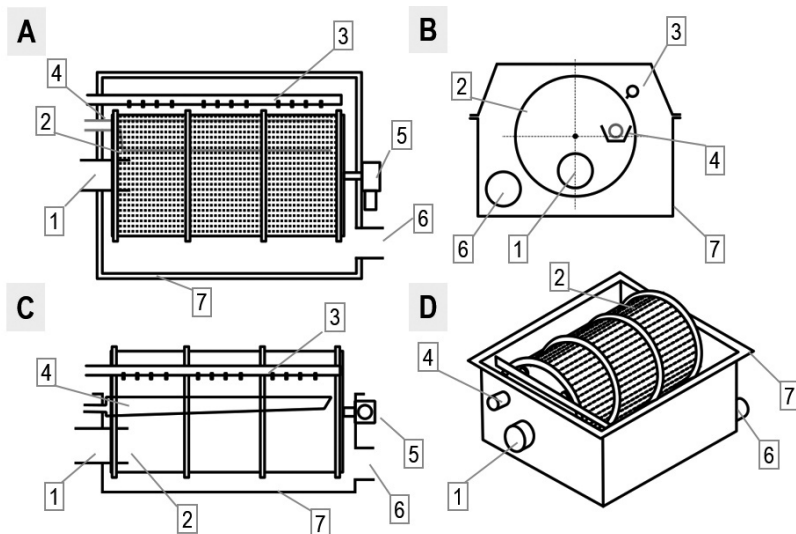


Obr. 24. Schéma parabolického filtru: (A) vertikální řez, (B) izometrický pohled a (C) horizontální řez. Číslo (1) označuje přítok vody, (2) přelivovou hranu, (3) nerezové síto speciální konstrukce, (4) odtok mechanicky vyčištěné vody a (5) kanálek pro odvod nečistot (podle <https://pentairaes.com/fiap-parabolic-screen-filters.html>).

Bubnový mechanický filtr s mikrosítem

K mechanické filtraci se v moderních RAS nejčastěji využívají bubnové mechanické filtry s mikrosíty (Cripps a Bergheim, 2000). Voda přitéká do vnitřního prostoru bubnu, kde protéká mikrosíty (obr. 25). Vyčištěná voda odtéká z prostoru bubnu do vnější části, zatímco nečistoty zachycené na mikrosítu jsou v horní úvratí proplachovány vysokotlakými tryskami a odtékají odpadním kanálkem pryč z prostoru filtru. Průplach je spuštěn buď periodicky, nebo na základě signálu z hladinového čidla. Bubnový mechanický filtr je v systému zapojen za chovnými nádržemi a je předřazen biologické filtraci. V některých případech se toto zařízení používá pro filtraci vody nově přitékající do systému. Naopak v některých systémech je využíván jako koncové řešení pro snížení množství vypouštěných sedimentujících a suspendovaných látek (Losordo a kol., 1999).

TECHNOLOGIE A TECHNICKÉ PRVKY RECIRKULAČNÍCH AKVAKULTURNÍCH SYSTÉMŮ PRO CHOV RYB



Obr. 25. Schéma bubnového mechanického filtru s mikrosítami: (A) pohled shora, (B) vertikální příčný řez, (C) vertikální podélný řez a (D) izometrický pohled. Číslo (1) značí přítok znečištěné vody, (2) otáčivý buben s mikrosítem, (3) rozvod s pracími tryskami, (4) sběrný kanálek pro znečištěnou vodu, (5) motor (pohon), (6) odvod mechanicky vyčištěné vody a (7) uzavřený rám (vana) zařízení (upraveno podle Losordo a kol., 1999).

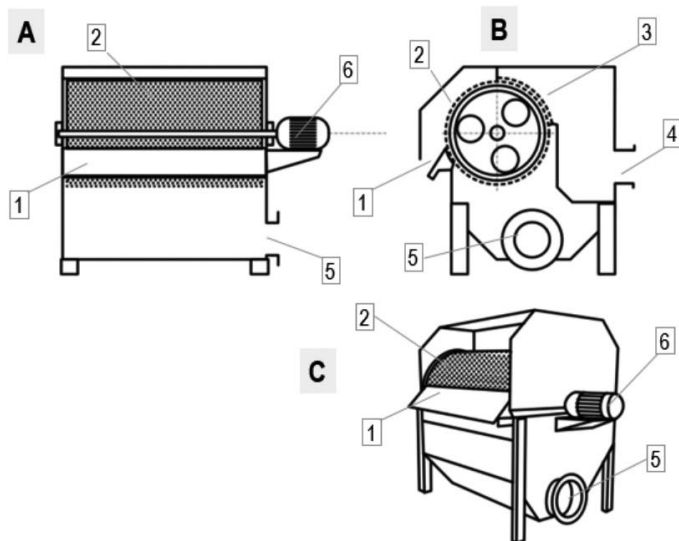
Bubnové mechanické filtry s mikrosítami čistí vodu odtékající z chovných nádrží od nerozpuštěných částic. Motor zajišťuje pootočení tělesa bubnu. Bubnové mechanické filtry s mikrosítami jsou vysoce účinné (veliká filtrační plocha, především pak u segmentových mechanických filtrů), zároveň vynikají dlouhou životností. Hlavní nevýhodou bubnových mechanických filtrů je jejich pořizovací cena a při nevhodném nastavení i vysoká spotřeba prací vody.

Účinnost bubnových mechanických filtrů závisí na velikosti ok mikrosíta (běžně se používají oka 30–100 μm) a také na tlaku prací vody (400–800 kPa) (Twarowska a kol., 1997). Bubnové mechanické filtry Hydrotech™ dokáží odstranit 67–97% suspendovaných částic v závislosti na koncentraci nerozpuštěných částic ve vodě a jejich vlastnostech, ale také na využití předčištění (Twarowska a kol., 1997).

Bubnový mikrosítový filtr s externím nátokem

Tato modifikace bubnového filtru je v některých případech využívána pro koncovou úpravu vody (zvyšování sušiny kalu) na odtoku z farmy. Filtr s rotačním bubnem s externím přívodem vody je schopen odstranit částice o průměru větším než 25 μm .

Zařízení pohání motor s možností regulace otáček (obr. 26). Znečištěná voda natéká přívodním ventilem a stoupá nad filtrační buben skrz vyrovnávací nádržku. Poté vyčištěná voda stéká na dno bubnu a odtéká odvodným potrubím. Nečistoty, které jsou větší než štěrbiny mikrosíta, jsou pootočením bubnu odvedeny z filtru do odkalovacího kanálu. Po průchodu filtrem je obsah vlhkosti kalu o 30–50 % nižší než v původní suspenzi.



Obr. 26. Schéma bubnového mikrosítového filtru s externím nátokem: (A) vertikální podélný řez, (B) vertikální příčný řez a (C) izometrický pohled. Číslo (1) značí přítok znečištěné vody (suspenze kalu), (2) buben s nerezovým mikrosítem, (3) čistící díl (škrabka), (4) odtok kalu s vyšší sušinou, (5) odtok filtrované vody a (6) motor (pohon) filtru (upraveno podle <http://www.hollyhb.com/bar-screen/rotary-drum-filter/external-feed-drum-filter-screen.html>).

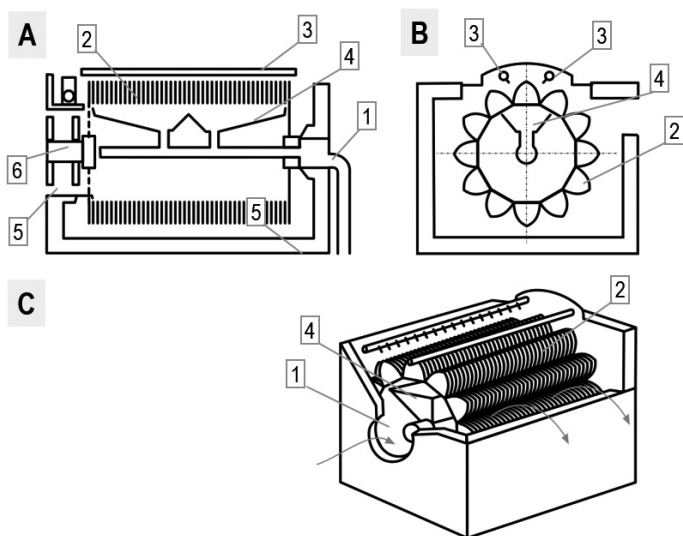
Přihrádkový bubnový filtr s mikrosítou

Mechanická filtrace patří k prvnímu kroku úpravy vody, přičemž je na ní závislá účinnost biologické filtrace, stejně tak jako celková kvalita vody v RAS

TECHNOLOGIE A TECHNICKÉ PRVKY RECIRKULAČNÍCH AKVAKULTURNÍCH SYSTÉMŮ PRO CHOV RYB

(Langer a kol., 1996; Mohamed a kol., 2018). Příhrádkový bubnový mechanický filtr je inovovanou obdobou klasického bubnového filtru. U mechanických filtrů se používá různá hrubost filtračních mikrosít podle typu znečištění odpadní vody a dokáže odfiltrovat částice od velikosti 0,02 mm. Velikost filtru je specifická a bývá většinou úměrná výkonu a maximálnímu možnému průtoku.

Základ filtru tvoří komora a buben s příhrádkami a filtračním mikrosítem (obr. 27). Filtr dále zahrnuje přítok a odtok vody, tlaková čidla, řídicí jednotku, tlakové trysky, čerpadlo, odtokový kanálek. Znečištěná voda vtéká do komory filtru a následně do bubnu, kde protéká přes filtrační mikrosíto. Čistá voda pak odtéká potrubím nebo přepadem k další fázi filtrace (biologická filtrace). Hladina vody v komoře se zvedne po zanesení mikrosíta. Samočištění je spouštěno periodicky, nebo na základě tlakových či hladinových čidel. Princip samočištění spočívá v tlakovém oplachu filtračního síta soustavou trysek poháněných obvykle zubovým čerpadlem. Kromě oplachu zajistí trysky také pootočení bubnu s následným poklesem hladiny. Nečistoty jsou sbírány vnitřním kanálkem a jsou odváděny mimo filtr.



Obr. 27. Schéma příhrádkového bubnového mechanického filtru s mikrosíty: (A) vertikální podélný řez, (B) vertikální příčný řez a (C) izometrický pohled. Číslo (1) indikuje přítok znečištěné vody, (2) otáčivý buben s mikrosítem v podobě příhrádek, (3) rozvod s pracími tryskami, (4) sběrný kanálek pro znečištěnou vodu, (5) rám filtru a (6) motor (pohon) filtru (upraveno podle <https://www.hydrofluxindustrial.com.au/raw-water-intake-screens/rotary-drum-filters/applications/#squelch-taas-tab-content-0-0>).

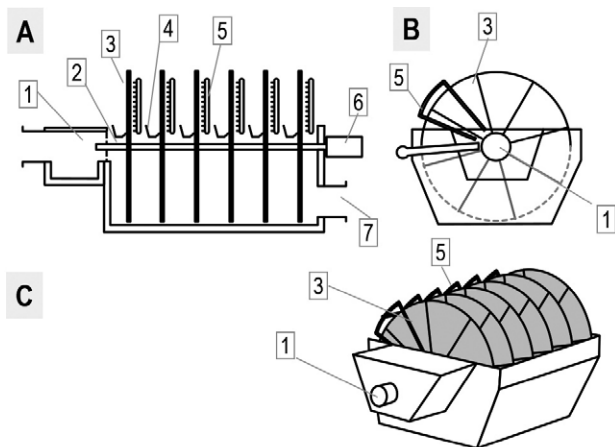
Výkon filtrů se pohybuje od malých průtoků $0,1 \text{ l.s}^{-1}$ až po velké 340 l.s^{-1} . Volba vhodného mechanického filtru má vliv na správné fungování celého RAS (maximální filtrační kapacita, velikost filtračních ok atd.), stejně tak na ekonomický aspekt systému (příkon filtru, množství odpadní vody a tepla). Mechanický bubnový filtr bývá zapojený na odtoku z odchovných nádrží. Před bubnovým filtrem může být předřazená hrubší mechanická filtrace nebo flokulační nádrž, ve které se vysráží koloidní částice (Langer a kol., 1996). Na rozdíl od klasického bubnového filtru má přihrádkový filtr větší filtrační povrch, který je tvořen tzv. přihrádkami.

Mezi výhody filtru patří efektivní filtrační účinnost, schopnost filtrace a odstranění mikročástic od velikosti $0,02 \text{ mm}$, jednoduchá obsluha, snadná údržba a nízké nároky na prostor. K nevýhodám patří relativně vysoké pořizovací náklady, velké náklady na provoz např. oproti usazovacím nádržím (příkon filtru a čerpadla). Neopomenutelnou nevýhodou jsou velké ztráty odpadního tepla a vody (Mohamed a kol., 2018).

Diskové mechanické filtry

Filtr se skládá z několika filtračních disků (nerezová mikrosíta), kterých může být 15 a více u větších konstrukcí. Disky jsou upevněny na rotačním centrálním hřídeli a dvou podpůrných kolech (obr. 28). Každý disk je tvořen z jednotlivých vyměnitelných segmentů a každý segment obsahuje filtrační panely. Každý panel má gumové těsnění. Toto uspořádání je doplněno o nerezový kryt, který celou konstrukci zakrývá, a rotační centrální buben, na kterém jsou upevněny filtrační segmenty média. Dále je zde centrální hřídel a dvě podpůrná kola. Filtrační kvalita je dána velikostí ok síta, kdy síta bývají řazena zpravidla od nejhrubších po nejjemnější. Velikost ok se pohybuje od $600 \text{ }\mu\text{m}$ (nejhrubší) do $40 \text{ }\mu\text{m}$ (nejjemnější) (Allhands a Prochaska, 2017).

TECHNOLOGIE A TECHNICKÉ PRVKY RECIRKULAČNÍCH AKVAKULTURNÍCH SYSTÉMŮ PRO CHOV RYB



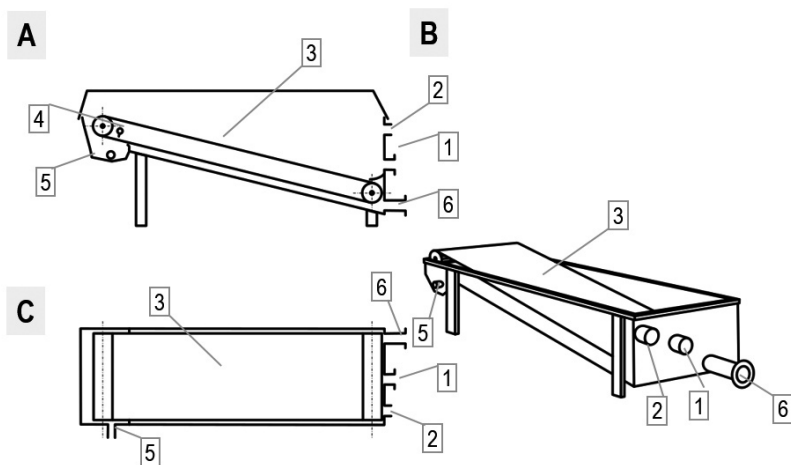
Obr. 28. Schéma diskového mechanického filtru: (A) vertikální podélný řez, (B) vertikální příčný řez a (C) izometrický pohled. Číslo (1) značí přítok znečištěné vody, (2) hřídel pro uložení filtračních disků, (3) filtrační disk, (4) žlábek pro odvod nečistot, (5) trysky pro zpětný oplach, (6) motor (pohon) a (7) odtok mechanicky vyčištěné vody z filtru (upraveno podle Losordo a kol., 1999).

Diskové mechanické filtry jsou umístěny v systému za odchovnými nádržemi. Následně v systému dochází k odkalení, odplynění a biologické filtraci vody. Voda, která má být čištěna, proudí gravitačně do jednotlivých filtračních segmentů centrálního bubnu. Pevné částice se zachycují na vnitřní straně filtračních panelů, které jsou namontovány na stranách segmentů jednotlivých disků. Jakmile se pevné částice zachytí uvnitř filtračního média, začnou bránit průtoku vody skrze disky a hladina vody ve vnitřním prostoru filtru začne stoupat. Po dosažení určité úrovně hladiny sepne senzor, disky začnou rotovat a spustí se zpětný průplach. Vysokotlaký průplach opláchne pevné částice z filtračního média a ty pak putují do korytek (pro každý disk zvlášť) určených pro sběr těchto částic. Obvykle je při zpětném průplachu spotřebováno 0,05–3 % z celkového množství filtrované vody.

Výhodou je jednoduchá konstrukce zaručující dlouhodobou a bezproblémovou životnost celého zařízení. Vyšší účinnost v porovnání s bubnovými mechanickými filtry, nižší spotřeba prací vody, samočištění, funkce bez tlaku, pro čištění filtračního média nejsou požadovány žádné chemikálie, méně náročné na prostor, nižší investiční a provozní náklady (www.hydrotech.se). Mezi nevýhody patří hlučný chod a nutnost dodatečného periodického čištění.

Pásový filtr

Pásový filtr je jednoduché a účinné zařízení pro mechanickou filtraci. Filtr má tvar podlouhlého kvádru, který je úhlopříčně rozdělen filtračním pásem (různá hrubost filtračních ok), jenž je napnutý mezi dvěma „unášeči“ (obr. 29). Ty zabezpečují pohyb a čištění filtračního lože. V pravé horní části filtru se nachází vtok znečištěné vody, která pak propadá sítím na spodní zásobní část filtru a odtéká k další úpravě spodním sběrným potrubím. Kal a nečistoty jsou unášeny na filtračním pásu do horní levé části filtru a přepadají do sběrné nádoby nebo kalového potrubí. U sběrné nádoby je v úvratové části filtračního lože umístěn pryžový škrabák nebo sada kartáčů, které napomáhají čistit filtrační lože. Další způsob čištění může být například pomocí tlakových trysek. Posun filtračního lože může být buď kontinuální, nebo frekvenční, jenž je spínáný pomocí tlakových čidel nebo hladinového plováku v přední části filtru (Ebeling a kol., 2006; Sparks, 2012).



Obr. 29. Schéma protiproudového odpěňovače: (A) vertikální podélný řez, (B) izometrický pohled a (C) pohled shora. Číslo (1) indikuje přítok znečištěné vody, (2) bezpečnostní přepad, (3) polyamidové nebo nerezové mikrosíto, (4) trysky pro zpětný oplach nečistot, (5) přepad a odvod kalů a (6) odtok mechanicky vyčištěné vody (upraveno podle Losordo a kol., 1999).

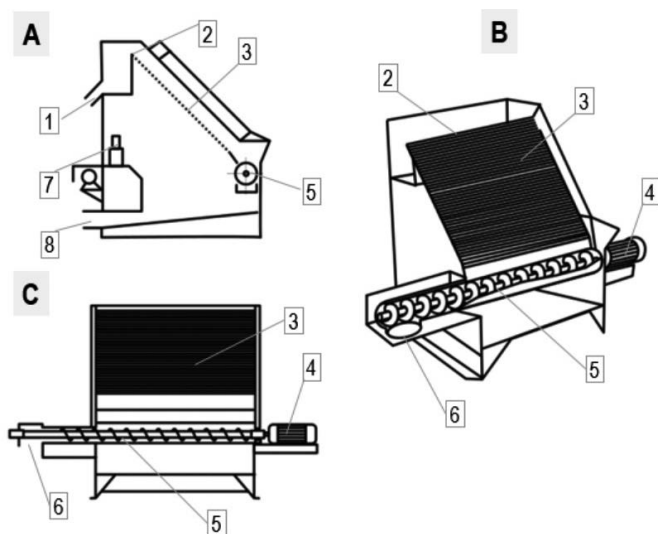
Pásový filtr bývá zapojený jako většina mechanických filtrů na začátku systému za odchovnými nádržemi. Tento filtr odstraňuje především makročástice, ale zaleží na typu a hrubosti filtračního lože (Cripps a Bergheim, 2000).

TECHNOLOGIE A TECHNICKÉ PRVKY RECIRKULAČNÍCH AKVAKULTURNÍCH SYSTÉMŮ PRO CHOV RYB

Účinnost filtru závisí na množství znečištění vody, dále pak na průtoku vody a velikosti filtračního lože atd. Výhodou tohoto filtru je poměrně jednoduchý princip filtrace s nízkoenergetickým provozem (pouze posun filtračního lože). Snadná údržba a kontrola funkčnosti filtru s vlastností samočištění. K nevýhodám pak patří prostorová náročnost filtru a nutnost zapojení jiného mechanického filtru pro odstranění jemných a koloidních částic.

Deskový filtr s mikrosítem

Toto zařízení lze využít pro účinné snížení koncentrace sedimentujících a suspendovaných látek v RAS. Zařízení může být použito i jako koncové řešení pro zvýšení sušiny produkovaného kalu. Hlavním funkčním prvkem deskového filtru (obr. 30) je šikmo uložená deska (mikrosíto) z nerezové oceli.



Obr. 30. Schéma deskového mikrosítového filtru: (A) vertikální řez, (B) izometrický pohled a (3) pohled zepředu. Číslo (1) označuje přítok znečištěné vody, (2) přelivovou hranu pro rovnoměrnou distribuci vody, (3) nerezové mikrosíto, (4) motor (pohon), (5) šnekovice pro odvod kalu, (6) odtok kalu, (7) čistící pohyblivou trysku a (8) odtok vyčištěné vody (upraveno podle <https://www.jxfiltration.com/product/solid-liquid-separator/static-sieve-bends.html>).

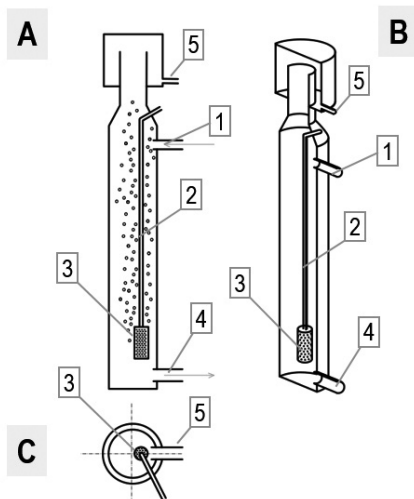
Znečištěná voda je rovnoměrně přiváděna přes přelivovou hranu na povrch dělicího mikrosíta. Pevné látky jsou zachyceny a filtrovaná voda protéká přes

štěrbiny síta. Zároveň jsou pevné látky působením gravitace a kinetickou energií přitékající vody tlačeny ke spodní části síta. Zde je určitá podobnost s parabolickým filtrem. Rovněž konstrukce vlastního síta je podobná, když je svrchní plocha dokonale hladká (pro lepší posun částic k spodnímu okraji) a vnitřní strana síta má větší otvory. Zachycení pevné látky je způsobeno tím, že horní strana síta má malý a hladký slot a zadní strana má velkou štěrbinu. Po oddělení pevných látek a vody jsou pevné látky odvedeny do spirálového lisu (šroubovice), který může tyto látky dále dehydratovat (není vždy součástí). Po dehydrataci lze snížit obsah vody až na 40 %.

Protiproudový odpěnovač

Proteinový nebo také pěnový sběrač (obr. 31) je zařízení odstraňující organické složky, které tvoří zbytky potravy (proteiny, aminokyseliny) a odpadní částice obsažené ve vodě na základě polaritě samotného proteinu. Krom výše jmenovaných lze pomocí proteinových sběračů odstranit i řasy, fytoplankton, sinice či koliformní bakterie, které jsou považovány za indikátory patogenních bakterií a virů (Sukopová, 2008). Dle polarizace samotného proteinu jsou látky buď přitahovány, nebo odpuzovány na rozhraní voda/vzduch. Tyto molekuly mohou být popsány jako hydrofobní (tuky, oleje), nebo hydrofilní (sůl, cukr, amoniak, většina aminokyselin a mnoho anorganických sloučenin). Tento proces, který je označován jako flotace, pracuje na základě fyzikálně-chemických interakcí. Klíčovými aspekty jsou hlavně velikost částic, velikost bublin a dávkování kolektorů na zatížení bublin ve flotační koloně (Eskanlou a kol., 2018).

TECHNOLOGIE A TECHNICKÉ PRVKY RECIRKULAČNÍCH AKVAKULTURNÍCH SYSTÉMŮ PRO CHOV RYB



Obr. 31. Schéma protiproudového odpěňovače: (A) vertikální podélný řez, (B) izometrický pohled a (C) horizontální řez. Číslo (1) označuje přítok vody, (2) přívod vzduchu, (3) rozptylovací element pro vzduch, (4) odtok vody a (5) přeпад a odvod pěny (upraveno podle Losordo a kol., 1999).

V protiproudovém odpěňovači voda protéká komorou válcovitého tvaru ve vrchní části a přichází do styku s protisměrným sloupcem jemných bublin. Bubliny sbírají bílkoviny a další látky a přenášejí je na horní část přístroje, kde se pěna (nikoliv voda) shromažďuje v nádobce nad úrovní hladiny. Zde se pěna kondenzuje na kapalinu, kterou lze snadno odstranit ze systému. Ve spodní části komory odtéká vyčištěná voda zpět do systému. Protiproudový proteinový sběrač se v systému nachází za biologickým filtrem a před retenční nádrží. Standardně bývá za použitou aeraci či oxygenaci v místě, kde dochází k dezinfekci vody pomocí UV, ozonizace, popřípadě flotace.

Proteinové sběrače pracují tak, že vytvářejí velké fázové rozhraní voda/vzduch, konkrétně vstřikováním velkého množství bublin do vodního sloupce. Obecně platí, že čím menší jsou bubliny, tím efektivnější je odstraňování bílkovin, protože plocha malých bublin obsahující stejný objem je mnohem větší než stejný objem větších bublin. Pohyb vody urychluje difúzi organických molekul, což jim umožňuje hromadit se na povrchu vzduchových bublin. Pokud nejsou bubliny odstraněny z vody, tak se nahromaděné molekuly uvolní zpět do vodního sloupce (Holmes-Farley, 2006).

Proteinový sběrač efektivně odstraňuje organický odpad (jemné suspendované látky menší než 30 μm) z vodního sloupce a zároveň pomáhá

udržovat nízkou hladinu dusičnanů tím, že odstraní organický odpad předtím, než uvolní dusíkaté sloučeniny. Dále redukuje fosfáty a zabráňuje tak růstu řas a odstraňuje jakékoliv biologické toxiny. Podporuje výměnu plynů a zvyšuje koncentraci kyslíku. Pomáhá udržovat správné pH tím, že zabráňuje acidifikaci vody, a to díky nahromaděnému oxidu uhličitému. Pomáhá odstraňovat olejový film na hladině, a tím zvyšuje propustnost světla v systému. Pokud je k zařízení instalována odpadní jímka, může se její bioodpad dále využívat. Ve spojení s ozonizátorem dochází ke snížení patogenních organismů, které způsobují nemoci. Nevýhodou tohoto procesu je, že krom organických látek a dalších nežádoucích substancí může dojít k odstranění dalších žádoucích stopových prvků (<http://www.fishtanksandponds.co.uk>).

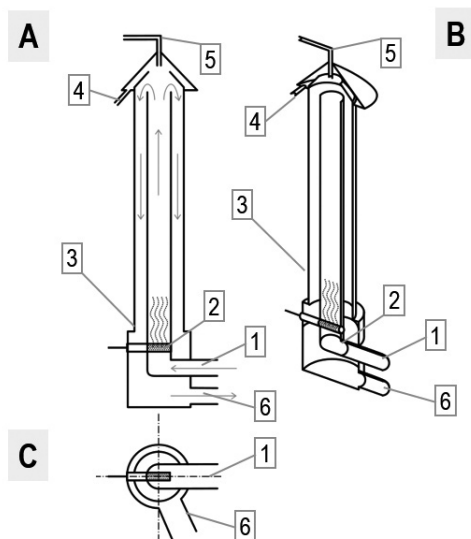
Kromě klasických proteinových sběračů existují i jiné typy či modifikace tohoto zařízení. Například proteinový sběrač s přidanou Venturiho trubici. Tato modifikace je účinnější, protože poskytuje více kontaktního času pro vodu/vzduch. Jejich nevýhodou však může být poměrně hlučný chod. Dalším typem mohou být tzv. Down-draft sběrače, které jsou rovněž velmi účinné. Tento typ využívá různé tvrdé předměty jako média, kterými mohou být biokuličky či různé horniny. Na tyto předměty naráží voda, jež se zároveň míchá se vzduchem. Ta poté steče do zásobní nádrže, kde voda smíchaná se vzduchem vytváří mnoho vzduchových bublin vynášející protein. Pomocí přepážkového systému je zajištěno, že tyto bubliny nejsou čerpány zpět do hlavní nádrže (<http://www.fishtanksandponds.co.uk>).

Podtlakový odpěňovač

Mechanické filtry s mikrosítou jsou většinou méně efektivní při odstranění jemných nečistot (<30 μm). Přítomnost a akumulace těchto suspendovaných nečistot přitom způsobuje snížení kvality vody v RAS, což vede ke zvýšení spotřeby kyslíku a v závažnějších případech také vyvolává nadměrný stres chovaných organismů (Timmons, 1994). Pro odstranění jemných částic lze využít např. podtlakový odpěňovač (obr. 32), který pracuje na principu tzv. pěnové frakcionace neboli flotace.

Podtlakový odpěňovač bývá v systému instalován za jednotkou pro mechanickou filtraci (filtry s mikrosítou, sedimentační nádrže, vortexy), kde dojde k odstranění hrubých nečistot. Z odpěňovače je voda odváděna do biologických filtrů. Do spodní části odpěňovače jsou difuzérem aplikovány velice jemné bublinky vzduchu, které jsou schopné navázat povrchově aktivní částice (výkaly, nespoteřebované krmivo, bakteriální shluky). Ty jsou následně unášeny k hladině, kde vytváří koncentrovanou vrstvu pěny a mohou být odstraněny z RAS (Summerfelt, 1999; Timmons, 1994).

TECHNOLOGIE A TECHNICKÉ PRVKY RECIRKULAČNÍCH AKVAKULTURNÍCH SYSTÉMŮ PRO CHOV RYB



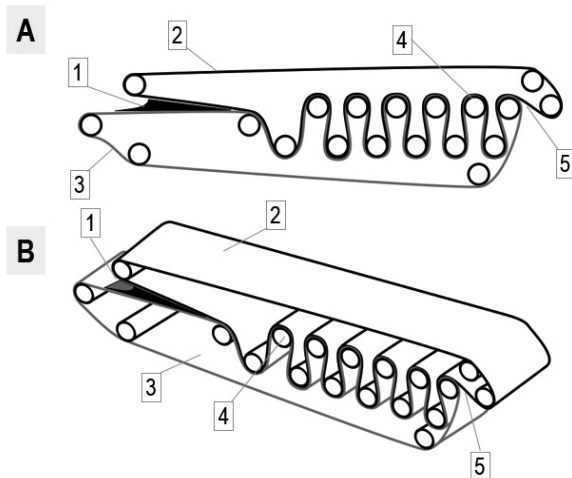
Obr. 32. Schéma podtlakového odpěňovače: (A) vertikální řez, (B) izometrický pohled (C) horizontální řez. Číslo (1) označuje přítok mechanicky předčištěné vody, (2) difuzér vytvářející jemné bublinky vzduchu, (3) tělo podtlakového odpěňovače, (4) odvod pěnové frakce s navázanými jemnými nečistotami, (5) ventil od vakuové pumpy a (6) odtok mechanicky vyčištěné čisté vody (upraveno podle Barrut a kol., 2013).

Hlavní výhodou podtlakového odpěňovače je schopnost odstranit jemné nečistoty (<30 μm), bakteriální shluky, viry, parazity a toxické řasy. To spolu se snížením nákladů na oxygenaci a dezinfekci (nižší zatížení vody, vyšší průhlednost) přináší také snížení rizika propuknutí choroby a zlepšení welfare ryb (Brambilla a kol., 2008; Timmons, 1994). Aplikace jemných bublinek zároveň zajišťuje oksyličení a odvod oxidu uhličitého (Barrut a kol., 2012). Nevýhodou podtlakového odpěňovače jsou vyšší pořizovací náklady a dodatečné náklady na spotřebu elektrické energie. Účinnost odpěňovače závisí na průměru bublin vzduchu, koncentraci a struktuře nečistot, průtoku vody a množství aplikovaného vzduchu. Podtlakový odpěňovač je schopný odstranit až 100 % jemných nečistot ze systému (Barrut a kol., 2013).

Pásový tlakový filtr

Pásový tlakový filtr (obr. 33) obvykle není zapojen přímo do RAS, ale tvoří vedlejší samostatný systém. Je součástí tzv. kalového hospodářství, kdy je na tento filtr čerpán kal z mechanické filtrace (exkrementy, zbytky krmiva)

(Chen a kol., 2002). Vlivem tlaku se oddělí tuhá část suspenze od tekuté. Kal zbavený vody se může využít při výrobě bioplynu jako hnojivo nebo při výrobě kompostu (po otestování nezávadnosti). Pro tyto účely se do kalu někdy přidávají další materiály (řezanka, piliny) a používá se peletovacího stroje.



Obr. 33. Schéma tlakového pásového filtru: (A) podélný vertikální řez a (B) izometrický pohled. Číslo (1) označuje přítok zředěného kalu z mechanické filtrace, (2) horní souběžný pás, (3) dolní souběžný pás, (4) systém kladek a (5) odvod kalu s vyšším podílem sušiny (upraveno podle Sparks, 2012).

Tato technologie maximálně využívá živiny vložené do systému, čímž lze dosáhnout nejen lepší ekonomiky chovu (úspora vody, prodej hnojiva, kompostu, bioplynu), ale také snížení ekologické zátěže v podobě omezení eutrofizace recipientu vody z RAS. Tento filtr je tedy vhodný v oblastech s nedostatkem vody, kde je zbytková voda ze suspenze rekuperovaná zpět do systému. U této technologie je využita jak odpadní přefiltrovaná voda, tak také tepelný potenciál vody (vrátí se zpět do systému).

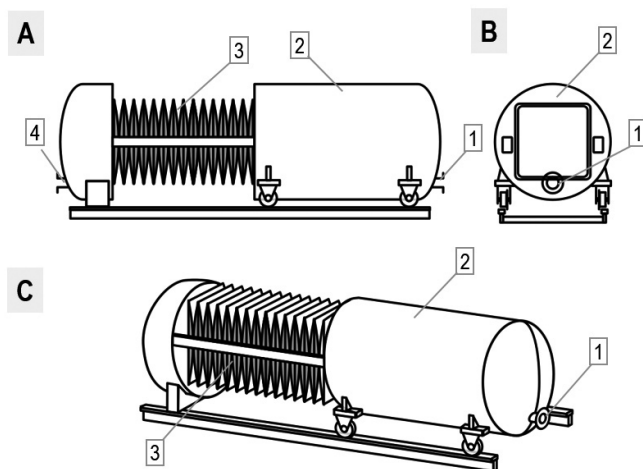
Pásový tlakový filtr vyniká svou jednoduchostí. Filtr se skládá ze dvou nekonečných souběžných přítlačných pásů, které jsou natažené na válcové unašeče. Pásky mohou být vyrobené z různých materiálů (PP, PET). Ty mají různé vlastnosti, jako např. odolnost, velikost ok atd. Oka filtračního pásu musí zachytit nejmenší pevné částičky, ale zároveň musí být dobře propustné, aby dostatečně rychle odtékal filtrát ze suspenze. Filtrační přesnost pásu může dosahovat 1–5 μm .

TECHNOLOGIE A TECHNICKÉ PRVKY RECIRKULAČNÍCH AKVAKULTURNÍCH SYSTÉMŮ PRO CHOV RYB

Samotný proces lze rozdělit do několika fází, a to na předúpravu suspenze, gravitační filtraci a tlakovou filtraci. Předúprava zahrnuje zahuštění kalu na optimální konzistenci, čímž se maximalizuje účinnost pásového tlakového filtru, dále např. dávkování flokulačního činidla, kterým se suspenze částečně odvodní. Lze však také využít různých lisů se sítí, popř. sedimentačních nádrží. Fáze gravitační filtrace probíhá na nátokové části pásového filtru. Zde dochází k dalšímu zahuštění kalu a voda pomocí gravitace protéká pásem, kde je sbírána do retenční nádrže. Poslední fáze je tlaková filtrace, kdy je kal přiveden mezi dva pásy, které se postupně přibližují, a tím vzrůstá tlak působící na suspenzi. Na konci tlakového filtru je již kal zbavený převážně většiny vody a dále sbírán do kontejneru. Poté následuje čištění a tlakový oplach pásů. Z retenční nádrže odtéká voda zpátky do systému nebo slouží k jinému použití (Takáč, 2017).

Tlakový filtr

Tlakový filtr (obr. 34) tvoří dva stlačitelné pásy z obou stran. Filtrační komora v centrální části zařízení se skládá z mnoha filtračních desek a centrálního kanálu. Z boku zařízení je potrubí pro přívod kalu do centrální části filtru.



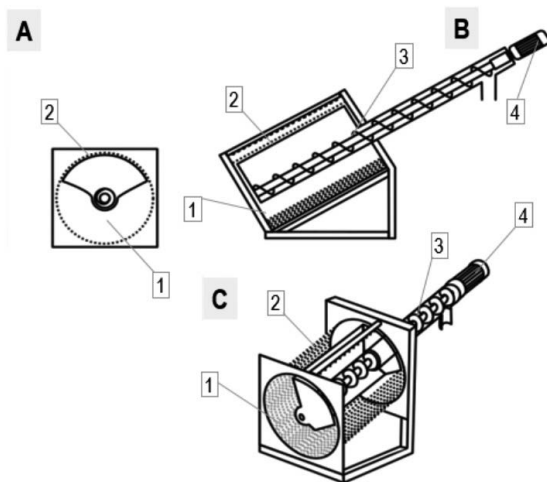
Obr. 34. Schéma tlakového filtru: (A) podélný vertikální řez, (B) příčný vertikální řez a (C) izometrický pohled. Číslo (1) označuje potrubí pro přívod kalu, (2) pohyblivý píst a (3) filtrační desky s mikrosítem, (4) odtok zahuštěného kalu (upraveno podle Sparks, 2012).

Horizontální tlakový filtr je uzavřený filtrační systém a může být plně automatizován. Filtrační desky jsou uzavřeny a udržovány pevně dvěma velkými hydraulickými písty. Potrubím putují nečistoty do filtrační komory. Každá deska se natlakuje a stlačí, aby se zbylá kapalina odstranila od nečistot. Filtrační desky mají duté jádro, které se uvnitř nafoukne. Na nečistoty je vháněn vzduch za účelem dalšího sušení. Kompresní vzduch odstraňuje zbylou suspenzi. Filtrační desky se roztáhnou a suché pevné látky, které jsou mezi nimi umístěny, propadávají do odpadního kanálu. Zařízení se využívá jako koncové řešení pro zvyšování sušiny produkovaného kalu.

Tlakový filtr nemá žádné rotující části, vyžaduje tedy minimální údržbu. Vertikální poloha také usnadňuje čištění. Tyto výhody vedou k úspornému filtračnímu řešení. Další výhodou je velká filtrační plocha, jež zajišťuje účinnější filtraci.

Spirálový bubnový mikrosítový filtr s šikmým uložením

Spirálové rotační bubny jsou další modifikací zařízení, jež mají základ ve využití nerezových mikrosít. Zařízení se sestává z bubnového mikrosíta, šnekového dopravníku a kompaktoru (obr. 35).



Obr. 35. Schéma spirálového bubnového mikrosítového filtru s šikmým uložením: (A) příčný řez, (B) podélný řez a (C) izometrický pohled. Číslo (1) značí přítok znečištěné vody (suspenze kalu), (2) buben s nerezovým mikrosítem, (3) šnekový dopravník a (4) motor (pohon) (podle <http://www.hollyhb.com/bar-screen/rotary-drum-screen/rotary-drum-screen-for-paper-making-factory.html>).

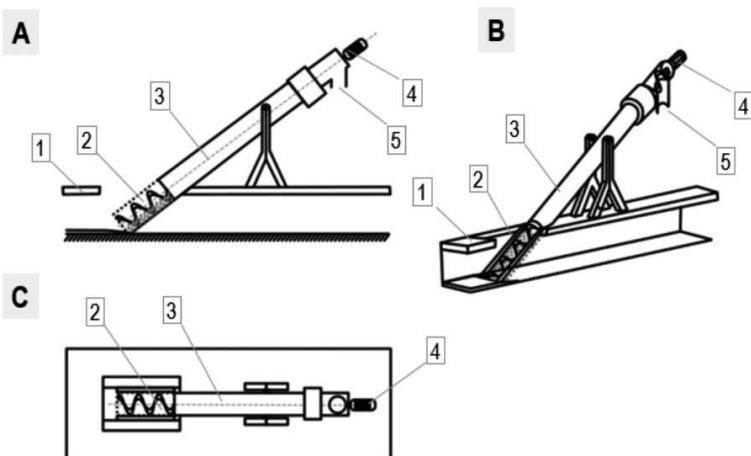
TECHNOLOGIE A TECHNICKÉ PRVKY RECIRKULAČNÍCH AKVAKULTURNÍCH SYSTÉMŮ PRO CHOV RYB

Odpadní voda vstupuje do vnitřního prostoru bubnu a pevné látky jsou zachyceny na vnitřní straně síta. Jakmile dojde k pootočení bubnu, spadnou pevné látky do prostoru spirálového dopravníku. Spirála (šnekovice) přivádí tyto látky do kompaktoru, kde dochází k stlačení a odvodnění. Mechanicky vyčištěná voda stéká rourou, ve které je uložena šnekovice do spodní části filtru. Čisticí kartáče z nylonu jsou namontované do spirály. Spirálové rotační bubny mohou být dodávány pro přímou instalaci do kanálu nebo jako kompletní zařízení uvnitř nádrže z nerezové oceli. Pevné látky vstupují do vnitřního prostoru bubnu a postupně ucpávají síto. Pokud vodní hladina vzroste na předem stanovenou úroveň, bubnové síto a šnekový dopravník se aktivují, pootočí a ponoří čistou část síta do prostoru přítoku znečištěné vody. Při otáčení bubnu přepadají pevné látky do šnekového dopravníku. Rozstříkovací trysky a nylonové kartáče upevněné na obvodu bubnového síta odstraní veškeré zbytky pevných látek z povrchu síta. Pevné látky jsou následně dopravovány, zhuťňovány a odvodněny. V závislosti na vlastnostech těchto látek (kvalitě krmiva) může být dosaženo snížení objemu o přibližně 40 %.

Tlakový šroubový filtr

Tlakový šroubový filtr (obr. 36) se používá pro zvyšování sušiny a valorizaci kalu produkovaného na rybích farmách, ale především v technologii čištění odpadních vod. Hlavním prvkem zařízení je šroubový kuželový hřídel s válcovými síty poháněný motorem. Skládá se ze tří zón zpracování: vstupní a hnací zóna, třídílná zhušťovací a odvodňovací zóna a lisovací zóna s pneumatickým protitlakovým kuželem.

V první části zhušťovací a odvodňovací zóny se filtrát rychle odstraní přes velkou filtrační plochu filtru při nízkém primárním tlaku. Tlaková sonda řídí primární tlak, a tím zajišťuje neustále vysokou kvalitu filtrátu. V druhé části síta je objem materiálu mezi šroubovými linkami snížen kónickým šroubem a kal je přitlačován proti vnitřnímu povrchu síta tak, že kal je odvodněn s kontinuálním zvýšením tloušťky filtračního koláče. Otvory mikrosíta jsou v této části filtru mnohem menší. Dále je odvodněný kal tlačěn dopravním šroubem přes tlakový kužel do výtlačné komory. Doba zdržení kalu ve šroubovém lisu a tím i doba filtrace může být regulována.



Obr. 36. Schéma tlakového šroubového filtru: (A) vertikální řez, (B) izometrický pohled a (C) pohled shora. Číslo (1) označuje přítok znečištěné vody (suspenze kalu), (2) šroubovice (šnek) s nerezovým mikrosítem, (3) vnější plášť, (4) motor (pohon) a (5) odvod kalu (upraveno podle <http://www.hollyhb.com>).

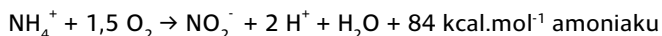
4.4. Zařízení používaná pro biologickou filtraci v RAS

Biologická filtrace je nedílnou součástí RAS, protože díky tzv. nitrifikaci dochází k přeměně látek pro ryby toxických (amoniak, dusitany) na jejich méně toxické metabolity (dusičnany). Při této oxidaci vzniká energie, kterou bakterie využívají pro svůj růst a množení. Z pohledu ryбіho organismu je amoniak (NH_3) toxický a uvolňuje se z netoxického kationtu (NH_4^+) v alkalickém prostředí (kritickou hodnotou je pH 8,5). Jako limitní koncentrace se udává pro pstruha $0,0125 \text{ mg l}^{-1} \text{ NH}_3$ a pro plůdek dokonce jen $0,006 \text{ mg.l}^{-1}$. Subletální dávky mohou negativně působit na příjem krmiva a růst ryb.

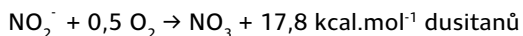
Vlastní nitrifikace je dvoustupňový proces, při kterém je amoniak v prvním stupni nejdříve oxidován na dusitany hlavně pomocí bakterií rodu *Nitrosomonas*. Menší měrou se na tomto procesu podílejí rody *Nitrosococcus*, *Nitrospira*, *Nitrosolobus* a *Nitrosovibrio*. Tyto bakterie získávají energii oxidací neionizovaného amoniaku na dusitany v procesu tzv. nitritace. Tento proces probíhá v biologických filtrech různé konstrukce, které jsou vybaveny různými typy náplní vhodnými pro rozvoj nitrifikačních mikroorganismů. Spontánně (pasivně) k tomuto procesu dochází i na dalších technologických prvcích systému (trubky, stěny nádrží apod.).

TECHNOLOGIE A TECHNICKÉ PRVKY RECIRKULAČNÍCH AKVAKULTURNÍCH SYSTÉMŮ PRO CHOV RYB

Bakterie získávající energii oxidací amoniaku na dusitany neboli nitritační (autotrofní) bakterie tvoří i v optimálně zaběhnutém biologickém filtru maximálně 20 % z celkového počtu bakterií, a to i v systémech, kde jsou pro ně optimální podmínky (není nadbytek uhlíku). Pro zdárný průběh nitrace je nutné zajistit koncentraci kyslíku minimálně 2 mg.l⁻¹. Stechiometricky lze tuto reakci vyjádřit následující rovnicí:



Ve druhém stupni nitrifikačního procesu (tzv. nitrataci), který bezprostředně následuje, jsou dusitany oxidovány na dusičnany. Tohoto děje se účastní hlavně bakterie rodu *Nitrobacter* a méně již bakterie rodů *Nitrococcus*, *Nitrospira* a *Nitrospina*. Pro zdárný průběh této reakce je nutné zajistit koncentraci kyslíku v biofiltru minimálně 4 mg.l⁻¹. Stechiometricky lze tuto reakci vyjádřit rovnicí:



Obě fáze obvykle následují těsně za sebou, proto se v normálně fungujícím systému (zpravidla ve vodním prostředí) nehromadí dusitany. V biofiltrech se obvykle vyskytují současně s dalšími mikroorganismy, jako jsou heterotrofní bakterie a prvoci, kteří metabolizují organické sloučeniny. V případě vysoké koncentrace nerozpuštěných látek přitékajících s vodou na biologické filtry rostou heterotrofní bakterie výrazně rychleji než nitrifikační bakterie a převládají v konkurenčním boji o prostor a kyslík. Heterotrofní bakterie získávají energii z rozpustného uhlíku (organických látek). Proto je nutné, aby voda přitékající do biologických filtrů obsahovala co nejnižší koncentrace nerozpuštěných látek (Greiner a Timmons, 1998; Lekang a Kleppe, 2000).

Proces nitrifikace inhibuje pokles, nebo naopak příliš vysoké pH, nízká koncentrace rozpuštěného kyslíku, nízká teplota, vysoká koncentrace amoniaku, rozpuštěný chlór, přítomnost antibiotik (např. v souvislosti s léčením ryb), přítomnost některých organických látek a vyšší salinita.

Proces biologického čištění využívá bakterie, které rostou buď přímo na povrchu náplně biofiltru, nebo se vyskytují suspendované přímo ve vodním sloupci. Většina recirkulačních systémů využívá bakterie fixované na povrch (nitrifikační bakterie rostou buď na mokřem nebo ponořeném povrchu inertního substrátu). Kapacita biologických filtrů pro odstraňování amoniaku je velkou měrou závislá na celkovém povrchu plochy, kterou mají nitrifikační bakterie k dispozici pro růst. Pro maximální účinnost musí mít používaná média vysokou plochu aktivního povrchu.

Při praktickém provozu RAS je nutné brát v úvahu dynamiku nárůstu koncentrací amoniaku, dusitanů a dusičnanů. Obzvláště významné je to při nabíhání nového biofiltru. K tomu dochází při spuštění nového systému nebo v případech, kdy se praktikuje totální dezinfekce systému po každém turnusu odchovaných ryb (některé farmy na produkci smoltů lososů). Lang a kol. (2015) popisují, jak optimalizovat náběh biofiltru pomocí chloridu amonného a inokula bakterií.

Systém lze spustit a zaběhnout bez přidání inokulačního média. V případě menších systémů je tato praxe nejběžnější. Při zabíhání biofiltru je pro rychlejší vývoj stabilního společenstva mikroorganismů vhodné začínat s teplotou cca o 3 °C vyšší, než je teplota plánovaná pro odchov ryb. Pro podporu K-stratégů (autotrofních bakterií) je vhodné zabíhat biofiltr s pomocí anorganických zdrojů amoniaku (dusitan amonný). Při použití substrátu s obsahem organických látek může docházet k podpoře R-stratégů (heterotrofních bakterií), což v některých případech může vést k nestabilní komunitě bakterií (Atramadal a kol., 2014).

Zkrápěný filtr s rotační distribucí vody

Biologické nitrifikační filtry jsou srdcem RAS. Jejich správná funkce a kapacita je klíčová při přeměně toxického amoniaku na dusitany a dusičnany. K tomuto účelu mohou být využity např. samonosné nebo v konstrukci ukotvené zkrápěné filtry (Losordo a kol., 1999; Van Rijn, 1996). Pro rovnoměrnější distribuci vody uvnitř filtru bývá instalováno rotační rameno nebo pevný trubkový rozvod zajišťující zkrápění co největší plochy filtračního lože (Eding a kol., 2006).

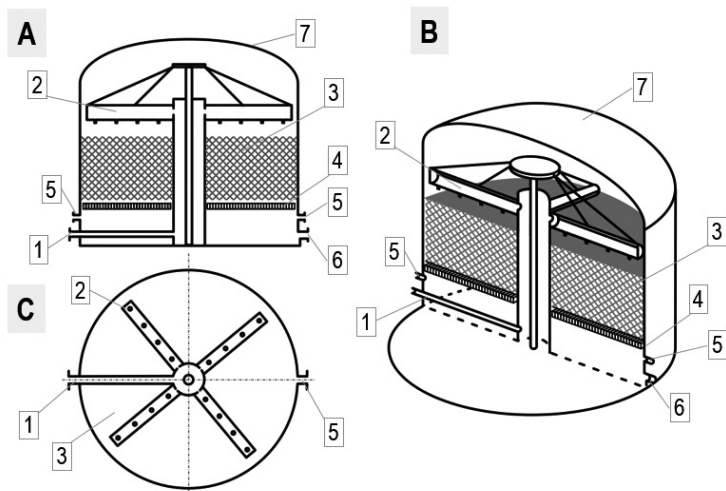
Voda odtékající z mechanického filtru je přiváděna do horní části zkrápěného filtru (obr. 37), odkud je rovnoměrně distribuována na médium uvnitř filtru (pomocí rotačního ramene). Voda přiváděná do vrchní části filtru gravitací prokapává přes médium s nárůstem (biofilmem) nitrifikačních bakterií. Přefiltrovaná voda je odváděna bočním odtokem u dna filtru. Filtr je osazen přívodou vzduchu, aby byly zajištěny správné kyslíkové poměry při procesu nitrifikace, případně někdy bývá vybaven podtlakovým ventilátorem v horní části pláště. Zkrápěné biologické filtry jsou v systému zapojeny za mechanickými filtry. Z biologického filtru je potom voda dále upravována (oxygenace, sterilizace) nebo odváděna přímo do chovných nádrží. Zkrápěný filtr by měl být umístěn na nejvyšším bodě systému kvůli ztrátě tlaku vody.

Zkrápěné biologické filtry se vyznačují snadnou údržbou, robustní konstrukcí, relativně nízkou pořizovací cenou a vysokou tolerancí k organickému zatížení vody. Zkrápěné filtry také významně podporují oxyličení a odplynění vody. Nevýhodou je, že při nedostatečně kvalitní mechanické filtraci se může rozvod vody a médium ucpávat nečistotami. Proto je nutné pravidelné čištění

TECHNOLOGIE A TECHNICKÉ PRVKY RECIRKULAČNÍCH AKVAKULTURNÍCH SYSTÉMŮ PRO CHOV RYB

zkrápěného filtru (Eding a kol., 2006). Další nevýhodou je, že tento prvek není možné využít v RAS „dánského“ typu. Zkrápěním navíc dochází k tepelné výměně mezi vodou a okolním vzduchem.

Při dodržení správných parametrů zkrápěného filtru (typ a povrch média, přívod vzduchu, rovnoměrná distribuce vody) je možné dosáhnout až 100% nitrifikace amoniaku (Lekang a Kleppe, 2000).



Obr. 37. Schéma zkrápěného filtru s rotační distribucí vody: (A) vertikální řez, (B) izometrický pohled a (C) horizontální řez. Číslo (1) značí přítok biologicky znečištěné vody, (2) rotační distribuční rozvod, (3) filtrační lože, (4) podporu pro filtrační médium (mříž, konstrukce), (5) přívod vzduchu a (6) odtok biologicky čisté vody, (7) vnější plášť filtru (upraveno podle Losordo a kol., 1999).

Filtry s ponořeným médiem

V horizontálních RAS, jako je např. farma „dánského“ typu, je cirkulace vody zajištěna airlifty čerpajícími vodu do malé výšky (cca 30 cm). V těchto systémech je tedy nutné použít biologické filtry, které jsou ponořené (obr. 38). Principem jsou podobné zkrápěným filtrům, avšak místo zkrápění média je médium v ponořených filtrech trvale omýváno vodou a biologické médium je trvale v pohybu díky rozvodům vzduchu.

Komora biofiltru je u dna osazena difuzéry vzduchu, nad kterými se nachází médium se specifickou hmotností menší než voda. Přítoky i odtoky vody mohou být umístěny jak u dna, tak u horního okraje komory v závislosti

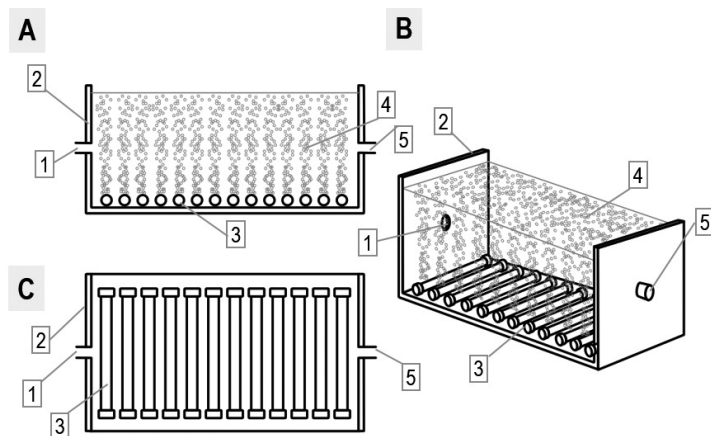
na konstrukci komory. Biologické filtry s ponořeným médiem jsou v systému zapojeny za mechanickými filtry. Z biologického filtru je voda dle potřeby upravena (aerace) a dále odváděna do hlavního airliftu zajišťujícího cirkulaci vody v RAS „dánského“ typu.

Hlavní funkcí ponořených filtrů je biologické čištění vody pomocí nitrifikace (Al-Hafedh a kol., 2003). Nitrifikace probíhá na povrchu média, kde se vytváří biofilm s nitrifikačními bakteriemi.

Ponořené biologické filtry se vyznačují snadnou údržbou a minimálním rizikem ucpání biofiltru. Nemají žádné mechanické části ponořené ve vodě. Nitrifikace probíhá na celém povrchu média, neboť je omýván celý jeho povrch vodou. Vlivem neustálého pohybu média je starý (hrubý) biofilm odstraňován (samočisticí funkce), což zajišťuje efektivnější nitrifikaci (Pujol a kol., 1994). Kyslík a živiny mají totiž horší přístup do spodních vrstev hrubého biofilmu.

Zatímco zkrápěné filtry podporují oxysličení a odplynění vody, biologické filtry s ponořeným médiem vyžadují aplikaci dostatečného množství vzduchu (kyslíku) potřebného pro nitrifikaci. Za komorou ponořeného filtru je tedy většinou nutný další difúzer zajišťující výměnu plynů či jiné zařízení, které plní tuto funkci. Pro optimální proces nitrifikace je nutné zajistit relativně stálý přítok vody.

Při dodržení správných parametrů v ponořeném filtru (typ a povrch média, přívod vzduchu) je možné dosáhnout až 100% nitrifikace amoniaku (Lekang, 2013).



Obr. 38. Schéma filtru s ponořeným médiem: (A) vertikální řez, (B) izometrický pohled a (C) pohled shora. Číslo (1) indikuje přítok vody, (2) vnější plášť filtru, (3) rozvody vzduchu, (4) filtrační náplň (plastové médium) a (5) odtok vody.

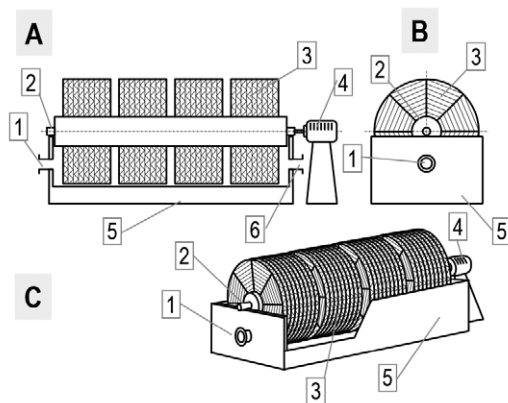
Rotační biologický filtr (biokontaktor)

Rotační biologický filtr (tzv. biokontaktor) se skládá z rotačního centrálního bubnu, na kterém jsou upevněny bloky plastových médií (tzv. biobloky) (viz obr. 39). Média jsou tvořena plasty, polyethylenem, PVC či polypropylenem. Dále je zde centrální hřídel a dvě podpůrná kola. Biokontaktor je v systému umístěn za mechanickým filtrem nebo nádržemi určenými pro sedimentaci.

V těchto filtrech se filtrační médium pohybuje a prochází vodou. Tvoří jej např. několik kruhových disků z plastické hmoty umístěných na poháněné ose a instalovaných do nádrže s neupravenou vodou tak, že část každého disku je ponořena a druhá část je vystavena atmosféře. Disky se otáčejí jen velmi pomalu (3–6 otáček/min). Bakterie kolonizují disky jako u ostatních typů filtračních médií. Proměnlivá expozice disků pak zajišťuje zásobování bakterií (ulpívajících na rotujících discích a přicházejících do styku se vzduchem) kyslíkem. Průměr disků bývá mezi 0,5 až 3 m, tloušťka disku 10 až 20 mm a vzdálenost mezi disky 10 až 40 mm. Pro dosažení vyšší účinnosti se doporučuje zařazovat za sebou více biodiskových jednotek. Při použití těchto filtrů se doporučuje zařadit za ně sedimentační nádrž, která poslouží k usazení plovoucích kalů a organických zbytků.

Tento systém je jednoduchý na instalaci a údržbu a zároveň účinný při odstraňování amoniaku (proces nitrifikace) díky velké ploše filtračního média. Další výhodou je malá zastavěná plocha (Antoine, 2018; Findlay, 1993). Nevýhodou tohoto zařízení je, že médium se ucpává a je nutné ho občas vyměnit. U ložisek někdy dochází k poškození.

Při porovnání účinnosti jednotlivých zařízení je biokontaktor nejefektivnější a nejspolehlivější při odstranění TAN (na úrovni až 74–83 %), dále zkrápěný filtr (23–51 %) a nejméně efektivní se jeví fluidní filtr (8–32 % účinnosti) (Hall, 1999).



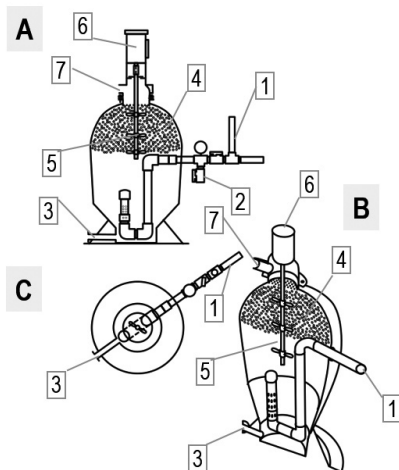
Obr. 39. Schéma rotačního biologického filtru (biokontektoru): (A) podélný vertikální řez, (B) příčný vertikální řez a (C) izometrický pohled. Číslo (1) označuje přítok vody, (2) hřídel pro uložení média, (3) plastové porézní médium, (4) motor (pohon), (5) vnější plášť (vana) a (6) odtok vody (upraveno podle Losordo a kol., 1999).

Tlakové filtry s plastovým médiem

Tlakové filtry s plastovým médiem slouží pro mechanickou separaci velice jemných nečistot. V akvakultuře se uplatní při produkci plůdku citlivých druhů ryb (např. okrasných). Médium uvnitř filtru zároveň slouží pro biologické čištění vody. Tlakové filtry s pískem nebo plastovým médiem jsou většinou využívány pro zachycení velice jemných nerozpuštěných částic. Tento princip úpravy vody je však využíván i v RAS pro jeho jednoduchost a schopnost zachytit velice jemné nečistoty. V RAS mohou být místo písku využívány plovoucí elementy různého charakteru. Zařízení zároveň kombinuje mechanickou i biologickou filtraci (Losordo a kol., 1999; Twarowska a kol., 1997).

Do filtru s plovoucím filtračním médiem (obr. 40) je voda přiváděna do dolní části komory. Přívod vody zde zároveň slouží jako zpětný průplach. Filtry jsou osazeny nouzovým odtokem u dna filtru. Přefiltrovaná voda je odváděna z horní části filtru. Lopatky na hřídeli v horní části filtru slouží pro promytí plovoucího média od pevných částic i pro odstranění starého biofilmu z elementů (Malone a Beecher, 2000). Z filtru může být voda odváděna buď přímo do odchovných nádrží, nebo do biologických filtrů. Voda v intenzivních RAS by měla být předčištěna od nerozpuštěných částic, jinak by hrozilo ucpání filtru (permanentní zpětný průplach). Z toho důvodu je vhodné umístit filtr za jednotku pro mechanickou filtraci, jako je např. vortex nebo filtry s mikrosíty (v závislosti na zatížení a charakteristice odpadní vody).

TECHNOLOGIE A TECHNICKÉ PRVKY RECIRKULAČNÍCH AKVAKULTURNÍCH SYSTÉMŮ PRO CHOV RYB



Obr. 40. Schéma tlakového filtru s plastovým médiem: (A) vertikální řez, (B) izometrický pohled a (C) horizontální řez. Číslo (1) označuje přítok vody, (2) odtok vody pro odkalování, (3) odtok pro odkalování, (4) plastové médium, (5) lopatky na hřídeli, (6) motor a (7) odtok vody z filtru (upraveno podle Malone a Beecher, 2000).

Mezi výhody tlakových filtrů s plastovým médiem patří schopnost odseparovat velice jemné částice. Nevyžadují takřka žádnou údržbu, protože zpětný průplach je automatický. Tlakové filtry s plastovým médiem mají schopnost čistit vodu i biologicky. Dokážou odseparovat jemné částice (<10 μm) a udržet turbiditu v RAS <1 NTU (Ahmed, 1996).

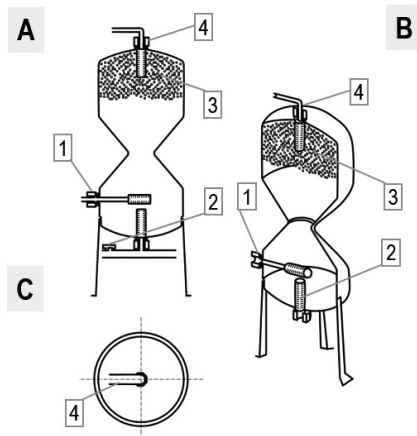
Nevýhodou těchto filtrů je jejich pořizovací cena a ztráta vody při jejich zpětném průplachu (ztráta vody není tak výrazná při využití plovoucích filtračních médií). U starších typů filtrů je filtrace vody pozastavena při zpětném průplachu. Při nedodržení správné frekvence průplachu hrozí rozkladné procesy, nebo naopak časté vyplavování nitrifikačních bakterií (Malone a Beecher, 2000).

Dvojitý filtr s plastovým médiem

Dvojitý filtr s plastovým médiem v sobě kombinuje biologický, avšak částečně také mechanický filtr. Filtr dokáže odstranit částice o velikosti okolo 15 μm a zároveň slouží jako biofiltr.

Dvojitý filtr s plastovým médiem (obr. 41) je tvořen komorou ve tvaru přesýpacích hodin (objem 45–570 l), do jejíž spodní části je přiváděna mechanicky předčištěná voda. Tlak přítokové vody by neměl překročit 0,7–1 bar podle velikosti a typu filtru. Pokud se v systému použije silnější

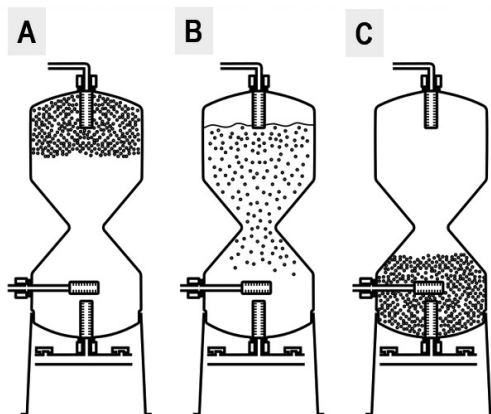
čerpadlo, je zapotřebí instalovat před vstupem do biofiltru tzv. obtokový bypass s redukčním ventilem a pro kontrolu tlaku i barometr. Doporučené údaje o tlaku bývají udávány na výrobku. Dále voda protéká přes komoru filtru s plovoucí médium (plastové kuličky o velikosti 3×5 mm s velkým specifickým povrchem), které se nachází v horní části filtru. Přečištěná voda pak odtéká horním odtokem. Dolní část filtru má tvar kónusu, který je zakončen drémem (odkalovacím ventilem).



Obr. 41. Schéma dvojitého filtru s plastovým médiem: (A) vertikální řez, (B) izometrický pohled a (C) horizontální řez. Číslo (1) označuje přítok znečištěné vody, (2) odtok pro odkalování, (3) filtrační náplň (plastové plovoucí médium) a (4) odvod mechanicky i biologicky vyčištěné vody (upraveno podle Losordo a kol., 1999).

Celý sloupec filtru je jemně provzdušňován, aby byly zajištěny správné podmínky pro proces nitrifikace. Zpětný proplach probíhá pomocí kompresoru a silné aerace filtračního média, čímž kromě odvodu nečistot dojde k abrazi starých nánosů bakterií na médiu (tzv. bakteriální povlak, jehož velké vrstvy by snižovaly účinnost biofiltru). Zpětný proplach filtru je spouštěn buď automaticky na základě tlakových čidel nebo je prováděn obsluhou v pravidelných intervalech (1–4krát za týden), aby bylo zamezeno anaerobním procesům ve filtru, které jsou častým problémem u těchto zařízení. Komora filtru se uzavře (vstupní a výstupní ventil). Do filtru se začne silně vhánět vzduch, který mechanicky čistí médium. Zároveň se otevře přes spodní odkalovací ventil a veškerá zakalená voda odtéká z biofiltru. Nakonec uvnitř filtru zůstanou pouze pročištěné elementy (viz obr. 42 – fáze filtrace).

TECHNOLOGIE A TECHNICKÉ PRVKY RECIRKULAČNÍCH AKVAKULTURNÍCH SYSTÉMŮ PRO CHOV RYB



Obr. 42. Fáze filtrace v dvojitém filtru s plastovým médiem: (A) plovoucí médium, (B) intenzivní aerace pro oddělení pevných částic zachycených na povrchu média a (C) fáze praní (odkalení) (upraveno podle <http://www.uapb.edu/sites/www/Uploads/AQFI/Ext/Classroom/21bbfmanual.pdf>).

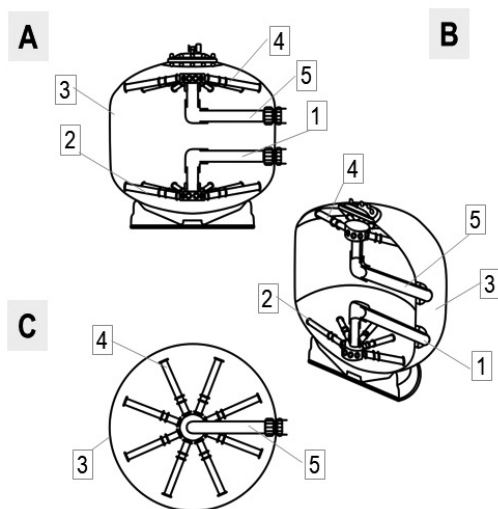
Tvar filtru, připomínající přesýpací hodiny a silná aerace mají zásadní vliv na účinnost a čištění biofiltru. Po fázi praní se filtr opět naplní vodou, vstupní a výstupní ventil se otevře a voda protéká přes filtr, kde dochází opět k biologické filtraci. Účinnost závisí na průtoku a době zdržení vody v biofiltru. U méně zatížených systémů, jako je např. při chovu ornamentálních ryb, můžou být průtoky nastaveny třikrát větší než objem filtru za hodinu (Malone a Rusch, 1998). U zatížených faremních chovů pak průtoky a doba zdržení klesají na obměnu vody jedenkrát i méně, než je objem filtru za hodinu. Jeden kubický metr plastového média ve filtru dokáže přeměnit amoniak vyprodukovaný při spotřebě 23kg krmiva na den. V intenzivních systémech se doporučuje mechanické předčištění vody umístěné před samotným filtrem, čímž se zabezpečí i vyšší účinnost dvojitého filtru (Drennan a kol., 1995). Poté může následovat dezinfekce, aerace atd.

Kvýchodám tohoto filtru patří všestrannost (biologická i mechanická filtrace). Díky tvaru a způsobu čištění je filtr jednoduchý a nenáročný na obsluhu. Tyto filtry mohou být instalované jak ve venkovních, tak i ve vnitřních prostorách (Malone a Beecher, 2000). Hlavní nevýhodou je nízká účinnost biofiltru (malé filtrační lože), a to zejména v intenzivních chovech. Filtr má vyšší energetické nároky (součástí jsou výkonná čerpadla a dmychadla). Filtr hromadí poměrně velké množství odpadní vody, a to během každého pracovního cyklu (objem 45–2 280 l vody za týden).

Tlakový filtr s plastovým médiem

Tlakový filtr je v systému umístěn za odchovnými nádržemi, kde vykonává funkci mechanicko-biologické filtrace. Tlakové filtry s plastovým médiem jsou vysoce efektivní biologicko-mechanické filtry. Primárně jsou určeny pro akvakulturu či okrasná jezírka. Tyto filtry pracují na principu tlakové nádoby podobně jako bazénové pískové filtry. Místo písku však obsahují speciální plastová filtrační média tzv. „beads“ neboli perličky či vločky ([https://easypro.com.](https://easypro.com;); <http://www.jezirka-torakoi.cz>). Tato média vytváří ve filtru velkou filtrační plochu (aktivní povrch) pro nitrifikační bakterie cca 1 600 m².m⁻³ materiálu. Zároveň mají i vysokou mechanickou filtrační schopnost. Po zaběhnutí filtrace dokážou mechanicky filtrovat částice od velikosti 40 μm.

Tlakový filtr s plastovým médiem (obr. 43) se skládá z vnějšího pláště filtru, potrubí pro přítok vody, které je umístěno ve spodní polovině filtračního zařízení, a náplně filtračního média. Voda protéká přes distribuční větev, stoupá přes filtrační plastové médium ke sběrné větvi ve vrchní části zařízení. Následně vycištěná voda odtéká kanálkem pro odtok vody ve vrchní části zařízení.



Obr. 43. Schéma tlakového filtru s plastovým médiem: (A) vertikální řez, (B), izometrický pohled a (C) horizontální řez. Číslo (1) značí přítok vody, (2) rotační distribuční větev, (3) vnější plášť filtru, (4) sběrnou větev a (5) odtok vody (upraveno podle <https://worldofwater.com/evolution-aqua-k1-micro-bead-30-pressurized-filter-with-media-included/>).

TECHNOLOGIE A TECHNICKÉ PRVKY RECIRKULAČNÍCH AKVAKULTURNÍCH SYSTÉMŮ PRO CHOV RYB

Filtrační cyklus je následující. Voda je do filtru přiváděna přes šesticečný ventil. Vytéká u dna filtru speciální tryskou, která vodu roztočí, čímž dojde k usazování nejhrubších nečistot na dně filtrační nádoby. Voda potom prostupuje pohyblivým ložem filtračních perliček, které se koncentrují v horní části filtru. Jsou lehčí než voda, proto vytvoří v horní části filtru vysoce efektivní filtrační vrstvu. Nad touto vrstvou je sběrný kolektor, který odvádí přefiltrovanou vodu přes šesticečný ventil zpět do odchovné nádrže.

Hlavní výhodou je vysoká efektivita, komfortní obsluha a malé nároky na prostor. Další výhodou těchto filtrů je snadné čištění pomocí silného kompresoru a šesticečného ventilu. Šesticestný ventil, který umožňuje filtraci, zpětný proplach, obtok filtru v případě podávání léčiv či algicidů atd., provzdušnění média při odkalení, odvod vody recirkulované vody přímo do odpadu, aniž by znečistila systém. Lze použít i elektronický šesticečný ventil, který procesy čištění zcela zautomatizuje. Bypass umožní obtok šesticečného ventilu, a tak sníží tlakovou ztrátu až o 30 %.

Při nadměrném zatížení je nutné filtr dodatečně propláchnout a odstranit nečistoty. Nejprve se za chodu čerpadla na pár vteřin otevře kulový ventil na dně filtrační nádoby, čímž dojde k odkalení nejhrubších nečistot. Potom se pomocí silného kompresoru, který je součástí dodávky, promíchá obsah filtrace, tím dojde k rozrušení kalů a pročištění média. Čerpadlo je vypnuto. Poté se pomocí šesticečného ventilu obrátí tok vody ve filtru shora dolů, čímž dojde k propláchnutí médií a vypláchnutí kalů z filtrační nádoby. Čerpadlo je zapnuto. Tento cyklus se opakuje až do doby, než z filtru poteče čistá voda. Nakonec se ventil přepne do výchozí pozice a pokračuje filtrace.

Výhodné je používat čerpadla s duálním výkonem, která dokážou díky vyššímu výkonu média lépe propláchnout. Tyto typy filtrů mají srovnatelnou účinnost jako filtry, jež používají písek jako filtrační médium (Steicke a kol., 2007).

„Drop“ filtr

„Drop“ filtr je v systému umístěn za odchovnými nádržemi, kde vykonává funkci mechanicko-biologické filtrace. Tento druh filtru je odlišný od většiny filtrů na trhu díky jeho auto-pneumatickému mechanismu zpětného proplachu.

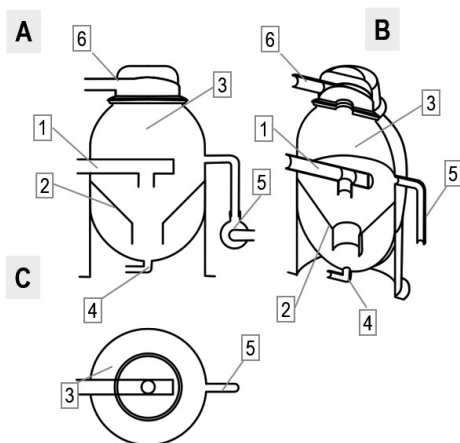
Přítok znečištěné vody je v centrální části „drop“ filtru (obr. 44). Znečištěná voda pak teče kónusem pro sedimentaci směrem k odtoku pro odkalení ve spodní části zařízení. Čištění vody probíhá skrze filtrační plastové náplně ve vnitřním prostoru filtru za současného přísávání vzduchu z boční části zařízení. Vyčištěná voda je odváděna ve vrchní části filtračního zařízení. Ve vrchní části zařízení je komora s ventily instalovanými na potrubí, které vede

dále do systému. Tělo zařízení je ve vrchní části tvořeno filtrační komorou, jež je naplněna plastovým plovoucím médiem. V této komoře je umístěn kanál pro vstup znečištěné vody. Ve spodní části filtru je nainstalován usměrňovací kónus, komora s otvorem pro přívod vzduchu a spouštěcí mechanismus. Spodní část zařízení tvoří prostor pro sedimentaci kalů s kalovým ventilem.

Voda vstupuje pod vrstvu nitrifikačního média a pohybuje se nahoru přes filtrační komoru, kde probíhá mechanická a biologická filtrace. Současně se přivádí vzduch do vzduchové komory předem stanovenou rychlostí pro dosažení požadované frekvence zpětného proplachu. Jakmile komora dosáhne požadované kapacity, tak se spustí pneumatická spoušť a unášený vzduch se uvolní z komory. Náhlé uvolnění vzduchu z nábojové komory způsobí, že se částice filtračního média prudce míchají. Když kuličky spadnou, filtrační lože se roztahuje směrem dolů, zatímco současně proudí voda přes médium směrem dolů a tuhé látky do komory pro naplnění vzduchu. V komoře se pevné látky vylučují z vody díky zpětnému proplachu a jsou později odstraněny z filtru.

Tento typ filtru v podstatě recykluje vodu zpětným proplachem a koncentruje odpadní produkty. Dochází tedy k extrémně nízkým ztrátám vody a maximalizaci kapacity nitrifikace. Četné jemné čisticí cykly podporují vyšší rychlost nitrifikace udržováním zdravého tenkého biofilmu na povrchu média (plastových kuliček). Typické cykly zpětného proplachování se uskutečňují každých 3–6 hodin (<https://astfilters.com>). Mezi další výhody patří automatické proplachování filtrů, vysoká účinnost, dlouhá životnost zařízení, nízká ztráta vody a úspora energie. Biofilm zůstává chráněn před častými cykly zpětného průplachu. Možnou nevýhodou použití tohoto typu filtru je zvuk, který vzniká zapnutím kompresoru naplňujícího zásobník filtru (<https://freshbydesign.com.au>).

TECHNOLOGIE A TECHNICKÉ PRVKY RECIRKULAČNÍCH AKVAKULTURNÍCH SYSTÉMŮ PRO CHOV RYB



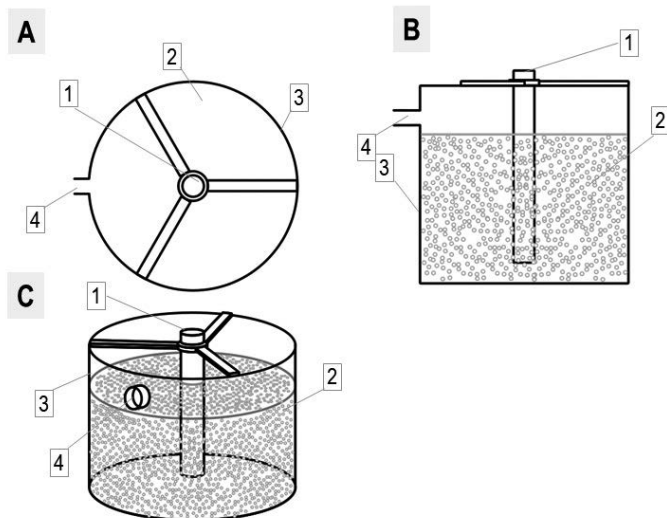
Obr. 44. Schéma „drop“ filtru: (A) vertikální řez, (B) izometrický pohled a (C) horizontální řez. Číslo (1) značí přítok znečištěné vody, (2) kónus pro sedimentaci, (3) vnitřní prostor filtru s filtrační náplní (plastové médium), (4) odtok pro odkalení, (5) zdroj vzduchu a (6) odtok vyčištěné vody (upraveno podle <https://astfilters.com/aquatic-systems/wp-content/uploads/sites/3/2016/01/DF-6-Polygeyser-Bead-Filter-Owners-Manual-10242017.pdf>).

Fluidní filtr s plastovým médiem

Fluidní filtry patří mezi ponořené biologické filtry. Fluidní filtr bývá zpravidla zapojen po mechanické filtraci, která zpomaluje zanášení filtru a zvyšuje jeho účinnost a zjednodušuje údržbu.

Fluidní filtr s plastovým médiem (obr. 45) má kruhový půdorys s válcovitou komorou o různých rozměrech podle potřeby výkonnosti biologické filtrace. Přítok vody je veden středem nádrže směrem shora dolů. Přítoková voda může být svedená pomocí potrubí buď do dolní části filtru, nebo je v horní části rozstříkována pomocí různých lamel a kuželů, čímž se voda okysličuje. Poté je pomocí kruhové vložky svedena do dolní části filtru. V této části filtrace dochází k částečné sedimentaci tuhých částic. Dno fluidního filtru je kónické a opatřené ventilem na odvod usazeného kalu a nánosu bakterií. Voda poté protéká skrz plovoucí médium po obvodu komory filtru směrem vzhůru. V této fázi dochází k biologické filtraci vody. Typ a tvar média může být různý od perliček, spirál, až po kruhové nebo kulovité plastové útvary. Jedno mají společné, a to velký specifický povrch, který je vhodným nosičem pro nitrifikační bakterie. V horní části se nachází síto, jež zamezuje úniku média z filtru. Voda protéká sítom a sběrným potrubím odtéká z filtru.

Fáze čištění spočívá v pravidelném odkalování sedimentu z dolního sedimentačního kónusu. Hlavní část čištění spočívá v proplachování plovoucího média pomocí vzduchu. Toto čištění odstraní nejen tuhé nečistoty, ale i velký nános bakteriálního povlaku, který snižuje účinnost biofiltru. Fluidní filtr se odstaví od systému, nechá se pročistit bublinami vzduchu a celý obsah filtru se odpustí spodním ventilem. Poté se filtr může opět zapojit do systému.



Obr. 45. Schéma fluidního filtru plastovým médiem: (A) horizontální řez, (B) vertikální řez a (C) izometrický pohled. Číslo (1) značí přítok biologicky znečištěné vody, (2) vnitřní prostor filtru s filtrační náplní (plastové médium), (3) konstrukci filtru, (4) odtok vyčištěné vody (upraveno podle Summerfelt a Cleasby, 1996).

Účinnost filtru je relativní parametr, který závisí na řadě faktorů, jako je například rychlost proudění vody nebo poměr délky a průměru biofiltru. S vyšší rychlostí proudění vody klesá účinnost filtrace, stejně tak se zvětšující se hodnotou průměru oproti délce filtru jeho účinnost klesá. Některé zdroje udávají optimální dobu zdržení vody v biofiltru 0,5 až 3 hodiny. Dalšími faktory, které mají vliv na účinnost filtru, jsou například teplota, množství rozpuštěného kyslíku, příprava biofiltru před zahájením chovu „zabíhání systému“ (aktivace média kulturou nitrifikačních bakterií, výživa bakterií).

V tomto typu reaktoru prochází voda skrz pevný granulovaný materiál (obvykle drobné plastové koule) dostatečně vysokou rychlostí pro suspendování média a způsobuje, že suspenze se chová jako kapalina. Při nižších rychlostech vody zůstává médium na dně. Jak se zvyšuje rychlost

TECHNOLOGIE A TECHNICKÉ PRVKY RECIRKULAČNÍCH AKVAKULTURNÍCH SYSTÉMŮ PRO CHOV RYB

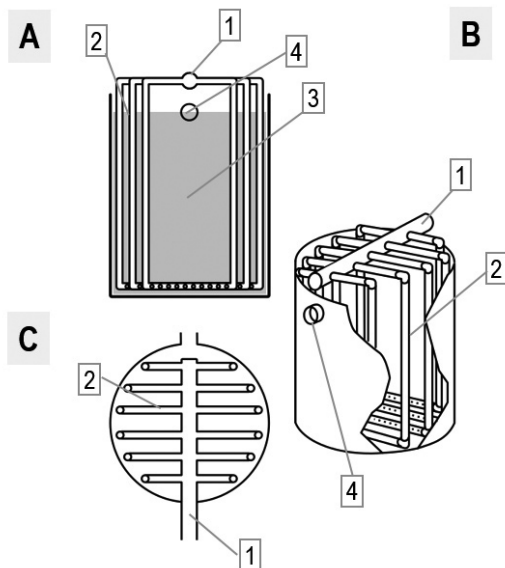
kapaliny, reaktor dosáhne stupně, kdy síla kapaliny vyvinutá na pevné látce (částice média) je dostatečná k vyrovnání hmotnosti pevného materiálu. Tento stupeň je známý jako počáteční fluidizace. Jakmile je rychlost počáteční fluidizace překročena, obsah reaktorového lože se začne expandovat a vířit podobně jako míchaná nádrž nebo varná nádoba s vodou. Reaktor je nyní ve fázi fluidního lože.

V závislosti na provozních podmínkách a vlastnostech pevné fáze lze v tomto reaktoru pozorovat různé režimy průtoku. Některé zdroje udávají účinnost filtru od 60 až po 95 % přeměny amoniaku na dusičnany podle podmínek v prostředí filtru.

Mezi výhody tohoto filtru patří jednoduchý princip filtrace, snadná a rychlá údržba. Médium má ve vzhledu částečnou samočisticí schopnost. Zařízení má poměrně levný provoz a dostatečnou účinnost pro přeměnu toxických metabolitů ryb. Mezi hlavní nevýhody patří velký nárok na prostor a nutnost pečlivého zakotvení v pevném podkladu. Výška a průměr filtru mohou dosahovat několika metrů (výška 4–10 m, průměr 4–8 m). K nevýhodám lze zařadit také nutnost čerpat filtrovanou vodu do vysokých výšek.

Fluidní pískové filtry

Fluidní pískový filtr je v systému umístěn za odchovnými nádržemi, kde vykonává funkci mechanické filtrace. Ve vrchní části fluidního pískového filtru (obr. 46) je distribuční rozvod s centrálním potrubím a bočními rozvody. Tělo zařízení je tvořeno vnějším pláštěm (nádrží). Dále je zde box naplněný pískem nebo jinými jemnými částicemi (plastová média).



Obr. 46. Schéma fluidního pískového filtru: (A) vertikální řez, (B) izometrický pohled a (C) horizontální řez. Číslo (1) značí přítok a distribuci vody, (2) rozvod vody, (3) vnitřní prostor filtru s náplní (písek nebo biokuličky) a (4) odtok vody (upraveno podle Summerfelt a Cleasby, 1996).

Funkce spočívá v tom, že je nádrž z jedné třetiny naplněna tříděným pískem (Sumerfelt, 2006). Do dna filtru je čerpána voda se vzrůstající rychlostí, po dosažení určitého průtoku začne písek „vařit“, a tím se stává fluidním. V tom okamžiku je většina částic filtru k dispozici pro čištění. Z vody se při průtoku přes náplň filtru odstraňují částice, jež mají větší průměr, než je průměr volného místa mezi zrnky písku (média).

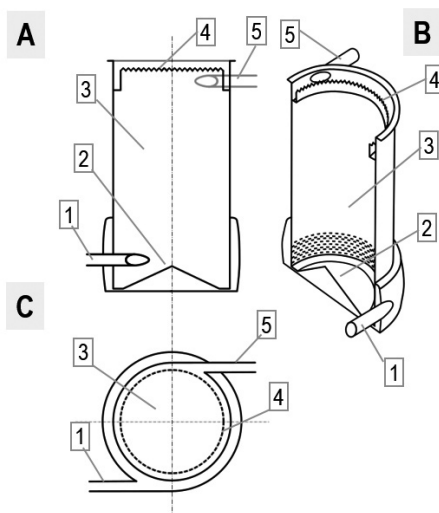
Fluidní pískové filtry jsou využívány pro značnou plochu aktivního povrchu v poměru k objemu a pro vysokou účinnost. Další výhodou tohoto filtru je poměrně nízká pořizovací cena a provozní náklady (Davidson a kol., 2008). Na druhou stranu se fluidní pískové filtry poměrně rychle zanáší nečistotami, je proto nutné filtry často čistit.

Fluidní vortex biofiltr

Fluidní vortex biofiltr (obr. 47) se v systému umísťuje za jednotkami určenými pro mechanickou filtraci nebo sedimentaci a vyčištěná voda proudí dále do odchovných nádrží. Filtr tvoří kanálek pro tangenciální přítok vody

TECHNOLOGIE A TECHNICKÉ PRVKY RECIRKULAČNÍCH AKVAKULTURNÍCH SYSTÉMŮ PRO CHOV RYB

ve spodní části směřující vodu přes kónicky vyvýšené dno filtru. Dále je zde vnitřní prostor filtru, kde na jeho vrchní části je umístěno odtokové potrubí a přeřadová hrana pro rovnoměrný odtok vody. Filtr tvoří válcová nádrž se dnem kónicky vypouklého tvaru, náplň písku (či plastových mikrokuliček) a obvodový odtok pro odnos nečistot. Ve spodní části u vstupu do zařízení je situován přítokový kanál se štěrbinami. Přelivová hrana a odtokový kanál pro výstup vyčištěné vody ve vrchní části zařízení.



Obr. 47. Schéma fluidního vortex biofiltru: (A) vertikální řez, (B) izometrický pohled a (C) horizontální řez. Číslo (1) označuje tangenciální přítok vody, (2) vyvýšené dno filtru (kužel), (3) vnitřní prostor filtru, (4) přeřadovou hranu pro rovnoměrný odtok vody a (5) odtokové potrubí (upraveno podle Summerfelt, 2006).

Voda je přiváděna skrze přítokový kanál tangenciálně kolem základny filtru do zařízení kruhového tvaru. Přívod vody je ve spodní části zařízení. Voda prochází skrze písek (či jiné médium), působí na něj kinetickou energií, uvádí písek do vznosu a stoupá ze spodní části zařízení směrem nahoru. Vyčištěná voda pak odchází přes přelivovou hranu v horní části, obvodovým kanálkem a potrubím dále do systému.

Tento filtr je účinný při odstraňování amoniaku a dusitanů při procesu nitrifikace díky velké ploše aktivního povrchu písku. Účinný je také při čištění velkého objemu vody. Cena písku jako bionitrifikačního média je nízká. Systém vyžaduje menší až střední provozní tlak. Je zde nutnost vybrat správnou velikost částic písku (velikostně tříděný písek), jinak klesá účinnost celého zařízení. Při

výpadku energie je obvykle do šesti hodin přerušen proces nitrifikace. Přítok do systému musí být striktně kontrolován a regulován (udržení částic písku ve vznosu) (<http://www.aquacircle.org>; Summerfelt a Cleasby, 1996).

Denitrifikační věž

Proces denitrifikace je redukční děj přeměňující dusičnany (NO_3^-) a dusitany (NO_2^-) přes oxidy dusíku až na plynný dusík (N_2). Kromě dusíkatých látek musí být v procesu přítomný také rozpuštěný organický uhlík (DOC – angl. „dissolved organic carbon“) sloužící jako zdroj energie ($\text{DOC} + \text{NO}_3^- \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{OH}^- + \text{N}_2$). Energie je využívána heterotrofními bakteriemi (např. *Pseudomonas*) pro růst a množení (Plessis a kol., 1998). Tento proces je striktně anaerobní a probíhá v anoxickém prostředí. Proces denitrifikace je v přírodě přirozený a tvoří část řetězce koloběhu dusíku na naší planetě. Na druhou stranu lidé vypouští značně zatíženou na dusíkaté látky bohatou odpadní vodu (rybí farmy, městské kanalizace, potravinářský průmysl atd.). Vznikají proto různé čistírny odpadních vod a pomocí technologie odbourávají polutanty z vody.

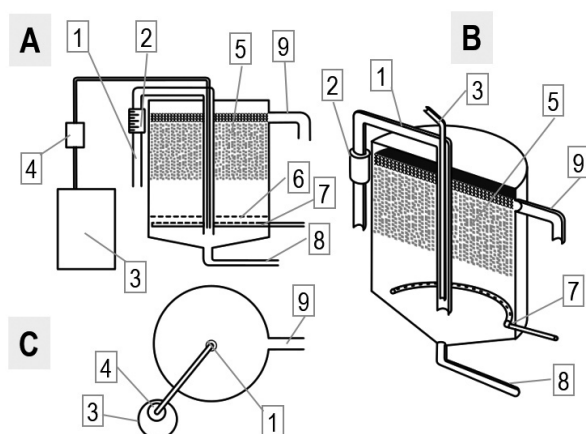
Denitrifikace se ve vodárenství, čistírnách odpadních vod, ale i RAS systémech provádí v tzv. denitrifikačních věžích, které jsou uzpůsobené pro účinné odbourání dusičnanů a dusitanů z vody. Jako zdroj DOC se v RAS dá využívat vzniklý organický sediment z produkce ryb (zbytky krmiv, exkrementy ryb, uhynulé ryby). Tento organický uhlík, který je ve formě částic a velkých celků, není optimální pro denitrifikační bakterie. Z tohoto důvodu se musí upravit. Organický sediment se upravuje anaerobní fermentací, kde se pomocí hydrolýzy štěpí makromolekuly na těkavé mastné kyseliny, jež využívají denitrifikační bakterie.

Denitrifikační nádrže můžeme rozdělit podle tvaru na denitrifikační aktivní filtr (angl. „biological active filter“) a denitrifikační věž. Popisovaná denitrifikační věž (viz obr. 48) má kruhový půdorys s kónickým dnem a spodním odtokem pro fermentát (tj. zbytek stabilizovaného organického materiálu). Horní část věže je hermeticky uzavřená. Do spodní části věže jsou přivedeny středem dva přítoky. Jeden přítok přivádí vodu z RAS bohatou na NO_3^- a druhý vede supernatant bohatý na DOC z přidavného fermentačního reaktoru. Pro eliminaci 1 mg NO_3^- je maximální spotřeba 8,66 mg DOC. Kapaliny se promíchávají v dolní části věže. Voda protéká celým filtrem, který je cca z jedné poloviny naplněný plovoucím médiem (podobné médium v biofiltrech). Médium má velký povrch a slouží jako optimální nosič pro bakterie. V horní části je odtok přečištěné vody. Tento odtok je zabezpečen proti úniku média. Nad touto hranicí se drží vzduchová bublina bohatá na N_2 .

TECHNOLOGIE A TECHNICKÉ PRVKY RECIRKULAČNÍCH AKVAKULTURNÍCH SYSTÉMŮ PRO CHOV RYB

Tlak v nádrži se reguluje pomocí bezpečnostního tlakového ventilu. U dna nádrže je po obvodu nainstalované vzduchové perforované potrubí, které nasává vzduch z horní části věže. Toto zařízení slouží pro čištění denitrifikační věže a média pomocí vzduchu. Důležitou součástí denitrifikační věže je fermentor, kde se předpřipravují živiny (DOC) pro denitrifikační bakterie. Probíhá zde hydrolýza zbytků organického materiálu z RAS. Tento proces způsobují různé kultury heterotrofních bakterií.

Při správné funkci denitrifikační věže, dodávce DOC (správná předúprava substrátu), stabilizaci pH kolem 7 a navození anoxického prostředí může mít denitrifikační věž účinnost až 95 %. Denitrifikační věž se umísťuje mimo hlavní okruh recirkulace jako tzv. bypass (Shnel a kol., 2002). Denitrifikační věž nebývají vždy součástí RAS.



Obr. 48. Schéma denitrifikační věže: (A) vertikální řez, (B) izometrický pohled a (C) horizontální řez. Číslo (1) značí přítok vody do systému, (2) průtokoměr, (3) zdroj rozpustného uhlíku, (4) průtokoměr, (5) náplň plastového média, (6) mříž (síto), (7) rozvod vzduchu pro periodické čištění, (8) odkalovací potrubí a (9) odtok vody ze zařízení (upraveno podle Stavrakidis-Zachou a kol., 2019).

Tato technologie je poměrně finančně a prostorově náročná. Problém s dusičnany je obvykle řešen buď vypouštěním odpadní vody do recipientu nebo komunálního odpadu. Voda v systému je následně ředěna novou čistou vodou. Výhodou denitrifikace v RAS je nezávislost systému na okolí, což je značnou výhodou zejména v oblastech s nedostatkem nebo nedostatečnou kvalitou vody. K dalším výhodám může patřit také eliminace rizika zavlečení chorob do RAS s přítokovou vodou.

4.5. Zařízení pro aeraci a oxygenaci vody v RAS

Metabolismus ryb je založen na dýchání, což je fyziologický proces, během kterého jsou energetické nároky organismu zajišťovány oxidací organických látek. Kyslík získávají ryby z vody. Kyslík je tak průběžně odebírá (využíván) z odchovných nádrží. Vlastní spotřeba kyslíku závisí na různých aspektech, jako je druh ryby, hmotností kategorie, aktivita (odpočinek, nucené plavání, krmení), denní fáze, teplota vody, management krmení (krmná dávka, kvalita krmiva, frekvence krmení) a kvalita vody.

Obecně jsou tři možnosti, jak zabezpečit zvyšující se nároky ryb na kyslík. První z těchto možností je zvýšení výměny vody (průtoku) v odchovné nádrži. Tím dosáhneme zvýšení množství kyslíku dostupného pro ryby a lepšího odvodu produktů metabolismu. To má ovšem své limity a v praxi bývá doporučována výměna celého objemu nádrže 1–2krát za hodinu pro kruhové nádrže a 2–4krát za hodinu v případě delších žlabů. Druhou možností je tzv. aerace neboli mísení atmosférického kyslíku s vodou. Toto byla nejčastější metoda zvyšování koncentrace kyslíku ve vodě před zavedením stlačeného (tekutého) kyslíku do technologií chovů ryb. Třetí a nejprogresivnější způsob zvyšování koncentrace kyslíku ve vodě je jeho přímá aplikace do vody. Nejpoužívanější je dávkování plynného kyslíku buď do přítokové vody nebo přímo do chovných nádrží prostřednictvím rozptylovacích elementů nejrůznější konstrukce. Mezi nejčastěji používané elementy patří vzduchovací kameny z různého materiálu (velmi nízká účinnost), keramické válce a disky (Colt a Wattten, 1988).

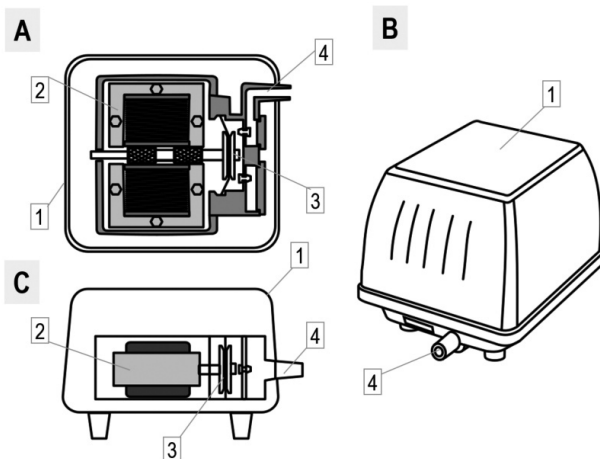
V intenzivních chovech se principiálně užívají tři zdroje kyslíku, mezi které patří vysoce stlačený plynný kyslík, tekutý kyslík a na místě vyrobený kyslík. Difúze kyslíku a plynů do vody je značnou měrou závislá na velikosti kontaktní plochy mezi oběma fázemi. Čím bude tento povrch pro výměnu plynů větší pro určitý objem vody, tím větší a rychlejší bude difúze plynů. Například menší počet velkých bublinek plynu má menší kontaktní plochu než větší množství jemných bublinek, které obsahují stejné množství plynu. Zařízení pro zintenzivnění výměny mezi povrchy kyslíku a vody by proto měla vyrábět velmi jemné bubliny kyslíku, případně trysky by měly produkovat jemné rovnoměrné kapičky vody rozstříkované do atmosféry čistého kyslíku. Rychlost rozpouštění a množství kyslíku rozpouštěného ve vodě je závislé na čase. Určitou dobu trvá, než je veškerý kyslík, jenž je k dispozici, převeden do vody. Mezi další způsoby a zařízení, které maximalizují dobu kontaktu, patří protiproudové směšovače a směšovače, kde je rychlost proudění vody nižší než rychlost bublin.

Vzduchový kompresor membránový

Mechanismus vzduchového membránového kompresoru (obr. 49) tvoří pružné membrány uložené ve víčkách s jednosměrnými ventily a permanentní magnet, na který jsou membrány připevněny. Dále je zde pár elektromagnetických cívek, jež vyvolávají střídavé magnetické pole. Vzduchový membránový kompresor se v systému nachází za biologickou filtrací a před retenční nádrží v místě, kde dochází k aeraci nebo oxygenaci. Membránové kompresory se používají zejména v potravinářském, farmaceutickém, chemickém průmyslu a akvakultuře.

Tyto kompresory pracují na principu vibračního motoru, kdy magnet (aktivační rameno) kmitá v elektromagnetickém poli cívek. Aktivační rameno je spřaženo s **membránami**, kompresní komory membrán jsou opatřeny zpětnými ventily, které určují směr proudění vzduchu. Pohyblivá část kompresoru je zavěšena na membránách a volně pluje v elektromagnetickém poli mezi cívkami, nepotřebuje tedy žádná ložiska, a proto nedochází k žádnému pasivnímu tření. Kompresory jsou opatřeny elektrickými **tepelnými pojistkami** chránícími kompresor před přehřátím. Při zvýšení teploty pojistky odpojí cívky od napětí a kompresor se vypne na dobu potřebnou k dostatečnému zchladnutí. Kompresory jsou vybaveny **mikrospínači** chránícími zařízení před jeho zničením při protržení membrán. Mikrospínač zaznamená výrazné zvětšení zdvihu membrán (aktivační rameno zavadí o páčku mikrospínače) a odpojí cívky od napětí, čímž kompresor vypne.

Mezi výhody patří, že tyto kompresory nepotřebují žádné mazání, neznečišťují stlačovaný plyn olejem, a proto nehrozí kontaminace vody v systému (<http://www.mivalt.cz>). Mezi další výhody patří plynulý průtok vzduchu, nízká hlučnost a chvění, vysoká účinnost, nízká spotřeba elektrické energie, dlouhá životnost, bezolejové provedení, kompaktní a lehká konstrukce, jednoduchá údržba, tepelná ochrana, využití ve venkovním i vnitřním prostředí, spolehlivý přerušovaný i nepřetržitý chod, bezpečnostní konstrukce a automatické odhalení chyby membrán. Mezi nevýhody patří relativně vysoké investiční náklady. Mají vyšší výrobní cenu a pořizovací náklady v porovnání s rotačními kompresory. Na druhou stranu mají mnohem vyšší energetickou účinnost a méně hlučný chod celého zařízení.



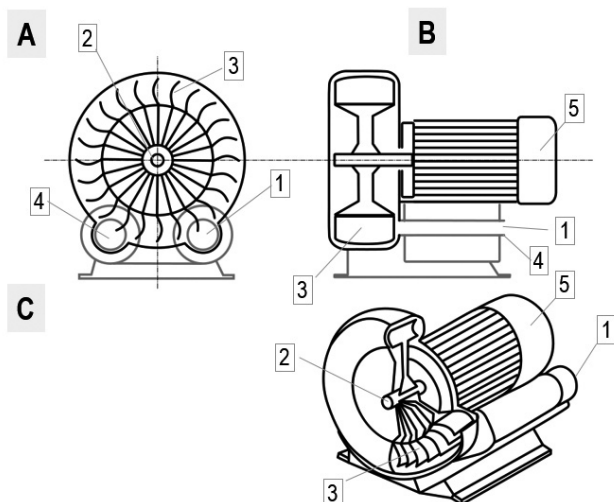
Obr. 49. Schéma membránového vzduchového kompresoru: (A) horizontální řez, (B) izometrický pohled a (C) vertikální řez. Číslo (1) označuje vnější kryt zařízení, (2) trvalý magnet, (3) membránu a (4) výstup vzduchu (upraveno podle <https://www.bibusfrance.fr/en/products/environmental-technology/air-pumps/air-pumps-secoh/>).

Vzduchový rotační kompresor

Vzduchový rotační kompresor je zařízení, které poskytuje stlačený vzduch. Principálně je toto zařízení hodně podobné čerpadlu. Na rozdíl od čerpadla, které čerpá kapalinu, vzduchový rotační kompresor pracuje s plynem, jež jsou stlačitelné.

Zařízení (obr. 50) se skládá ze vzduchotěsného válce, ve kterém je v mediální části umístěn rotor (lopatkové kolo). Na obou koncích je sada hřídelí, jejichž součástí je těsnění společně s antifrikčními (kluznými) a válečkovými ložisky. Jeden konec je opatřen motorem, který pohání hřídele. Na vrchní části válce je umístěna expanzní lopatka. Na druhé straně válce je umístěn ventil, který vytváří podtlak a dochází tak k expanzi vzduchu, jež je přiváděn směrem k rotoru. Kompresory jsou v systému umístěny paralelně u biologické filtrace a odchovných nádrží pro ryby. Za nádržemi určenými pro biologickou filtraci dochází k dohřevu vody, aeraci a případné oxygenaci. Z jedné strany vede sací potrubí, které přijímá vzduch do zařízení. Zařízení obsahuje lopatkové kolo. Motor, umístěný naproti lopatkovému kolu, odvádí hlavní práci, díky které celé zařízení funguje. Vzduch o vyšší tlaku je odveden do systému výstupním potrubím uloženým na druhé straně zařízení.

TECHNOLOGIE A TECHNICKÉ PRVKY RECIRKULAČNÍCH AKVAKULTURNÍCH SYSTÉMŮ PRO CHOV RYB



Obr. 50. Schéma vzduchového rotačního kompresoru: (A) příčný vertikální řez, (B) podélný vertikální řez a (C) izometrický pohled. Číslo (1) značí sací potrubí (přívod vzduchu), (2) hřídel pro uložení lopatkového kola, (3) lopatkové kolo, (4) výstupní potrubí a (5) motor (pohon) (upraveno podle https://www.mivalt.cz/images/Mivalt_CZ_2019.pdf).

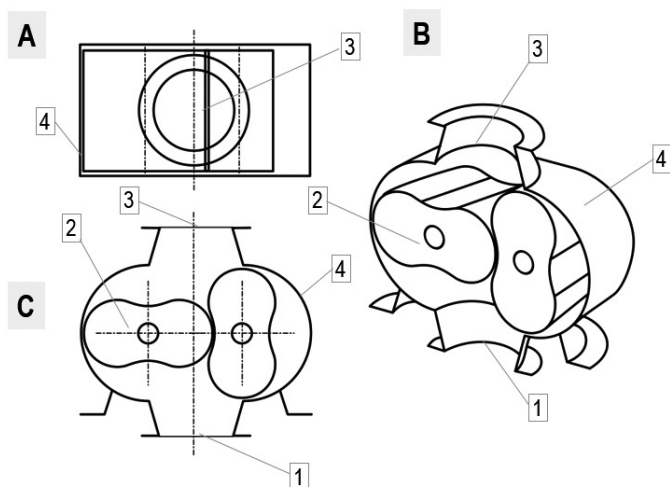
Vzduchový rotační kompresor poskytuje velký objemu vzduchu o relativně nízkém tlaku. Vzduch je přiváděn vstupním otvorem a zachycuje se mezi rotory. Vzduch je poté tlačěn rotory, jež se otáčejí v opačném směru. Když se vzduch dostane do prostoru mezi oběma rotory, dojde k jeho stlačení. Díky přivedené energii dochází k jeho cirkulaci a vyloučení vysokotlakého vzduchu výstupním otvorem (<https://www.quora.com>).

Mezi výhody patří poměrně tichý chod zařízení v porovnání třeba s pístovými kompresory. Je to kompaktní zařízení jednoduchého designu s menším množstvím jednotlivých komponentů. Zařízení je jednoduché na údržbu. Mezi nevýhody patří relativně vysoké provozní náklady či nízký výstupní tlak. Životnost jednotlivých komponentů je kratší a případné defekty bývají fatální pro celé zařízení (<https://www.quora.com>).

V porovnání s pístovými kompresory je obvodová rychlost rotorů u rotačních kompresorů mnohem vyšší. Mají nižší výrobní cenu a pořizovací náklady v porovnání s pístovými kompresory. Iglesias a Favrat (2014) popisují využití rotačního kompresoru. Zmiňují hlavní výhody, jako je výborná výkonnost a účinnost díky vysoké rotační rychlosti.

Rootsovo dmychadlo

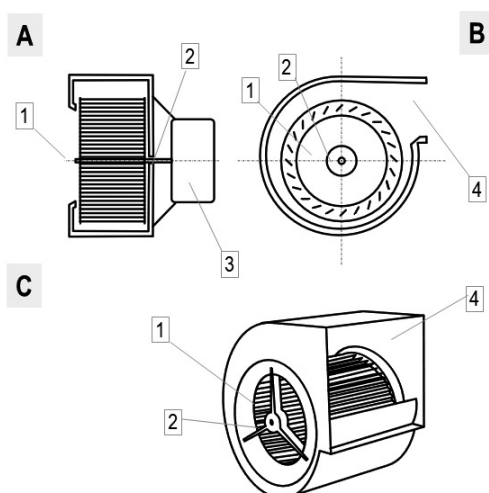
Rootsovo dmychadlo je zařízení se dvěma speciálně tvarovanými rotačními písty. Osy rotací pístů jsou rovnoběžné. Díky speciálnímu tvaru pístů na průřezu (obr. 51) je zajištěno, že se vzájemně doplňují v každé poloze. Tyto písty jsou navzájem spojeny ozubeným převodem umožňujícím jejich rotaci v oválném tělese dmychadla v opačných směrech. Podélně jsou písty přímé nebo mírně zakroucené do šroubovice, což zajišťuje plynulejší chod. Během rotace pístu se cyklicky mění objem prostoru uzavřeného mezi písty. Změna objemu se tak využívá na stlačování vzduchu. V části dmychadla, kde se objem zvětšuje a klesá tlak, je vyústění nasávacího otvoru. V části, kde se objem zmenšuje a tlak stoupá, je vyústění výtlačného otvoru. Tato zařízení jsou vyráběna ve výkonovém rozsahu od 20 m³.h⁻¹ až 2 000 m³.h⁻¹ (<http://www.mivalt.cz/cs/dmychadla-a-kompresory/rootova-dmychadla>). Mezi výhody patří dosažení výstupního tlaku již při malých otáčkách. Účinnost je závislá hlavně na přesnosti výroby pístů a vzdálenosti mezi písty navzájem a ke komoře. Písty nevyžadují mazání, a vzduch tak není znečišťován mazivem a otěrem.



Obr. 51. Schéma Rootsova dmychadla: (A) horizontální řez, (B) izometrický pohled (C) podélný vertikální řez. Číslo (1) značí sací potrubí (přívod vzduchu), (2) rotační písty, (3) výstupní potrubí a (4) vnější plášť (upraveno podle <https://www.mivalt.cz/cs/dmychadla-a-kompresory/rootova-dmychadla>).

Radiální ventilátor

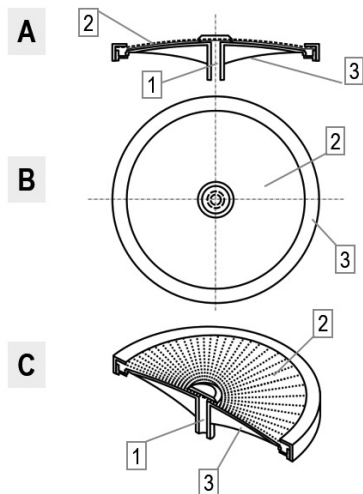
Radiální ventilátory jsou zařízení konstruovaná tak, že vyfukují vzduch kolmo ke směru osy otáčení vrtule (ke směru sání). Osa sání a směr vyfukování vzduchu leží vzájemně v úhlu 90°. Vrtule radiálního ventilátoru svým vzhledem připomíná kolo vodního mlýnu, ale žene vzduch do strany pomocí odstředivé síly. Toto řešení redukuje případné nežádoucí zpětné proudění vzduchu zpátky skrz ventilátor. Díky své konstrukci dosahují radiální ventilátory zpravidla daleko vyššího tlaku než ventilátory axiální. Tento typ ventilátoru nachází své uplatnění především na "dánských" recirkulačních systémech, kde je používán pro mělké airlifty (do 80 cm hloubky).



Obr. 52. Schéma radiálního ventilátoru: (A) horizontální řez, (B) izometrický pohled, (C) podélný vertikální řez. Číslo (1) značí sací potrubí (přívod vzduchu), (2) hřídel, (3) motor, (4) výstupní potrubí a (4) vnější plášť (upraveno podle http://www.klimacz.cz/images/Katalogy/kp_123329.pdf).

Vzduchovací disk

Vzduchovací disk (obr. 52) má širokou škálu využití. Používá se při aeraci různých chovných nádrží, rybníků, nádrží s aktivovaným kalem nebo v zařízení na čištění odpadních vod. Pro svoji vysokou aerační účinnost je tento typ vzduchování často používán v intenzivní akvakultuře (Tchatcher, 1992). Tento komponent bývá umístěn přímo do odchovných nádrží, stejně jako vzduchovací válce či jiná zařízení pro zvýšení obsahu kyslíku ve vodě.



Obr. 53. Schéma vzduchovacího disku: (A) vertikální řez, (B) horizontální a (C) izometrický pohled. Číslo (1) označuje přívod vzduchu, (2) perforovanou membránu (EPDM) a (3) konstrukci disku (upraveno podle http://www.hydrriawater.se/hw_pres/products/pdf/fine_bubble_membrane_diffusers.pdf).

Konstrukce vzduchovacího disku (obr. 53) je z vrchní části kryta perforovanou membránou. Přívod vzduchu je vedený centrem ve spodní části zařízení. Komponent je plochého kruhovitého tvaru a zkonstruovaný z plastu. Diskové difuzory mají elastomerovou membránu s malými otvory buď pro kontinuální, nebo přerušovanou aeraci. Difuzory vytvářejí spoustu velmi malých vzduchových bublin, které pomalu proudí vodním sloupcem, a umožňují tak účinný přenos kyslíku do vody. Určitý tlak je nutný pro překonání odporu vody. Porézní technologie umožňuje rovnoměrné uvolňování vzduchu s vysokou účinností přenosu kyslíku.

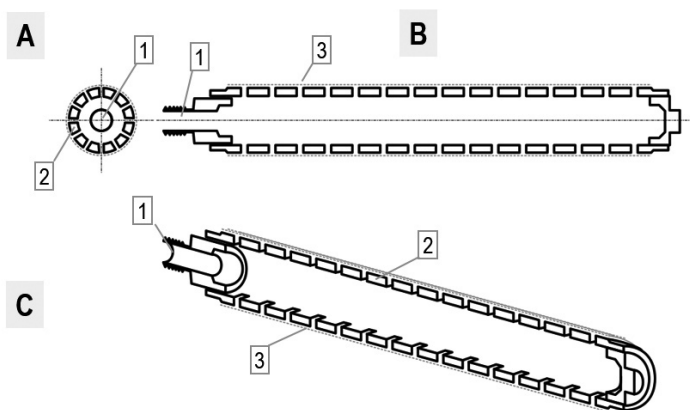
Hlavními výhodami tohoto zařízení je úspora energie a nízké provozní náklady. Membrána má dobrou samočisticí a průplachovou schopnost. Další výhodou je dlouhá životnost, snadná údržba, jednoduchá struktura komponentu a snadná instalace. Zařízení je zkonstruováno z materiálu, který nekoroduje (<https://www.sidcofilter.com>). Nevýhodou je však možné ucpávání membrán, a tím pádem dochází ke snižování účinnosti aerace. Poměr využití kyslíku je u vzduchovacího disku vyšší v porovnání se vzduchovacími válci. Aerační kapacita je rovněž vyšší při porovnání se vzduchovacími hadicemi. Proudění vzduchu je srovnatelné s hrubým bublinovým difuzérem (<http://www.hydrriawater.se>).

Vzduchovací válec s membránou

Vzduchovací válec s membránou bývá umístěn přímo do odchovných nádrží, stejně jako vzduchovací válce či jiná zařízení pro zvýšení obsahu kyslíku ve vodě. Typické využití těchto komponentů je při čištění komunálních odpadních vod, stabilizaci kalu, aeraci jezírek, rybníků či v akvakultuře.

Přívod vzduchu je zaveden z jedné strany do vzduchovacího válce s membránou (obr. 54), jehož konstrukci tvoří perforovaná trubka s plastovou perforovanou membránou z vnější strany. Gumová membrána (EPDM) je navlečena na perforovanou trubku. Centrální část trubky může být naplněna závažím, aby válec držel u dna nádrže. Na jednom konci je výstupní otvor pro hadici, kterou je vzduchovací válec spojený se vzduchovacím zařízením.

Difuzory vytvářejí velké množství velmi malých vzduchových bublin, které pomalu proudí vodním sloupcem, a umožňují tak účinný přenos kyslíku do vody. Určitý provozní tlak je nutný pro překonání odporu vody. Tyto vzduchovací válce mohou mít různou velikost, počet a vzájemné uspořádání, aby zajistily efektivní aeraci celého systému (<https://www.pureozone.com>).



Obr. 54. Schéma vzduchovacího válce s membránou: (A) příčný vertikální řez, (B) podélný vertikální řez a (C) izometrický pohled. Číslo (1) značí přívod vzduchu, (2) perforovanou trubku a (3) plastovou perforovanou membránu (upraveno podle <https://www.pureozone.com/diffuser.htm>).

Jedná se o energeticky efektivní zařízení, které je účinné i při aeraci většího objemu vody a zabraňuje jejímu následnému znečištění. Okysličuje celý vodní sloupec ode dna, a tak umožňuje aerobním baktériím odbourávat amoniak. Zlepšuje celkovou rovnováhu rozpuštěných plynů. Výhodou jsou

i nízké náklady na instalaci a provoz. Je to spolehlivý a výkonný komponent při přerušovaných i kontinuálních aeračních procesech. Jednoduché čištění a údržba (<https://www.pureozone.com>). Mezi nevýhody tohoto komponentu patří, že podobně jako jakákoliv jemná bublinová provzdušňovací technologie je náchylný k bakteriálnímu znečištění. Nánosy bakteriálního filmu, který ucpává otvory vzduchovací membrány, způsobují zpětný tlak a opotřebení dmychadla. Tím se zvyšují náklady na energii a údržbu. Poměr využití kyslíku je u vzduchovacího válce nižší v porovnání se vzduchovacími disky. Tlakové ztráty jsou rovněž mnohem nižší u vzduchovacího válce než například u hrubobublinového difuzéru. Aerační kapacita tohoto aeračního zařízení je mnohem vyšší v porovnání se vzduchovacími hadicemi. Roe (1945) se zmiňuje o tomto typu difuzéru jako o velice efektivním a ekonomicky přijatelném komponentu. Rovněž Warriner a Rooney (1992) porovnávali účinnost přenosu kyslíku mezi keramickými deskovými difuzory a difuzory typu vzduchovací disk či vzduchovací válec.

Směšovací kónusy pro oxygenaci vody

Udržování správné koncentrace kyslíku je v intenzivní akvakultuře klíčové, protože kyslík má vliv na růst chovaných organismů a následně na celkový ekonomický výsledek. V systémech, kde není možné udržovat požadovanou koncentraci pomocí aerace, je nutné aplikovat do systému kapalný (stlačený) kyslík (Summerfelt a kol., 2004). Při současných cenách je však důležité tento plyn aplikovat do systému efektivně, tak aby ho maximální možné množství přešlo do vodní fáze. Často jsou k tomuto účelu využívány tzv. směšovací kónusy (Losordo a kol., 1999). Kromě toho se tento prvek používá i pro efektivní aplikaci ozonu do systému (Summerfelt, 2003).

Směšovací kónus pro oxygenaci vody (obr. 55) má tvar kužele, kdy horním přítokem je přiváděna odkysličená voda ze systému do směšovacího kónusu. Kyslík je aplikován do kónusu v blízkosti přítoku odkysličené vody, zatímco okysličená voda odchází bočním odtokem. Směšovací kónusy jsou zpravidla zapojeny mezi čerpadlem a chovnými nádržemi. V závislosti na potřebách daného systému (chovaných rybách) se umísťují buď před biologickou filtraci (s cílem zlepšit podmínky pro nitrifikaci), nebo až za biologickou filtraci s cílem přivést do nádrží hyper-saturovanou vodu. V závislosti na intenzitě chovu, individuálních potřebách jednotlivých věkových kategoriích chovaných ryb a velikosti nádrží je možné použít směšovací kónusy individuálně pro každou nádrž zvlášť, a tak efektivně kontrolovat obsah rozpuštěného kyslíku ve vodě.

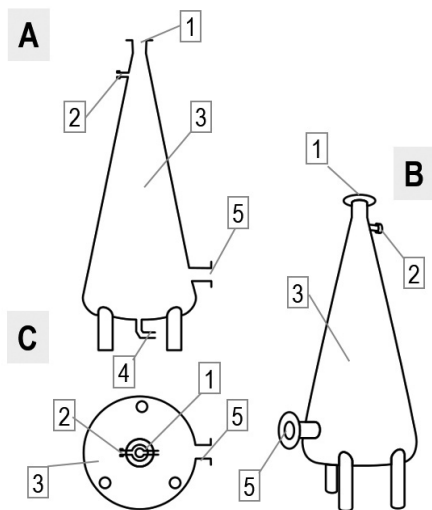
Voda je přiváděna horním přítokem do kónusu, přičemž kónický tvar zajišťuje různou rychlost vody v různých částech kónusu. Aplikovaný plyn

TECHNOLOGIE A TECHNICKÉ PRVKY RECIRKULAČNÍCH AKVAKULTURNÍCH SYSTÉMŮ PRO CHOV RYB

stoupá kónusem nahoru, dokud není zastaven proudem vody, čímž dochází k dokonalému rozpuštění plynu ve vodě. Z toho je patrné, že rychlost vody, respektive průtok vody zařízením a množství přiváděného kyslíku, ovlivňuje účinnost směšování.

Směšovací kónusy využívají více než 90 % aplikovaného plynu (Losordo a kol., 1999). Při malém tlaku vody (1 bar) je možné v praxi dosáhnout koncentrace kyslíku až 25 mg.l⁻¹ (Losordo a kol., 1999). Vyšší koncentrace lze dosáhnout zvýšením tlaku v kónusu.

Směšovací kónusy se vyznačují svou efektivitou využití aplikovaného plynu, jednoduchou konstrukcí a snadnou údržbou. Kónusy jsou vyráběny z nekorozivního sklolaminátu a jsou dostupné v několika velikostech podle průtoku vody. Mezi jejich nevýhody patří nutnost čerpání vody do výšky (nevhodné pro RAS „dánského“ typu).



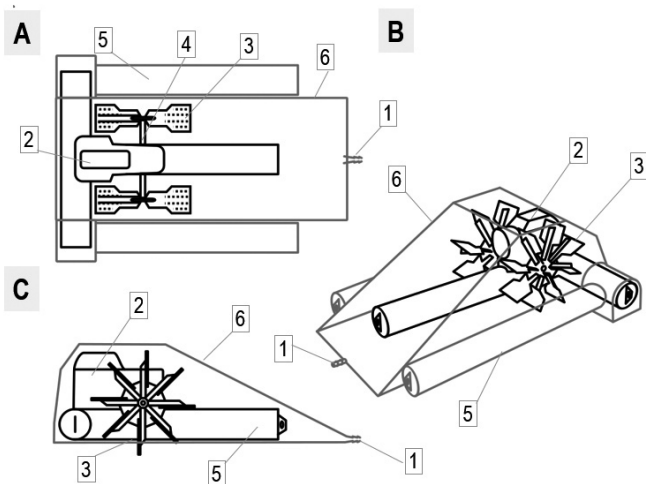
Obr. 55. Schéma směšovacího kónusu pro oxygenaci vody: (A) vertikální řez, (B) izometrický pohled a (C) horizontální řez. Číslo (1) označuje přítok vody, (2) přívod kapalného kyslíku, (3) stěnu kónusu, (4) odkalovací ventil a (5) odtok vody s vyšším nasycením kyslíkem (upraveno podle Losordo a kol., 1999).

Kesenery s kyslíkovou atmosférou

Kesenery s kyslíkovou atmosférou využívají kontaktu přiváděného kyslíku, který přivádějí do vodního sloupce, a zvyšují tak jeho nasycení. Tato zařízení jsou nejčastěji používána v akvakultuře k chovu vodních organismů nebo kultivaci

vodních rostlin. Kesenery s kyslíkovou atmosférou se v systému nacházejí za biologickou filtrací a před retenční nádrží. Zařízení se skládá z motoru, mechanismu k redukcí rychlosti, lopatek umístěných na otočném kole, které jsou namontované na rámu, plováků a krytu (<https://pentairaes.com>).

Konstrukci keseneru (obr. 56) tvoří osa s přidávanými lopatkami. Často bývají namontovány na plovácích. Elektřina vytváří sílu, která otáčí pádly, čeří vodu a umožňuje přenos kyslíku mezi vzduchem a vodou. Intenzita turbulence závisí na rychlosti rotace, velikosti, tvaru, počtu čepelí, průměru a hloubce ponoru rotoru, velikosti a tvaru aerační nádrže, stejně jako na fyzikálních, chemických a biologických vlastnostech vody.



Obr. 56. Schéma keseneru s kyslíkovou atmosférou: (A) horizontální řez, (B) izometrický pohled a (C) vertikální podélný řez. Číslo (1) označuje přívod kapalného kyslíku, (2) motor (pohon), (3) lopátkové kolo, (4) hřidel, (5) plovák a (6) vnější kryt (upraveno podle <https://www.water-proved.de/en/downloads.php>).

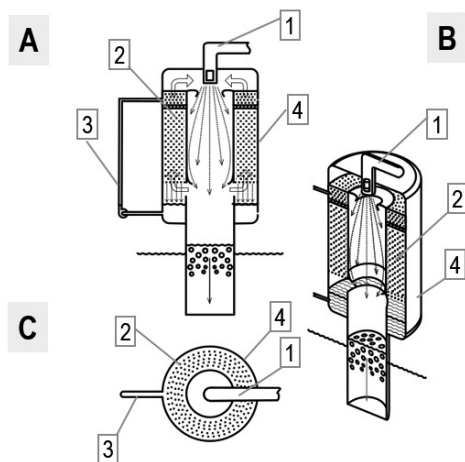
Aerační testy v nádržích ukázaly, že kesenery s kyslíkovou atmosférou jsou účinnější v transferu kyslíku a cirkulaci vody než jiné typy aerátorů běžně používané v akvakultuře. Další výhodou je možnost nastavení přidavného oběžného kola s patentovaným parabolickým designem. Benefitem je také dlouhá životnost jednotlivých komponentů celého zařízení. Cena aerátorů o výkonu 1 kW a výkonnějších je porovnatelná, popřípadě nižší než u jiných typů aerátorů. Méně výkonné kesenery s kyslíkovou atmosférou jsou dražší než jiné typy malých elektrických aerátorů, protože převodové motory požadované pro kesenery tohoto typu jsou velmi drahé (Moulick a kol., 2002).

Rozprašovací věž

Rozprašovací věže se používají v různých průmyslových procesech pro přenos kyslíku mezi dispergovanou kapalnou fází a plynnou fází. Mezi typické aplikace patří absorpce, desorpce, zvlhčování, chlazení odpařování, čištění vzduchu a sušení rozprašováním. V akvakultuře se používají pro efektivní obohacení vody kyslíkem. Rozprašovací věž dosahuje velkého povrchu pro difúzi rozstříkem vody do uzavřeného prostoru s atmosférou čistého kyslíku. Principem je podobná uzavřenému keseneru s kyslíkovou atmosférou.

Přítoková voda je vedena do rozprašovací věže (obr. 57) přes trysku umístěnou v horní části utěsněné vertikální komory. Voda je dispergována do podoby velmi jemných kapének, aby se zvětšil kontaktní povrch. Zařízení může být doplněno o sekundární oběh vody, který navyšuje kontaktní čas pro prostup kyslíku do vodní fáze.

Rozprašovací věže mají výhodu v použití nízkého tlaku plynné fáze v celé komoře, nižších investičních nákladů a jednoduchou konstrukci.



Obr. 57. Schéma rozprašovací věže: (A) vertikální řez, (B) izometrický pohled a (C) horizontální řez. Číslo (1) označuje přítok vody přes rozprašovací trysku, (2) médium pro zvýšení kontaktního času a plochy, (3) sekundární oběh vody a (4) vnější plášť (upraveno podle Watten a kol., 2004).

Venturiho trubice

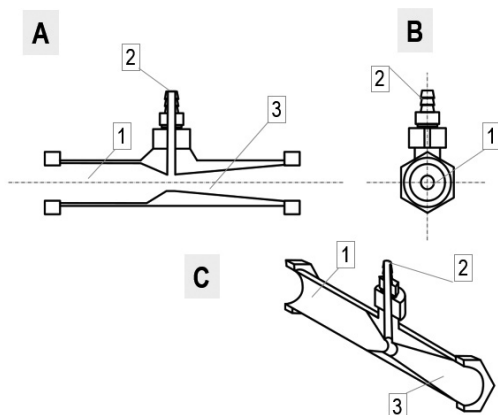
Aerace a oxygenace jsou v akvakultuře klíčovými procesy pro zachování požadované kvality vody a nároků chovaných ryb. Venturiho trubice (injektory nebo hydroinjektory) slouží k efektivní aplikaci vzduchu/kyslíku do vody, přičemž vynikají svou jednoduchostí (Baylar a kol., 2010). Tyto prvky mohou být použity také pro aplikaci ozonu do systému nebo při pěnové frakcionaci (flotaci) (Mazzei a Bollyky, 1991).

Ve Venturiho trubici (obr. 58) voda přitéká do těla injektoru, které se u vstřikovací komory kónicky zužuje. Pokles tlaku (podtlak) v místě za zúžením způsobuje nasátí plynu/kapaliny přes vstřikovací komoru. Výtoková část injektoru se pozvolna rozšiřuje (Baylar a kol., 2010). Venturiho injektory jsou většinou instalovány mezi jednotku pro biologickou filtraci a chovnými nádržemi. Pro aplikaci kapalného kyslíku je někdy využíváno bypassové umístění. Při použití pěnové frakcionace jako filtračního prvku může být Venturiho injektor využit pro distribuci velmi jemných bublin do tohoto zařízení. Venturiho trubice pracují na základě rozdílných tlaků v přitékající a odtékající vodě, kdy se uvnitř trubice vytvoří vakuum, které způsobí nasátí plynu nebo kapaliny přes sací otvor (Lawson, 1978; Mazzei a Bollyky, 1991).

Při správném zapojení a dodržení optimálního vstupního a výstupního tlaku vody je možné pomocí Venturiho trubice efektivně využít až 85 % aplikovaného kyslíku a 95–99 % ozonu (Mazzei, 1997). Klíčová je také konstrukce samotného injektoru, která určuje rozdíl tlaku mezi přítokem a odtokem, a tím také efektivitu tohoto prvku.

Venturiho trubice vynikají svou jednoduchostí, absencí pohyblivých dílů a téměř nulovou údržbou. Přitom jsou poměrně efektivní. Nevýhodou je, že v systémech bez dostatečného tlaku (např. RAS „dánského“ typu) je nutno použít dodatečného čerpadla.

TECHNOLOGIE A TECHNICKÉ PRVKY RECIRKULAČNÍCH AKVAKULTURNÍCH SYSTÉMŮ PRO CHOV RYB



Obr. 58. Schéma Venturiho trubice: (A) podélný vertikální řez, (B) příčný řez a (C) izometrický pohled. Číslo (1) značí přítok vody s nižším obsahem kyslíku, (2) přísávání kyslíku nebo vzduchu a (3) odtok vody obohacené o kyslík nebo vzduch (upraveno podle Baylar a kol., 2010).

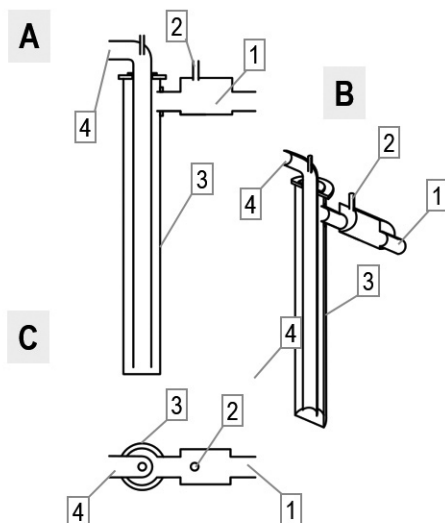
U-trubice

V intenzivních chovech je často nezbytné dodávat kyslík do vody. Vzhledem k jeho vysoké ceně je důležité aplikovat kyslík efektivně. K tomu lze využít například tzv. U-trubice (Summerfelt a kol., 2000b), které jsou v systému zapojeny za jednotkou pro biologickou filtraci. Po aplikaci kyslíku je voda odváděna do odchovných nádrží.

Kyslík je do U-trubice (obr. 59) aplikován na přítoku, kdy voda tekoucí trubicí dolů strhává bubliny kyslíku, až dojde k jejich rozpuštění. U-trubice využívají hydrostatický tlak v uzavřeném prostoru. Kolona může být až 10 m hluboká. Nejjednodušší způsob, jak konstruovat U-trubicí, je vyvrtat díru v zemi a vložit dvě trubky do sebe. Vnější je v dolní části uzavřená (vnitřní ne). Voda proudí dolů vnitřní trubicí a nahoru vnější.

Účinnost U-trubic je závislá na řadě faktorů, přičemž nejdůležitějšími jsou délka trubice (kontaktní čas / tlak vody), průtok vody a konstrukce U-trubice (možnost využití recyklovaného kyslíku) (Watten a Beck, 1985). Klasické U-trubice jsou schopné aplikovat 1–1,5 kg O₂/kWh při efektivitě 30–50 %. U-trubice využívající recyklovaný kyslík (viz obr. 57) potom 2–3 kg O₂/kWh při efektivitě 60–90 % (Colt a Watten, 1988).

Výhodou U-trubic je jejich jednoduchá konstrukce, minimální údržba a takřka nulové riziko ucpání. Nevýhodou dlouhých U-trubic je nutnost čerpat vodu z větší výšky (vyšší náklady na elektrickou energii) (Colt a Watten, 1988).



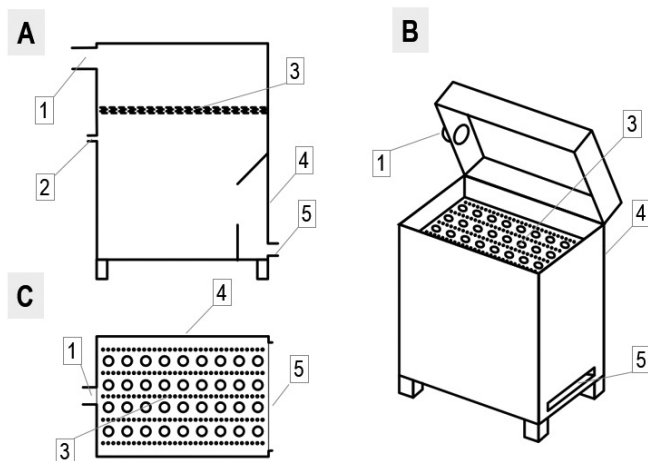
Obr. 59. Schéma U-trubice: (A) podélný řez, (B) izometrický pohled a (C) příčný řez. Číslo (1) značí odtok okysličené vody, (2) ventil pro odplynění/recyklaci nevyužitého kyslíku, (3) tělo U-trubice a (4) přívod vody (upraveno podle Losordo a kol., 1999).

„Low-head“ oxygenátor

„Low-head“ oxygenátor se v systému nachází za nádržemi pro biologickou filtraci a před retenční nádrží. „Low-head“ oxygenátory jsou umístěny přímo do nádrží pod přítok. Zevnitř jsou zaplaveny cca do $\frac{1}{3}$ vodou ve spodní části zařízení. Zvnějšku jsou zaplaveny cca do $\frac{1}{2}$ úrovně celého zařízení.

Celý „Low-head“ oxygenátor (obr. 60) pokrývá vnější plášť. Z boční strany vede kanálek pro přítok vody s nízkým nasycením kyslíku, která teče přes distribuční plato. Pod distribučním platem je zaveden přívod kyslíku. Ve spodní části zařízení je na protější straně instalován kanálek pro odtok vody, která je nasycená kyslíkem. Voda protéká z vrchní části přes perforovaný kryt, pod kterým je prostor s kyslíkovou atmosférou. Zde voda protéká na základě gravitačního spádu a z boku je otvorem přiváděn kyslík. Okysličená voda dopadá na spodní zaplavenou část zařízení, kde dochází k mísení s kyslíkovou atmosférou a větší saturaci vody kyslíkem. Ve spodní části zařízení je otvor odvádějící okysličenou vodu z oxygenátoru do chovných nádrží (Davenport a kol., 2001).

TECHNOLOGIE A TECHNICKÉ PRVKY RECIRKULAČNÍCH AKVAKULTURNÍCH SYSTÉMŮ PRO CHOV RYB



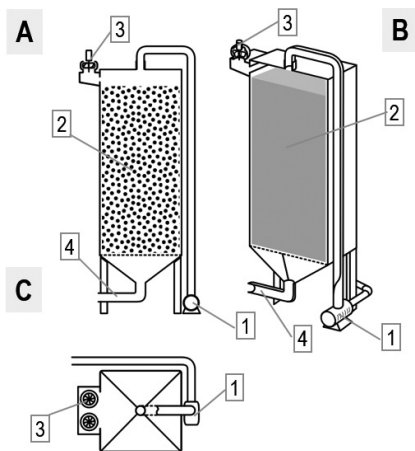
Obr. 60. Schéma „Low-head“ oxygenátoru: (A) vertikální řez, (B) izometrický pohled a (C) horizontální řez. Číslo (1) označuje přítok vody s nízkým nasycením kyslíkem, (2) přívod kapalného kyslíku, (3) distribuční plato s otvory různé velikosti, (4) vnější plášť zařízení a (5) odtok vody nasycené kyslíkem (upraveno podle Davenport a kol., 2001).

„Low-head“ oxygenátor minimalizuje celkovou spotřebu kyslíku. Snadno se instaluje do nádrží a vyžaduje minimální údržbu. Pracuje na základě gravitačního spádu bez pomoci vysokotlakých čerpadel. Pozitivem je nízká hlučnost celého zařízení. Efektivně distribuuje kyslík při současném nízkotlakém přívodu kyslíku, kdy dosáhne saturace až 200 %. Systém je konstruován z nerezového materiálu, a tím se zaručuje zvýšení celkové trvanlivosti (<https://www.w-m-t.com>). Nevýhodou je omezený prostor pro výstup saturovaného kyslíku (<https://www.ace4all.com>).

Odplyňovací věž

Odplyňovací věže se v systému nacházejí buď za nádržemi pro mechanickou filtraci, nebo sedimentací a před biologickým filtrem. Odplyňovací věže jsou navrženy tak, aby udržovaly celkový tlak plynů ve vodě co nejbližší rovnováze s tlakem atmosférického plynu. Plyny, jako je dusík, sirovodík a oxid siřičitý, mohou být v oběhu recirkulačních systémů přesyceny. Odplyňovací věže jsou navrženy tak, aby „přesycené“ plyny byly odvětrány z vody. Oxid uhličitý (CO_2) se může stát problematickým v RAS, kde se používá čistý kyslík. Akumulace CO_2 může totiž způsobit dramatický pokles pH během krátkého časového období (<http://www.oceans-design.com>).

Odplyňovací věž (obr. 61) sestává z potrubí situovaného ve vrchní části, kudy přitéká voda do zařízení. Zde je rovněž instalován podtlakový ventilátor. V centrální části je umístěna náplň plastového média, jíž protéká voda až do odtokového kanálku, kterým prochází vyčištěná voda. Samotný princip odplyňovací věže je následující. Voda je přiváděna do vnitřního prostoru věže potrubím, které je instalováno z boční strany zařízení, kde dále kaskádovitě protéká přes distribuční desku a pod ní uložené plastové médium na základě gravitačního spádu. Podtlakový ventilátor odsává vzduch z prostoru věže za účelem odvětrání CO_2 a zvýšení nasycení kyslíku ve vodě. Vyčištěná voda odchází potrubím situovaným na spodní části zařízení.



Obr. 61. Schéma odplyňovací věže: (A) vertikální řez, (B) izometrická pohled a (C) horizontální řez. Číslo (1) značí přítok vody, (2) náplň plastového média, (3) podtlakový ventilátor a (4) odtok vody (upraveno podle Summerfelt a kol., 2000b).

Zařízení vykazuje vysokou účinnost odplynění, minimální hlasitost chodu, existují jednostupňové nebo vícestupňové věže. Odplyňovací věže jsou schopné pracovat s průtoky v rozmezí $4\text{--}200 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ (<https://www.enviropro.co.uk>). Toto zařízení mnohdy kombinuje odstranění CO_2 a zvýšení koncentrace kyslíku v systému. Někdy však ke stejnému účelu postačí pasivní ventilace bez přidávaného vzduchu skrze kompresory či dmychadla (Pfeiffer a Riche, 2011).

Jedná se tedy o cenově výhodné zařízení s delší trvanlivostí a odolností, které vyžaduje nízké náklady na údržbu a provoz. Požaduje jednoduchou instalaci a elektrické připojení. Znovu může být využito 50–70 % vody ze systému, produkce ryb tudíž může být navýšena bez zvýšení spotřeby vody. Optimalizací kvality vody pak dochází ke zlepšení podmínek pro zdraví ryb (<https://pentairaes.com>; <https://www.indiamart.com>).

4.6. Dezinfekční zařízení na bázi UV záření a ozonu

Intenzivní chov ryb v RAS s vysokými obsádkami vyžaduje zajištění přísné hygieny prostředí. Patogeny se totiž v těchto podmínkách rychle množí, což může způsobit velké ztráty na chovaných organizmech. Aplikace chemických látek pro dezinfekci vody má většinou negativní vliv i na nitrifikační bakterie v biofiltrech.

Jednou z možností bezpečné sterilizace vody v RAS je aplikace ultrafialového záření pomocí UV lamp (Losordo a kol., 1999). Dezinfekce pitné vody pomocí ultrafialového (UV) elektromagnetického záření bylo použito již v roce 1916. Ultrafialové záření působí fotochemicky na nukleové kyseliny, enzymy a jiné biomolekuly a nevratným způsobem je poškozuje. Tato technologie se začala používat nejen ve vodárenství, ale i v akvakultuře, a to zejména v RAS systémech, kde jsou velké nároky na kvalitu prostředí (Timmons and Ebeling, 2013).

Efektivní destrukce ozonu a inaktivace mikroorganismů pomocí UV záření závisí především na jeho vlnové délce, zdroji UV světla a množství uvolněné energie. Z hlediska provedení a použití v akvakultuře jsou k dispozici na trhu nízkotlaké UV zářivky produkující monochromatické záření s vlnovou délkou 254 nm. Střednětlaké zářivky jsou k dispozici také, ale z hlediska využití v akvakultuře nejsou běžně používány, protože dodávají širší spektrum UV záření. Zdroj UV paprsků musí být chráněn před denním světlem, jinak by při intenzitě osvitu 20–30 lux docházelo k fotoreakci a několikanásobnému snížení účinnosti. Životnost běžně používaných lamp se pohybuje v rozmezí 3 500–12 000 hodin.

Celkově lze říci, že kalkulace dávky UV závisí na výkonu lampy, ploše osvitu (sloupci vody), kontaktním čase a kvalitě vody (zákalu).

Druhou možností je sterilizace vody ozonem, který se pro svoje dezinfekční účinky využívá ve vodárenství i v akvakultuře, respektive v RAS, a to obzvláště u druhů, které mají vysoké požadavky na kvalitní a patogenů prosté prostředí (Sumerfelt, 2003). Ozon je totiž silné oxidační činidlo s pozitivními vlivy, jako je zlepšení mikroflokulace suspendovaných látek (velmi jemné částice) a jejich agregace do větších shluků, které jsou dále lépe odstranitelné mechanickou filtrací, redukce iontů kovů (především železa a manganu), redukce látek, jako je methylisoborneol a geosmin (produkty aktinomycet způsobující zemitou pachoutí rybiho masa), deaktivace rybích patogenů, projasnění barvy vody (výhodně spíše v chovech okrasných ryb) a zlepšení účinnosti dalších prvků čištění vody. Ozon je třikrát efektivnější v destrukci bakterie *Escherichia coli* než chlór.

Mezi výhody aplikace ozonu patří jeho vysoká reakční rychlost (reaktivita), produkce málo škodlivých vedlejších produktů (ve sladké vodě) a také to, že jako konečný produkt reakce vzniká kyslík. Systémy a zařízení pro aplikaci

ozonu se obecně skládají z jednotky na produkci (vyvíjení ozonu), zařízení pro mísení ozonu s vodou, které zajistí dostatečný kontaktní čas, a na závěr jednotky pro destrukci reziduí ozonu.

Ve vztahu k systému je třeba brát v úvahu, že ozon má silné korozivní účinky, proto je třeba volit materiály, které jsou vůči tomuto působení odolné. Nerezová ocel (případě polypropylen) je doporučována jako materiál pro směšovací zařízení. Uzavírací kohouty a těsnění by měly být z teflonu či podobného materiálu.

Ozon je možno aplikovat do vodního prostředí mimo nádrže s obsádkou ryb buď samostatně, nebo s cílem současného zvýšení obsahu rozpuštěného kyslíku, nebo namísto vzduchu či kyslíku třeba i v zařízení pro flotaci. Míra transferu ozonu a následná rychlost rozkladu závisí na účinnosti směšovacího zařízení, která je dána kontaktním časem, kontaktní plochou a reakční rychlostí ozonu v přítomnosti organických látek. Reakční rychlost ozonu závisí na teplotě vody, na koncentraci a chemickém složení látek obsažených ve vodě.

V praxi je možné aplikovat ozon ve dvou režimech, kontinuálně nebo v jednotlivých dávkách. Výše dávek ozonu je v přímé relaci s množstvím krmiva aplikovaného do systému. Obvyklé dávkování (obecně jsou zde druhová specifika) je 10–15 g O₃·kg⁻¹ krmiva. Pokud je aplikován dávkový režim, doporučuje se aplikovat ozon 3–4 hodiny po krmení, tedy v období, kdy dochází v systému ke zvyšování obsahu organických látek a amoniaku. Pokud je krmivo aplikováno kontinuálně (pásová krmítka), doporučuje se i kontinuální aplikace ozonu. Kontinuální aplikace ozonu zajišťuje z dlouhodobého pohledu stabilnější kvalitu vody za cenu vyšších nákladů. Dávkový režim je kompromisním řešením přinášejícím úsporu provozních nákladů.

Z hlediska umístění ozonizační jednotky jsou v praxi používány v rámci recirkulačních systémů čtyři místa, a sice v přítokové vodě do systému, před chovnými nádržemi, před biofiltrem a případně jako koncové řešení v odtokové vodě ze systému. Principiálně existují tři možnosti, jak zabezpečit, aby se rezidua ozonu nedostala systémem až do nádrží s rybami. První možností je odplynění v nádrži se silným vzduchováním či prokapávání zařízením podobným zkrápěnému filtru (uzavřený prostor se samonosným plastickým médiem). Druhou možností je průtok ozonizované vody přes filtr s náplní z aktivního uhlí. Třetí možností je katalýza s využitím UV záření o vlnových délkách od 250 do 260 nm.

UV lampy

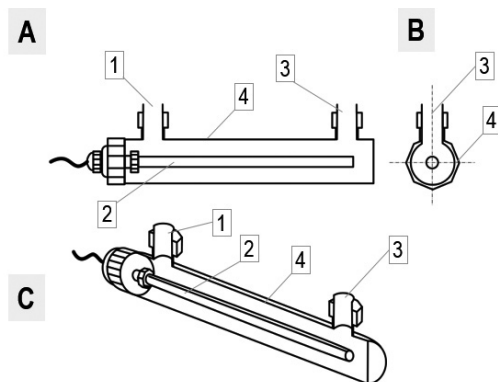
Dezinfekce UV zářením se provádí v tzv. reaktorech různých tvarů a uskupení. Zdrojem UV záření jsou výbojky (lampy) a jejich výkon se udává ve wattech. Avšak více vypovídajícím údajem, který se udává, je expozice UV záření (v $J.m^{-2}$ nebo $mJ.cm^{-2}$). Tento údaj zahrnuje i parametry, jako je doba zdržení a vrstva vody, kterou musí záření prosvitit. UV reaktory můžeme dělit podle druhu použitých lamp na střednětlaké a nízkotlaké UV výbojky. Nízkotlaké výbojky mají monochromatické záření (100, 245 nm atd.) a střednětlaké výbojky s polychromatickým zářením (185 až 400 nm).

UV reaktor (obr. 62) tvoří tělo a komora reaktoru, UV lampa, vstupní a výstupní část reaktoru, která se dá napojit na systém. Při úpravě vody se používá vlnové UV záření v rozsahu 100–400 nm. Životnost výbojek se pohybuje od 6 000–10 000 provozních hodin podle nároků a množství upravované vody. Středotlaké výbojky jsou díky širšímu spektru záření účinnější na širší řadu mikroorganismů a je zde možnost regulovat rozsah záření.

Výběr typu UV reaktoru závisí na mnoha veličinách, například na objemu a rychlosti proudění vody, na zákalu a tvrdosti vody atd. Tyto vlastnosti vody výrazně ovlivňují účinnost dezinfekce. Potřebná dávka UV záření pro inaktivaci jednotlivých organismů se pohybuje různě podle typu mikroorganismů od 20 po $660 mJ.cm^{-2}$ (např. bakterie – do 40, rotavirus – 49, améby – 100, prvoci – 120 až 180 a střevní paraziti *Cryptosporidium parvum* až $660 mJ.cm^{-2}$).

UV lampy musí být zapojeny za mechanickými a biologickými filtry, protože turbidita vody rapidně snižuje účinnost UV záření. UV lampy mohou být umístěny buď nad vodou nebo ponořené ve vodě. Obvykle jsou UV lampy umístěny v komoře, přes kterou proudí voda, což zajišťuje kontinuální dezinfekci vody (Summerfelt, 2003).

K výhodám dezinfekce UV zářením patří absence reziduí ve vodě oproti použití chemické dezinfekce (Gullian a kol., 2012). Ultrafialové záření neovlivňuje chuť, pach ani chemické složení vody. U tohoto způsobu dezinfekce příliš nezáleží na chemizmu a teplotě čištěné vody, kterými je účinnost dezinfekce ovlivněna minimálně. Nevýhodou mohou být vyšší provozní náklady. Důležité je zachovat kontinuální průtok vody reaktorem, která ochlazuje UV výbojky, jež mohou dosahovat teplot více než $900\text{ }^{\circ}C$.



Obr. 62. Schéma UV reaktoru: (A) podélný řez, (B) horizontální řez a (C) izometrický pohled. Číslo (1) značí přítok vody, (2) nízkotlakou rtuťovou lampu, (3) odtok vody a (4) vnější plášť (upraveno podle Zhu a kol., 2002).

K nevýhodám patří i nutnost pravidelné kontroly a čištění UV výbojek, a to zejména u vody s vysokou tvrdostí. Vlivem tvrdosti vody se na výbojkách může tvořit vrstva, která po čase snižuje účinnost dezinfekce. Kromě turbidity vody a stáří UV lamp závisí účinnost dezinfekce také na dalších faktorech, jako je např. intenzita záření, vzdálenost mezi lampou a mikroorganismy, druh mikroorganismů a délka jejich expozice. Nejeefektivnější inaktivace je zajištěna při záření o vlnové délce 254 nm. Toto záření bývá standardem u nízkotlakých UV lamp. Při této vlnové délce je většina patogenů inaktivována dávkou 30–35 mWs.cm⁻². Patogeny, jako je např. *Saprolegnia*, potřebují však mnohem vyšší dávky. Při správné intenzitě a časové expozici zajistí UV záření až 99,9% inaktivaci patogenů.

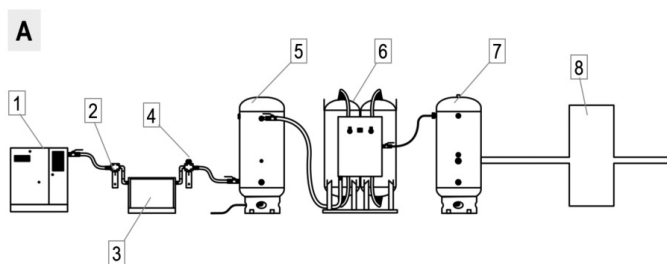
Ozonizátory

Ozonizátory (obr. 63) jsou zařízení, která vyrábějí nestabilní a velice agresivní molekulu ozonu (O₃). Výroba ozonu je založena na principu generátoru, jenž vyrábí vysokonapěťový výboj, při němž se rozpadá molekula kyslíku na dva atomární radikály kyslíku. Ty se následně slučují s novou molekulou O₂ za vzniku O₃. Ozon je oxidační a vysoce agresivní činidlo. Zároveň je nestabilní, neboť molekula O₃ se zpětně rozpadá na O₂.

Energetický výboj prochází tzv. pracovním médiem (vzduch nebo kyslík). Od toho se pak odvíjí účinnost ozonizátoru. Ozon je aplikován do vody pomocí injektoru či elementů používaných pro aplikaci kyslíku (směšovacího zařízení). Výkon generátoru ozonu se udává v g nebo kg O₃.h⁻¹. Dalšími důležitými údaji

TECHNOLOGIE A TECHNICKÉ PRVKY RECIRKULAČNÍCH AKVAKULTURNÍCH SYSTÉMŮ PRO CHOV RYB

jsou koncentrace rozpuštěného ozonu ve vodě a reakční doba účinné látky (doba zdržení). Celková účinnost ozonizátoru se odvíjí od řady faktorů (např. příprava a druh pracovního média, směšovací zařízení) (Sumerfelt a kol., 2009). Ozonizátory využívající vzdušný kyslík mají menší výkon, a to řádově v $\text{g O}_3 \cdot \text{h}^{-1}$ o hmotnostní koncentraci do 5 %. Díky generátoru kyslíku nebo při použití kapalného kyslíku lze dosáhnout výkonu v jednotkách $\text{kg O}_3 \cdot \text{h}^{-1}$ o hmotnostní koncentraci vyšší než 10 %. Pro smísení ozonu s vodou slouží řada různých zařízení, ale nejčastěji je využíván statický mixér (viz obr. 62). Po ozonizaci prochází voda jednotkou pro odstranění reziduí (odplynění, UV lampy vyšších vlnových délek, filtrační lože s aktivním uhlím), avšak pouze u ozonu vyrobeného ze vzdušného média.



Obr. 63. Schéma ozonizátoru: (A) uspořádání zařízení pro ozonizaci vody: (1) vzduchový kompresor, (2) filtr částic, (3) sušička vzduchu, (4) odlučovač, (5) zásobník vzduchu (vzdušník), (6) generátor kyslíku, (7) zásobník kyslíku a (8) generátor ozónu (upraveno podle Sumerfelt, 2003).

Ozonizace patří mezi účinné a spolehlivé metody odstranění patogenů z vody, kdy dochází k rychlé degradaci nebezpečného ozonu a voda se stává hygienicky nezávadnou. Po procesu dezinfekce nastává rozpad ozonu na kyslík, a tím se voda zároveň okysličuje. Naopak k nevýhodám patří finanční náročnost na pořízení ozonizátoru, energie a výrobu pracovního média, a to především u varianty využívající buď kapalný kyslík nebo generátor kyslíku. Nelze také opomenout nebezpečí úniku agresivního, nebezpečného až toxického plynu jak pro lidi, tak i pro zvířata. Nezbytné je proto monitorovat rezidua ozonu ve vodě, stejně tak jako těsnost systému, aby nedocházelo k úniku ozonu do ovzduší.

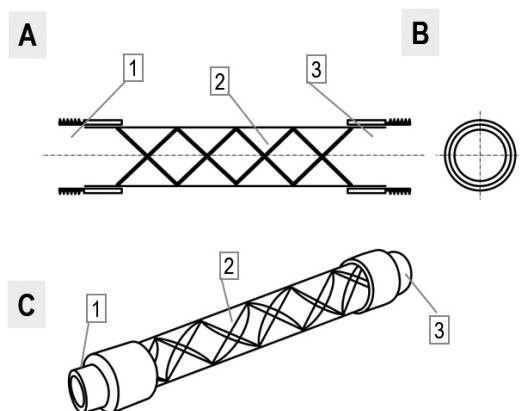
Ozonizátory jsou obvykle v systému instalovány za jednotkami pro biologickou filtraci, kde je ozon aplikován do směšovače. Po něm následuje tzv. destruktor sloužící k eliminaci zbytkového ozonu. V některých případech se využívá samostatného okruhu (bypassu), který čerpá a vrací vodu přímo do odchovné nádrže (někdy též periodického spouštění systému).

Statický mixér ozonu s vodou

Statický mixér (obr. 64) je jednoduché zařízení, které slouží pro dokonalé promísení dvou a více složek. V tomto případě se jedná o vodu a plyn (ozon). Zařízení tvoří otvor (připojení na potrubí) pro vstup vody s ozonem z jedné strany, mixační médium (nerezové deflektory) v mediální části mixéru a otvor pro výstup ozonu z druhé strany. Uvnitř mixéru je komora, ve které jsou uloženy lamely roztáčející a mixující vodu (Martin a Galey, 1994). Lamely mají tvar spirály pod úhlem 45° a vyplňují celou komoru (obvykle 6–20 lamel podle velikosti mixéru). Zařízení v systému následuje po prvcích k aplikaci ozonu (keramické difuzory, Venturiho tryska, injektory).

V systému jsou obvykle instalovány dva statické mixéry ozonu. První statický mixér slouží především k disperzi ozonu ve vodě. Druhý je pak navržen pro samotné rozpouštění ozonu ve vodě, kdy vznikají větší bubliny s kontaktní oblastí pro absorpci ozonu. Samotné umístění v systému je za nádržemi pro biologickou filtraci a před retenční nádrž v místě, kde dochází k dezinfekci vody pomocí UV, ozonizace, případně flotace.

Míchání je docíleno kontinuálním dělením, extenzí či transportem vody a ozonu. Mixéry jsou vyráběny v široké škále materiálů, včetně uhlíkové oceli, nerezové oceli, exotických slitin, GRP, uPVC, cPVC, PTFE atd.



Obr. 64. Schéma statického mixéru ozonu s vodou: (A) podélný řez, (B) příčný řez a (C) izometrický pohled. Číslo (1) označuje přítok vody, (2) nerezové deflektory a (3) odtok vody (upraveno podle Martin a Galey, 1994).

TECHNOLOGIE A TECHNICKÉ PRVKY RECIRKULAČNÍCH AKVAKULTURNÍCH SYSTÉMŮ PRO CHOV RYB

Samotný princip je následující. Nízkotlaká verze se směšovačem má přídatný kompresor, který žene vzduch přímo okolo zářivky UV lampy, kde se vytvoří ozon, jenž se následně ve směšovači mísí s vodou. Voda s ozonem protéká zpátky přes UV lampu, kde dojde zpětně ke štěpení trojmocného kyslíku O_3 na O_2 , čímž se voda ještě sytí kyslíkem. Dochází tak k dezinfekci a ničení choroboplodných zárodků, virů, kvasinek a bakterií.

Statické mixéry ozónu zajišťují vysokou míru účinnosti míchání, a proto může být výrazně snížena spotřeba dávkovaných chemikálií a tvorba vedlejších produktů. Vylučují potřebu nádrží, pohyblivých částí či přímé hnací síly a umožňují vysoce efektivní míchání s nízkou spotřebou energie. Instalace je velmi jednoduchá, nejsou vyžadovány žádné zvláštní dovednosti kromě běžných inženýrských dovedností. Směšovače neobsahují pohyblivé části a prakticky nevyžadují údržbu. Statické mixéry ozonu jsou k dispozici v různých standardních velikostech potrubí a v případě otevřených kanálů jsou k dispozici v jakékoli velikosti bez horního limitu (<https://www.lenntech.com>). Nevýhodou je, že ozon je nestálá molekula, dochází velmi rychle k jeho rozkladu, a proto je důležité, aby Ozon UV-C Redox běžel nepřetržitě. Další nevýhodou je větší spotřeba energie (v závislosti na výkonu čerpadla), velmi krátký čas kontaktování ozonu a vody a možnost poruchy čerpadla. Mezi výrobce patří Aqua Forte a Lenntech.

Při čištění vody je ozon nejsilnějším činidlem. Při samotné reakci u ozonu nevznikají žádné vedlejší produkty, jako je tomu u chloru, který produkuje THM. Navíc chloraminy a jiné toxické sloučeniny jsou karcinogenní. Číselně je ozon 25krát efektivnější při čištění než kyselina chlorná, 2 500krát než chlornany a 5 000krát než chloraminy.

Existuje i více zařízení, která aplikují ozon do vody. Kromě statického mixéru ozonu existuje ještě bublinkový kontaktor, ozonový vstříkovací systém, sloupcový náplňový kontaktor či membránový kontaktor. Je velice těžké vybrat, které z těchto uvedených zařízení se jeví jako nejúčinnější, protože každý z nich má své výhody a nevýhody. Mnohdy se účinnost odvíjí od použitého média v těchto zařízeních.

Uspořádání těchto zařízení v RAS bývá následující. Mixér pro ozonizátor je umístěn za jednotkou pro biologickou filtraci a před odchovnými nádržemi. Mezi statickým mixérem a odchovnými nádržemi může být umístěná UV lampa a destruktor, který eliminuje zbytkový a nebezpečný ozon. Velice efektivní se však jeví použití ozonového vstříkovacího systému s účinností jeho přenosu do vody až 98 %. Clancy a kol. (1996) potvrzují, že účinnost procesu ošetření vody ozonem nelze zlepšit změnami provozních parametrů procesu, jako je třeba počet použitých ozonových injektorů, použití statického mixéru nebo změna průtoku vody skrze vstříkovače.

5. EKONOMICKÝ PŘÍNOS

Recirkulační systémy jsou provozně i investičně náročným způsobem chovu ryb. Z tohoto důvodu je obvykle ekonomicky rentabilní chov vysoce hodnotných druhů ryb. Základní princip fungování recirkulačních systémů je poměrně jednoduchý, nicméně je důležité si uvědomit, že existuje celá řada možných řešení a kombinací. Proto plánování a provoz těchto systémů vyžaduje určitou úroveň odborných znalostí. Předložená technologie shrnuje informace o účinnosti jednotlivých prvků recirkulačních systémů a umožňuje tak výrobcům komponent i budoucím provozovatelům vybrat a optimalizovat nejvhodnější kombinaci pro dané rybochovné zařízení.

6. UPLATNĚNÍ TECHNOLOGIE V PRAXI

Předložená technologie shrnuje informace o dostupných technických řešeních a designech jednotlivých komponentů recirkulačních akvakulturních systémů pro chov ryb. Tato zařízení jsou nezbytná pro optimální nastavení podmínek prostředí recirkulačních systémů a zdárný intenzivní chov ryb. Technologie byla využita v provozu Agrico, s. r. o. Technologii mohou potenciálně využívat i další subjekty zabývající se intenzivním chovem ryb v recirkulačních systémech.

7. SEZNAM LITERATURY

- Ahmed, H.U., 1996. The effects of fluxrate and solids accumulation on small size particle accumulation in expandable granular bead filters. Master's Thesis, Louisiana State University, Baton Rouge, LA, 74 pp.
- Al-Hafedh, Y.S., Alam, A., Alam, M.A., 2003. Performance of plastic biofilter media with different configuration in a water recirculation system for the culture of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquacultural Engineering* 29: 139–154.
- Allhands, M., Prochaska, J., 2017. Disc Filtration: Something Old, Something New. K-State Research and Extension.
- Antonie, R.L., 2018. Fixed Biological Surfaces – Wastewater Treatment: The Rotating Biological Contactor. CRC Press. 212 pp.
- Attramadal, K.J.K., Truongb, T.M.H., Bakke, I., Skjermo, J., Olsen, Y., Vadstein, O., 2014. RAS and microbial maturation as tools for K-selection of microbial communities improve survival in cod larvae. *Aquaculture* 432: 483–490.
- Barrut, B., Blancheton, J.P., Champagne, J.Y., Grasmick, A., 2012. Mass transfer efficiency of a vacuum airlift-application to water recycling in aquaculture systems. *Aquacultural Engineering* 46: 18–26.
- Barrut, B., Blancheton, J.P., Callier, M., Champagne, J.Y., Grasmick, A., 2013. Foam fractionation efficiency of a vacuum airlift-application to particulate matter removal in recirculating systems. *Aquacultural Engineering* 54: 16–21.
- Baylar, A., Ozkan, F., Unsal, M., 2010. Effect of air inlet hole diameter of venturi tube on air injection rate. *KSCE Journal of Civil Engineering* 14: 489–492.

TECHNOLOGIE A TECHNICKÉ PRVKY RECIRKULAČNÍCH AKVAKULTURNÍCH SYSTÉMŮ PRO CHOV RYB

- Bengtson, D., Willye, S., McCaffrey, E., Alves, D., 2004. Effects of water velocity on conditioning of summer flounder, *Paralichthys dentatus*, for net pens. *Journal of Applied Aquaculture* 14: 133-142.
- Blancheton, J.P., Piedrahita, R., Eding, E.H., Lemarie, G., Bergheim, A., Fivelstad, S., Roque d'Orbcassel, E., 2007. Intensification of landbased aquaculture production in single pass and reuse systems. In: Bergheim, A. (Ed.), *Aquacultural Engineering and Environment*, Research Signpost, India, pp. 21-47.
- Brambilla, F., Antonini, M., Ceccuzzi, P., Terova, G., Saroglia, M., 2008. Foam fractionation efficiency in particulate matter and heterotrophic bacteria removal from a recirculating seabass (*Dicentrarchus labrax*) system. *Aquacultural Engineering* 39: 37-42.
- Brown, T.W., Tucker, C.S., Rutland, B.L., 2016. Performance evaluation of four different methods for circulating water in commercial-scale, split-pond aquaculture systems. *Aquacultural Engineering* 70: 33-41.
- Carvalho, R.A., Lemos, D.E., Tacon, A.G., 2013. Performance of single-drain and dual-drain tanks in terms of water velocity profile and solids flushing for *in vivo* digestibility studies in juvenile shrimp. *Aquacultural Engineering* 57: 9-17.
- Clancy, P.B., Armstrong, J., Couture, M., Lussky, R., Wheeler, K., 1996. Treatment of chlorinated ethens in groundwater with ozone and hydrogen peroxide. *Environmental Progress* 15: 187-193.
- Coelho, M.A.Z., Medronho, R.A., 2001. A model for performance prediction of hydrocyclones. *Chemical Engineering Journal* 84: 7-14.
- Colbourne, J.R., 1975. Gear shape and theoretical flow rate in internal gear pumps. *Transactions of the Canadian Society for Mechanical Engineering* 3: 215-223.
- Colt, J., Watten, B., 1988. Applications of pure oxygen in fish culture. *Aquacultural Engineering* 7: 397-441.
- Colt, J., Huguenin, J.E., 2002. Design and operating guide for aquaculture seawater systems, *Developments in Aquaculture and Fisheries Science – Svazek 33*. Elsevier, NY, USA, 336 pp.
- Cripps, S.J., Bergheim, A., 2000. Solids management and removal for intensive land-based aquaculture production systems. *Aquacultural Engineering* 22: 33-56.
- Danaher, J.J., Shultz, Ch.R., Rakocy, J.E., Bailey, D.S., Knight, L., 2011. Effect of a parabolic screen filter on water quality and production of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) and water spinach (*Ipomoea aquatica*) in a recirculating raft aquaponic system. *International Journal of Recirculating Aquaculture* 12: 35-53.
- Davenport, M.T., Timmons, M.B., Vinci, B.J., Crum, M.K., 2001. Experimental evaluation of low head oxygenators. *Aquacultural Engineering* 24: 245-256.
- Davidson, J.W., Summerfelt, S.T., 2004. Solids flushing, mixing, and water velocity profiles within large (10 and 150 m³) circular 'Cornell-type' dual-drain tanks. *Aquacultural Engineering* 32: 245-271.
- Davidson, J., Helwig, N., Summerfelt, S.T., 2008. Fluidized sand biofilters used to remove ammonia, biochemical oxygen demand, total coliform bacteria, and suspended solids from an intensive aquaculture effluent. *Aquacultural Engineering* 39: 6-15.
- DeLong, D.P., Losordo, T., Rakocy, J., 2009. Tank culture of tilapia. Stoneville, Mississippi: Southern Regional Aquaculture Center, Publication No. 282.
- Doleček J., Holoubek Z., 1989. *Strojnictví II pro SOU*, 3. vydání. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, 165 s.
- Drennan, D.G., Golz, W., Ahmed, H., Malone, R.F., 1995. Clarification abilities of floating bead filters used in recirculating aquaculture systems. In: *Aquaculture Engineering and Waste Management, Proceedings from the Aquaculture Exposition VIII and Aquaculture Mid-Atlantic Conference*, Washington, D.C., June 24-28, pp. 256-267.
- Ebeling, J.M., Welsh, C.F., Rishel, K.L., 2006. Performance evaluation of an inclined belt filter using coagulation/flocculation aids for the removal of suspended solids and phosphorus from microscreen backwash effluent. *Aquacultural Engineering* 35: 61-77.

- Eding, E.H., Kamstra, A., Verreth, J.A.J., Huisman, E.A., Klapwijk, A., 2006. Design and operation of nitrifying trickling filters in recirculating aquaculture: a review. *Aquacultural Engineering* 34: 234-260.
- Ellis, T., North, B., Scott, A.P., Bromage, N.R., Porter, M., Gadd, D., 2002. The relationships between stocking density and welfare in farmed rainbow trout. *Journal of Fish Biology* 6: 493-531.
- Eskanlou, A., Khalesi, M.R., Abdollahy, M., Chegeni, M.H., 2018. Interactional effect of bubble size, particle size, and collector dosage on bubble loading in column flotation. *Journal of Mining and Environment* 9: 107-116.
- Findlay, G.E., 1993. The selection and design of rotating biological contactors and reed beds for small sewage treatment plants. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers – Water, Maritime and Energy* 101: 237-246.
- Greiner, A.D., Timmons, M.B., 1998. Evaluation of the nitrification rates of microbead and trickling filters in an intensive recirculating tilapia production facility. *Aquacultural Engineering* 18: 189-200.
- Gullian, M., Espinosa-Faller, F.J., Núñez, A., López-Barahona, N., 2012. Effect of turbidity on the ultraviolet disinfection performance in recirculating aquaculture systems with low water exchange. *Aquaculture Research* 43: 595-606.
- Hall, A.G., 1999. A Comparative Analysis of Three Biofilter Types Treating Wastewater Produced in Recirculating Aquaculture Systems. Diploma Thesis, Virginia Polytechnic Institute and State University, USA, 60 pp.
- Holmes-Farley, R., 2006. What is Skimming? Reefkeeping. Online magazin pro mořskou akvaristiku. Dostupné na www.reefkeeping.com/issues/2002-06/fm/feture/index.php
- Huang, K.J., Lian, W.Ch., 2009. Kinematic flowrate characteristics of external spur gear pumps using an exact closed solution. *Mechanism and Machine Theory* 44: 1121-1131.
- Chen, G., Lock Yue, P., Mujumdar, A.S., 2002. Sludge dewatering and drying. *Drying Technology* 20, no. 4-5, pp. 883-916. ISSN 0737-3937.
- Iglesias, A., Favrat, D., 2014. Innovative isothermal oil-free co-rating scroll compressor-expander for energy storage with first expander tests. *Energy Conversion and Management* 85: 565-572.
- Johnson, W., Chen, S., 2006. Performance evaluation of radial/vertical flow clarification applied to recirculating aquaculture systems. *Aquacultural Engineering* 34: 47-55.
- Labatut, R.A., Ebeling, J.M., Bhaskaran, R., Timmons, M.B., 2007. Hydrodynamics of a large-scale mixed-cell raceway (MCR): experimental studies. *Aquacultural Engineering* 37: 132-143.
- Lang, Š., Kopp, R., Mareš, J., 2015. Metodika záměhu biologického filtru v intenzivním recirkulačním zařízení dánského typu pro chov ryb. Mendelova univerzita v Brně, 21 s.
- Langer, J., Efthimiou, S., Rosenthal, H., Bronzi, P., 1996. Drum filter performance in a recirculating eel culture unit. *Journal of Applied Ichthyology* 12: 61-65.
- Lawson, T.B., 1978. Venturi design parameters for air injection into a foam fractionation system. Ph.D. dissertation, University of Maryland, College Park, Maryland.
- Lee, J., 2014. Separation of fine organic particles by a low-pressure hydrocyclone (LPH). *Aquacultural Engineering* 63: 32-38.
- Lee, J., 2015. Practical applications of low-pressure hydrocyclone (LPH) for feed waste and fecal solid removal in a recirculating aquaculture system. *Aquacultural Engineering* 69: 37-42.
- Leinveber, J., Vávra, P., 1966. *Strojnické tabulky*. 1. vydání. Praha: Scientia, spol. s r. o., Pedagogické nakladatelství, 578 s.
- Lekang, O.I., 2013. *Aquaculture engineering*, 2. vydání. Wiley-Blackwell, 430 pp.
- Lekang, O.I., Kleppe, H., 2000. Efficiency of nitrification in trickling filters using different filter media. *Aquacultural Engineering* 21: 181-199.

TECHNOLOGIE A TECHNICKÉ PRVKY RECIRKULAČNÍCH AKVAKULTURNÍCH SYSTÉMŮ PRO CHOV RYB

- Losordo, T.M., 1997. Tilapia culture in intensive recirculating systems. In: Costa-Pierce, B., Rakocy, J. (Eds), *Tilapia Aquaculture in the Americas*, Volume 1. World Aquaculture Society, Baton Rouge, LA, pp. 185–208.
- Losordo, T.M., Masser, M.P., Rakocy, J.E., 1998. Recirculating Aquaculture Tank. Production Systems. An Overview of Critical Considerations. Southern Regional Aquaculture Center, Publication no. 451.
- Losordo, T.M., Masser, M.P., Rakocy, J.E., 1999. Recirculating Aquaculture Tank Production Systems: A Review of Component Options. Southern Regional Aquaculture Center, Publication no. 453.
- Losordo, T.M., Hobbs, A.O., DeLong, D.P., 2000. The design and operational characteristics of the CP&L/EPRI fish barn: a demonstration of recirculating aquaculture technology. *Aquacultural Engineering* 22: 3–16.
- Malone, R., 2013. Recirculating aquaculture tank production systems. A review of current design practice. Stoneville, Mississippi: Southern Regional Aquaculture Center, Publication No. 453.
- Malone, R.F., Rusch, K.A., 1998. Using the bead filter in your koi pond (2nd Ed.). Louisiana Sea Grant College Program, 50 pp.
- Malone, R.F., Beecher, L.E., 2000. Use of floating bead filters to recondition recirculating waters in warmwater aquaculture production systems. *Aquacultural Engineering* 22: 57–73.
- Mareš, J., Lang, Š., Kopp, R., Brabec, T., Pfau, R., 2013. Technologie chovu lososovitých ryb v recirkulačním systému dánskému typu. Mendelova univerzita v Brně. Ověřená technologie R08/2013. 28 pp.
- Martin, N., Galey C., 1994. Use of static mixer for oxidation and disinfection by ozone. *The Journal of the International Ozone Association* 16: 455–473.
- Martins, C.I.M., Eding, E.H., Verdegem, M.C., Heinsbroek, L.T., Schneider, O., Blancheton, J.P., Roque d'Orbcastel, E., Verreth, J.A., 2010. New developments in recirculating aquaculture systems in Europe: A perspective on environmental sustainability. *Aquacultural Engineering* 43: 83–93.
- Mazzei, A.L., 1997. U.S. Patent No. 5,674,312. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- Mazzei, A., Bollyky J., 1991. Optimizing mass transfer efficiency and ozone utilization with high efficiency venturi injectors. International Ozone Association, Pan American Committee, Toronto, Ontario, Canada.
- Mohamed, S.B., Boussaid, B., Abdelkrim, M.N., Tahri, C., 2018. 1D and 2D parameter estimation of a rotary drum filter based on RLS and IV methods. *Automatika* 59: 104–119.
- Moses, D., Colt, J., 2018. Impact of fish feed on airlift pumps in aquaculture systems. *Aquacultural Engineering* 80: 22–27.
- Moullick, S., Mal, B.C., Bandyopadhyay, S., 2002. Prediction of aeration performance of paddle wheel aerators. *Aquacultural Engineering* 25: 217–237.
- Mozeš, N., Conijeski, D., 2004. Performance evaluation and fish production cost assessment in two pilot-scale mega-flow low-head recirculating system in Israel. In: *Proceeding of the 5th International Conference on Recirculating Aquaculture*, Roanoke, VA, USA, pp. 527–534.
- Oca, J., Masaló, I., 2007. Design criteria for rotating flow cells in rectangular aquaculture tanks. *Aquacultural Engineering* 36: 36–44.
- Oca, J., Masaló, I., 2013. Flow pattern in aquaculture circular tanks: Influence of flow rate, water depth, and water inlet and outlet features. *Aquacultural Engineering* 52: 65–72.
- Ostrowski, A.C., Iwai, T., Monahan, S., Unger, S., Dagdagan, D., Murakawa, P., Schivell, A., Pigao, C., 1996. Nursery production technology for Pacific threadfin (*Polydactylus sexfilis*). *Aquaculture* 139: 19–29.
- Pfeiffer, T.J., Riche, M.A., 2011. Evaluation of a low-head recirculating aquaculture system used for rearing Florida pompano to market size. *Journal of the World Aquaculture Society* 42: 198–208.

- Plessis, C.A.D., Kinney, K.A., Schroeder, E.D., Chang, D.P., Scow K.M., 1998. Denitrification and nitric oxide reduction in anaerobic toluene treating biofilter. *Biotechnol. Bioeng* 58: 408–415.
- Pujol, R., Hamon, M., Kandel, X., Lemmel, H., 1994. Biofilters: flexible, reliable biological reactors. *Water Science and Technology* 29: 33.
- Roe, F.C., 1945. Porous tube air diffusers. *Sewage Works Journal* 17: 878–888.
- Roque d'Orbcastel, E., Blancheton, J.P., Belaud, A., 2009. Water quality and rainbow trout performance in a Danish Model Farm recirculating system: comparison with a flow through system. *Aquacultural Engineering* 40: 135–143.
- Sharrer, M., Rishel, K., Taylor, A., Vinci, B.J., Summerfelt, S.T., 2010. The cost and effectiveness of solids thickening technologies for treating backwash and recovering nutrients from intensive aquaculture systems. *Bioresource Technology* 101: 6630–6641.
- Shnel, N., Baraka, Y., Ezer, T., Dafni, Z., van Rijn, J., 2002. Design and performance of a zero-discharge tilapia recirculating system. *Aquacultural Engineering* 26: 191–203.
- Scherer, T.F., 1993. Irrigation water Pumps. Extension Agricultural Engineer. North Dakota State University, Fargo, No 58105.
- Skybakmoen, S., 1989. Impact of water hydraulics on water quality in fish rearing units. In: Conference 3, Water treatment and quality. Proceedings of AquaNor '89, August 11–6, 1989. AquaNor, Trondheim, Norway, pp. 17–21.
- Skybakmoen, S., 1993. Fish Rearing Tanks. Aquaculture Series Brochure, AGA AB, Lidingö, Sweden, 12 pp.
- Sparks, T., 2012. Solid-liquid filtration: Understanding filter presses and belt filters. *Filtration & Separation* 49: 20–24.
- Stavarakidis-Zachou, O., Ernst, A., Steinbach, C., Wagner, K., Waller, U., 2019. Development of denitrification in semi-automated moving bed biofilm reactors operated in a marine recirculating aquaculture system. *Aquaculture International* 27: 1485–1501.
- Steicke, C., Jegatheesan, V., Zeng, C., 2007. Mechanical mode floating medium filters for recirculating systems in aquaculture for higher solids retention and lower freshwater usage. *Bioresource Technology* 98: 3375–3383.
- Sukopová, M., 2008. Odstraňování různých druhů fytoplanktonu flotací rozpuštěným vzduchem. Bakalářská práce, Vysoké učení technické v Brně, 47 s.
- Summerfelt, S.T., 1999. Waste handling systems. In: Bartali, E.H., Wheaton, F.W. (Eds.), *CIGR handbook of Agricultural Engineering: Animal Production and Aquacultural Engineering*, vol. II. American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, MI, pp. 309–350.
- Summerfelt, S.T., 2003. Ozonation and UV irradiation – an introduction and examples of current applications. *Aquacultural Engineering* 28: 21–36.
- Summerfelt, S.T., 2006. Design and management of conventional fluidized-sand biofilters. *Aquacultural Engineering* 34: 275–302.
- Summerfelt, S.T., Cleasby, J.L., 1996. A review of hydraulics in fluidized-bed biological filters. *Transactions of American Society of Agricultural Engineers* 39: 1161–1173.
- Summerfelt, R.C., Penne, C.R., 2005. Solids removal in a recirculating aquaculture system where the majority of flow bypasses the microscreen filter. *Aquacultural Engineering* 33: 214–224.
- Summerfelt, S.T., Holland, K.H., Hankins, J.A., Durant, M.D., 1995. A hydroacoustic waste feed controller for tank systems. *Water Science and Technology* 31: 123–129.
- Summerfelt, S.T., Davidson, J.W., Timmons, M., 2000a. Hydrodynamics in the 'Cornell-type' dual-drain tank. Proceedings of the Third International Conference of Recirculating Aquaculture, July 20–22, 2000, Roanoke, Virginia, pp. 160–166.
- Summerfelt, S.T., Vinci, B.J., Piedrahita, R.H., 2000b. Oxygenation and carbon dioxide control in water reuse systems. *Aquacultural Engineering* 22: 87–108.
- Summerfelt, S.T., Davidson, J.W., Waldrop, T.B., Tsukuda, S.M., Bebak-Williams, J., 2004. A partial-reuse system for coldwater aquaculture. *Aquacultural Engineering* 31: 157–181.

TECHNOLOGIE A TECHNICKÉ PRVKY RECIRKULAČNÍCH AKVAKULTURNÍCH SYSTÉMŮ PRO CHOV RYB

- Summerfelt, S.T., Sharrer, M.J., Tsukuda, S.M., Gearheart, M., 2009. Process requirements for achieving full-flow disinfection of recirculating water using ozonation and UV irradiation. *Aquacultural Engineering* 40: 17–27.
- Tabera, J., Iznaola, M.A., 1989. Design of a lamella settler for biomass recycling in continuous ethanol fermentation process. *Biotechnology and Bioengineering* 33: 1296–1305.
- Takáč, M., 2017. Studium odvození technologických kalů z těžby sklářských písků. Diplomová práce. Univerzita Karlova v Praze Přírodovědecká fakulta, Ústav hydrogeologie, inženýrské geologie a užité geofyziky. 109 s.
- Tarpagkou, R., Pantokratoras, A., 2014. The influence of lamellar settler in sedimentation tanks for potable water treatment – A computational fluid dynamic study. *Powder Technology* 268: 139–149.
- Tchatcher, K., 1992. Fine bubble aeration using a high density diffuser system. *Water science and technology* 26: 2437–2440.
- Timmons, M.B., 1994. Use of foam fractionation in aquaculture. In: Timmons, M.B., Losordo, T.M. (Ed.), *Aquaculture Water Reuse System: Engineering Design and Management*. Elsevier, Amsterdam, pp. 247–279.
- 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. 2013. *Recirculating Aquaculture*, 3rd Ed. Ithaca Publishing Company, LLC. 788 pp.
- Tvinnereim, K., Skybakmoen, S., 1989. Water exchange and self-cleaning in fish rearing tanks. In: De Pauw, N., Jaspers, E., Ackefors, H., Wilkens, N. (Eds.), *Aquaculture: A Biotechnology in Progress*. European Aquaculture Society, Bredena, Belgium, pp. 1041–1047.
- Twarowska, J.G., Westerman, P.W., Losordo, T.M., 1997. Water treatment and waste characterization of an intensive recirculating fish production system. *Aquacultural Engineering* 16: 133–147.
- Van Rijn, J., 1996. The potential for integrated biological treatment systems in recirculating fish culture – A review. *Aquaculture* 3–4: 181–210.
- Veerapen, J.P., Lowry, B.J., Couturier, M.F., 2005. Design methodology for the swirl separator. *Aquacultural Engineering* 33: 21–45.
- Venegas, P.A., Narváez, A.L., Arriagada, A.E., Llancaleo, K.A., 2014. Hydrodynamic effects of use of eductors (Jet-Mixing Eductor) for water inlet on circular tank fish culture. *Aquacultural Engineering* 59: 13–22.
- Warriner, R., Rooney, T.C., 1992. Experience with ceramic plate diffusers in large activated-sludge plants. *Water Science and Technology* 25: 127–134.
- Watten, B.J., Beck, L.T., 1985. Modeling gas transfer in a U-tube oxygen absorption system: effects of off-gas recycling. *Aquacultural Engineering* 4: 271–297.
- Watten, B.J., Johnson, R.P., 1990. Comparative hydraulics and rearing trial performance of a production scale cross-flow rearing unit. *Aquacultural Engineering* 9: 245–266.
- Watten, B.J., Honeyfield, D.C., Schwartz, M.F., 2000. Hydraulic characteristics of a rectangular mixed-cell rearing unit. *Aquacultural Engineering* 24: 59–73.
- Watten, B.J., Sibrell, P.L., Montgomery, G.A., Tsukuda, S.M., 2004. Modification of pure oxygen absorption equipment for concurrent stripping of carbon dioxide. *Aquacultural Engineering* 32: 183–208.
- Wurts, W.A., McNeill, S.G., Overhults, D.G., 1994. Performance and design characteristics of airlift pumps for field applications. *World Aquaculture-Baton Rouge* 25: 51.
- Zhu, S., Saucier, B.B., Chen, S., Durfey, J.E., 2002. Evaluation of UV disinfection performance in recirculating systems. *International Journal of Recirculating Aquaculture* 3: 61–78.

<https://www.lenntech.com/static-mixers.htm>
<http://www.jezirka-torakoi.cz/econobead-140.html>
<https://easypro.com/wp-content/uploads/2017/07/PBFBeadFilterInstructions.pdf>
<https://astfilters.com/aquatic-systems/wp-content/uploads/sites/3/2016/01/DF-6-Polygeyser-Bead-Filter-Owners-Manual-10242017.pdf>
<https://freshbydesign.com.au/aquaponic-aquaculture-products/filtration/polygeyser/>
<http://www.aquacircle.org/images/pdfdokumenter/udvikling/andre/amerika/Fluidized%20sand%20biofilters.pdf>
www.hydrotech.se
<http://www.solidliquid-separation.com/vacuumfilters/Disc/disc.htm>
<http://www.fishtanksandponds.co.uk/equipment/protein-skimmer.html>
<http://www.mivalt.cz/cs/dmychadla-a-kompresory/membranove-kompresory>
<https://www.quora.com/What-is-a-rotary-air-compressor>
<https://www.sidcofilter.com/replacement-filters/disc-filters/>
http://www.hydrgewater.se/hw_pres/products/pdf/fine_bubble_membrane_diffusers.pdf
<https://www.pureozone.com/diffuser.htm>
<https://www.sterner.co.uk/fish-farm-supplies/aeration/paddlewheel/>
<https://pentairaes.com/paddlewheel-aerators-for-aquaculture-waste-water.html>
<https://pentairaes.com/low-head-oxygenators.html>
<https://www.w-m-t.com/low-head-oxygenation-lho/>
<https://www.ace4all.com/oxygenators>
http://www.oceans-design.com/index.php?page_id=325
<https://pentairaes.com/commercial-solutions/commercial-aquaculture/solutions/gas-control>
<https://www.indiamart.com/proddetail/degassing-tower-1650927097.html>
<https://www.enviropro.co.uk/entry/36930/Forbes/FD-degassing-towers/>
<http://www.solidliquid-separation.com/pressurefilters/horizontalplate/horizontalplates.htm>
<https://www.spranger-kunststoffe.de/en/aquakultur/products>
<https://www.landustrie.nl/en/products/pumping/screw-pumps.html>
<https://www.frea-solutions.com/products/aeration-and-degassing-of-water/low-pressure-diffuser-with-increased-water-flow>
<https://pentairaes.com/fiap-parabolic-screen-filters.html>
<http://www.hollyhb.com/bar-screen/rotary-drum-filter/external-feed-drum-filter-screen.html>
<https://www.hydrofluxindustrial.com.au/raw-water-intake-screens/rotary-drum-filters/applications/#squelch-taas-tab-content-0-0>
<https://www.jxfiltration.com/product/solid-liquid-separator/static-sieve-bends.html>
<http://www.hollyhb.com/bar-screen/rotary-drum-screen/rotary-drum-screen-for-paper-making-factory.html>
<http://www.hollyhb.com>
<http://www.uapb.edu/sites/www/Uploads/AQFI/Ext/Classroom/21bbfmanual.pdf>
<https://worldofwater.com/evolution-aqua-k1-micro-bead-30-pressurized-filter-with-media-included/>
<https://astfilters.com/aquatic-systems/wp-content/uploads/sites/3/2016/01/DF-6-Polygeyser-Bead-Filter-Owners-Manual-10242017.pdf>
<https://www.bibusfrance.fr/en/products/environmental-technology/air-pumps/air-pumps-secoh/>
https://www.mivalt.cz/images/Mivalt_CZ_2019.pdf
<https://www.mivalt.cz/cs/dmychadla-a-kompresory/rootova-dmychadla>
http://www.klimacz.cz/images/Katalogy/kp_123329.pdf
http://www.hydrgewater.se/hw_pres/products/pdf/fine_bubble_membrane_diffusers.pdf
<https://www.pureozone.com/diffuser.htm>
<https://www.water-proved.de/en/downloads.php>

Externí odborný oponent

Ing. Štěpán Lang, Ph.D.

Tro Trouw Nutrition Biofaktory s.r.o., Na Chvalce 2049, 193 00 Praha 9 – Horní Počernice

Odborný interní oponent

Ing. David Gela, Ph.D.

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Fakulta rybářství a ochrany vod, Jihočeské výzkumné centrum akvakultury a biodiverzity hydrocenóz, Výzkumný ústav rybářský a hydrobiologický, Zátíší 728/II, 389 25 Vodňany, www.frov.jcu.cz

Adresa autorského kolektivu

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Fakulta rybářství a ochrany vod, Jihočeské výzkumné centrum akvakultury a biodiverzity hydrocenóz, Ústav akvakultury a ochrany vod, Husova třída 458/102, 370 05 České Budějovice, www.frov.jcu.cz

*V edici Metodik (technologická řada) vydala Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Fakulta rybářství a ochrany vod, Vodňany, www.frov.jcu.cz
odborný editor: RNDr. Bořek Drozd, Ph.D.; redakce: Zuzana Dvořáková
náklad: 200 ks*

1. vydání, vytištěno v roce 2020

Grafický design a technická realizace: Jesenické nakladatelství Jena Šumperk