

# **Mendelova univerzita v Brně**

**Certifikovaná metodika**

**METODIKA R01/2011**

**Technická řešení a možnosti efektivní regulace průtokových poměrů v zařízeních pro intenzivní chov ryb dánského typu.**

Ing. Tomáš Víték, Ph.D., doc. Ing. Radovan Kopp, Ph.D., Ing. Štěpán Lang, Ing. Tomáš Brabec, doc. Dr. Ing. Jan Mareš

Metodika je realizačním výstupem výzkumného projektu MZe ČR QI91C001 Optimalizace podmínek intenzivního chovu lososovitých ryb v podmínkách České republiky s využitím dánské technologie se zaměřením na kvalitu produkovaných ryb Národní agentury pro zemědělský výzkum a výzkumného záměru MSM 6215648905 „Biologické a technologické aspekty udržitelnosti řízených ekosystémů a jejich adaptace na změnu klimatu“ uděleného Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy České republiky.

### **Oponenti:**

Ing. Vlastimil Stejskal, Ph.D. – odborník v daném oboru, ústav akvakultury, Fakulta rybářství a ochrany vod, Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Husova třída 458/102, 370 05 České Budějovice.

Ing. Josef Makovský, Ph.D. – posudek za státní správu, MZe, Oddělení strategie environmentálních podpor PRV, Těšnov 65/17, Praha 1, 117 05

**Osvědčení o uznání uplatněné certifikované metodiky č. R01/15VD46246/2011-16230/N<sub>met</sub> CERTIFIKOVANÁ METODIKA ze dne 20. 12. 2011** vydalo Ministerstvo zemědělství, úsek lesního hospodářství, sekce lesního hospodářství, odbor státní správy lesů, myslivosti a rybářství, Těšnov 17, 117 05 Praha 1

Adresa autorského kolektivu:

Ing. Tomáš Vítek, Ph.D., doc. Ing. Radovan Kopp, Ph.D., Ing. Štěpán Lang, Ing. Tomáš Brabec, doc. Dr. Ing. Jan Mareš

Mendelova univerzita v Brně, Agronomická fakulta, Ústav zoologie, rybářství, hydrobiologie a včelařství, Oddělení rybářství a hydrobiologie, Zemědělská 1, 613 00 Brno.

[www.rybarstvi.eu](http://www.rybarstvi.eu)

**Mendelova univerzita v Brně**  
**ISBN 978-80-7375-571-3**

## **Obsah:**

<b>I.</b>	<b>Cíl metodiky</b>	<b>4</b>
<b>II.</b>	<b>Popis metodiky</b>	<b>4</b>
	1. Recirkulační zařízení dánského typu určené k chovu ryb	4
	2. Nízkotlaké difuséry – základní funkční prvek recirkulačních systémů dánského typu	5
	3. Stavba recirkulačního systému	6
	4. Recirkulační systém dánského typu v Pravíkově	7
	5. Oblasti regulace nastavení recirkulačního systému	9
	6. Závěr	17
<b>III.</b>	<b>Srovnání novosti postupů</b>	<b>17</b>
<b>IV.</b>	<b>Popis uplatnění metodiky</b>	<b>18</b>
<b>V.</b>	<b>Ekonomické aspekty</b>	<b>18</b>
	<b>Poděkování</b>	<b>18</b>
	<b>Seznam použité literatury</b>	<b>19</b>
	<b>Seznam předcházejících publikací</b>	<b>20</b>

## **I. Cíl metodiky:**

Cílem metodiky je popsat technické řešení a regulační prvky systémů intenzivního chovu ryb s využitím prvků dánského typu, tj. princip airliftů zajišťujících pohyb vody, její saturaci kyslíkem a odplynění. Metodika popisuje regulační prvky těchto systémů, jejich význam a možnosti jejich nastavení pro úpravu průtoků vody chovnými nádržemi a rychlosti proudu v těchto nádržích, včetně dopadu na efekt sedimentace nerozpuštěných látek. Metodika je určena uživatelům systémů využívajících popsanou technologii, pro efektivní regulaci průtokových poměrů v chovných nádržích.

## **II. Popis metodiky**

### **1. Recirkulační zařízení dánského typu určené k chovu ryb**

Celosvětová produkce ryb pro intenzivně narůstající lidskou populaci dlouhodobě meziročně roste. Zvýšená potřeba je saturována především akvakulturním chovem, který se podílí na celkové produkci ryb pro lidský konzum z více než 45% (FAO, 2010). Snaha o vyšší efektivitu produkce a minimalizaci vstupů vede k dynamickému rozvoji zejména v oblasti intenzivních chovů ryb, které jsou v řadě případů založeny na recirkulaci vody.

Jednou z variant jsou tzv. polouzavřené recirkulační systémy. Byly vyvinuty v Dánsku po přijetí legislativních opatření zpoplatňujících odběr vody a tvrdě postihujících vypouštění odpadních vod do recipientu. Jedná o systémy s nízkým nárokem na energetické vstupy (1,9 – 2,3 kWh na kg produkce dle Lareau et al. 2004). Jsou založeny na principu airliftů, které zajišťují cirkulaci vody a výměnu plynů (Mozes et al. 2002). V odchovných žlabech je využívána rychlá cirkulace vody ekvivalentní výměně vody ve žlabu 5-10 krát za hodinu, voda je však recirkulována a doplňována pouze minimálně (1,0 – 1,5%). Jedná se tedy o velmi intenzivní způsob chovu ryb s velmi vysokou koncentrací chovaných ryb až na úrovni  $60 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ , proto bývá často diskutováno zachování welfare ryb (Ellis et al. 2002). Nespornou výhodou jsou minimální nároky na výměnu vody. Potřeba vody, která se pohybuje kolem  $10 \text{ m}^3$  na kg použité krmné směsi, představuje stokrát menší množství, než je tomu u klasických průtočných systémů (MacMillan 1992, Blancheton et al. 2007). Nároky na kvalitu vody v systému jsou vzhledem k vysoké koncentraci ryb značné. Rovněž zdravotní stav ryb je třeba pečlivě sledovat. Jakákoliv infekce se může velmi rychle rozšířit a vyvolat hromadný úhyn ryb a tím velké hospodářské ztráty. K dosažení uspokojivých výsledků chovu je potřeba pro krmení využívat nejkvalitnější krmné směsi, které jsou však patřičně účinné pouze při zabezpečení optimálních podmínek z hlediska kvality vody a zdraví ryb. Všechny tyto faktory kladou vysoké nároky na odbornost obsluhy systému, jakýkoliv nevhodný zásah se výrazně projeví na ekonomickém výsledku.

Recirkulační systémy jsou ve světě využívány k chovu mořských (Davis & Lock 1997, Blancheton 2000) i sladkovodních okrasných ryb (Buckling et al. 1993). Systémy dánského modelu jsou ovšem vhodné zejména k produkčnímu chovu lososovitých ryb (Summerfelt et al. 2004a). V samotném Dánsku je více než 10% produkce lososovitých ryb pokryto právě z těchto recirkulačních systémů, využívány jsou i ve Francii (d'Orbcastel et al. 2009), Izraeli, nebo v Severní Americe (Summerfelt et al. 2004b). V ČR jsou v současnosti v provozu dvě zařízení využívající dánský model k produkci lososovitých ryb, a to rybí farmy v Žáru (Pstruhařství Mlýny) a Pravíkově (firma BioFish). Při neustále vzrůstajících nákladech na krmiva, rostoucích cenách energií a zpříšňujících se normách pro využívání zdrojů vody v podmínkách ČR představují tyto systémy jedno z mála možných řešení pro zachování konkurenceschopnosti v produkčním rybářství. S ohledem na uvedené skutečnosti i finanční podporu z OP Rybářství lze očekávat další rozšiřování této technologie.

Obr. 1: Příklady využití recirkulačních systémů dánského modelu k produkci lososovitých ryb – rybí farmy v Dánsku a Pravíkově (dole).



## 2. Nízkotlaké difuséry – základní funkční prvek recirkulačních systémů dánského typu

Nejdůležitější technický prvek, na jehož principu celý systém dánského typu funguje, představují nízkotlaké difuséry. Dmychadlem je vzduch hnán potrubními rozvody do koncového zařízení, tvořeného soustavou perforovaných hadic či trubek, přes kterou je probubláván do vodního prostředí. Tyto tzv. airlifty jsou umístěny v různých modifikacích na různá místa v systému. Obvykle zajišťují cirkulaci vody v celém systému, prokysličování a pohyb vody v odchovných žlabech, odvod nadbytečného oxidu uhličitého vzniklého dýcháním ryb a činností biofiltru, rotaci elementů pohyblivého biofiltru, ale rovněž čištění ponořených elementů pevného biofiltru.

Jelikož se jedná o nízkotlaký systém, jsou jeho značnou výhodou nízké nároky na energii (Mozes et al. 2004). Nevýhodou však je velká citlivost na hloubku, ve které jsou difuséry umístěny a rovněž na nastavení regulačních ventilů. Oba tyto faktory značně ovlivňují jejich výkon a správnou funkci. Funkčnost významně ovlivňuje i velikost otvorů v trubkách či hadicích vlastního difuséru, a to v závislosti na jeho umístění a funkci. Například pro čištění ponořeného biofiltru probubláváním jsou potřeba větší otvory, než pro udržení kontinuální cirkulace vody v systému. Díky tomu, že dmychadlo zásobující systém airliftů vzduchem je vlastně jediným větším strojem s nároky na energii, je spotřeba elektrické energie na provoz celého systému relativně nízká. V provozu ve Francii bylo zjištěno, že 70% veškeré spotřeby energie v recirkulačním systému bylo vyčerpáno na funkci difusérů, přičemž celková energetická náročnost činila 3,56 kWh na kilogram produkce (d'Orbcastel et al.



2009). V České republice se v současnosti pohybuje cena elektrické energie v závislosti na dodavateli a sazbě od 1,0 do 4,50 Kč za kWh.

Obr. 2: Příklady technického řešení difuséru (horní část obrázku) a jeho umístění v recirkulačním systému (dolní část) na velkokapacitní rybí farmě v Dánsku (na snímcích vlevo) a v Pravíkově (na snímcích vpravo).

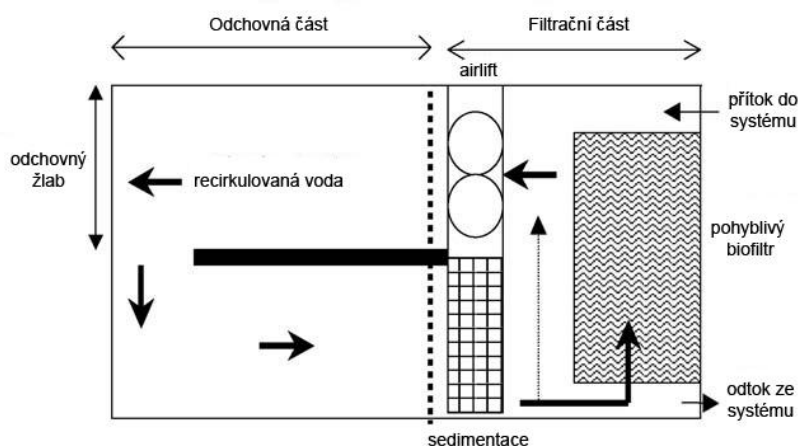


### 3. Stavba recirkulačního systému

Recirkulační systém se skládá ze dvou hlavních částí, odchovné a filtrační (obr. 3). V odchovné části probíhá vlastní produkce (výkrm) ryb, proto je nutné zde zajistit dostatečný přísun vody optimálních parametrů, tedy především vysoké nasycení kyslíkem a nízké koncentrace sloučenin dusíku (amoniaku, dusitanů). Cirkulaci vody a výměnu plynů, především dotaci kyslíku provzdušňováním, v celém systému zajišťuje vhodně umístěný nízkotlaký difusér optimálních parametrů. Ve filtrační části je voda zbavována pevných nečistot (především výkalů ryb) a rovněž zplodin metabolismu dusíku (biologická filtrace). Odstraňování nerozpuštěných částic probíhá často přímo v odchovné části (zpravidla na konci žlabu) systémem formou sedimentace pevných částic v kuželech nebo sedimentačních žlabech umístěných za difuséry. Část ve vodě rozptýlených pevných částic se přesto dostává do biofiltru, odkud musí být pravidelně odstraňovány při odkalování, nebo bývá biologická část filtru předřazen mikrosítový bubnový filtr. Biologická část filtrace je vlastně bakteriální transformace amoniaku přes dusitany na dusičnany, které jsou pro lososovité ryby neškodné i při koncentracích v řádech stovek  $\text{mg.l}^{-1}$  a odtékají s vyměňovanou vodou (v systémech bez denitrifikačních zařízení denitrifikace téměř neprobíhá). Tento mechanismus je zabezpečen biofiltrem, čili ve své podstatě substrátem porostlým tzv. bakteriálním biofilmem. Technicky bývá tato část filtrace řešena biofiltrem pohyblivým (substrát v neustálém rotačním pohybu),

fixním (substrát spočívá na dně), či kombinací obou. Systémy jsou pochopitelně vybaveny i rozvody kyslíku pro přímou oxygenaci vody v případě kyslíkových deficitů nebo poruchy dmychadla.

Obr. 3: Schéma jedné z možných variant technického řešení recirkulačního systému dánského typu (převzato z d'Orbcastel et al. 2009, upraveno).

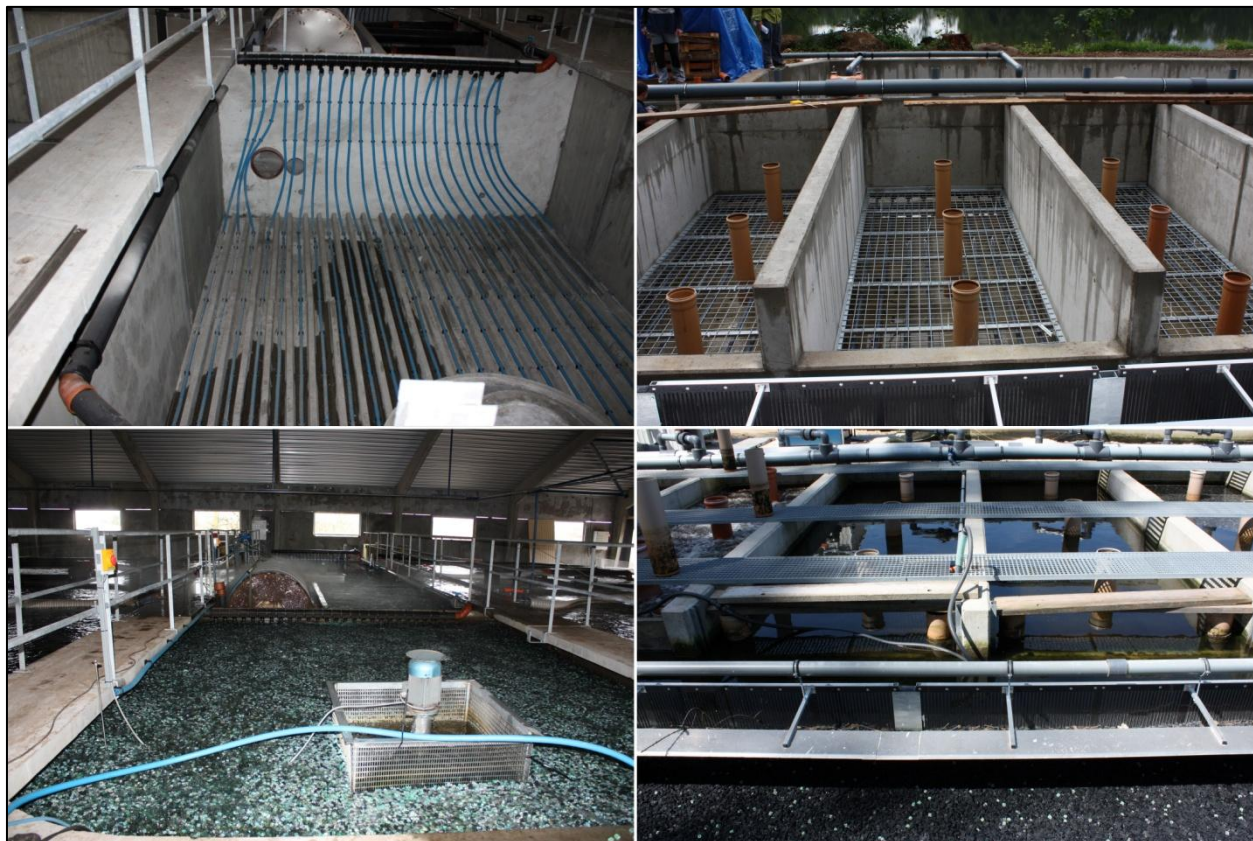


#### 4. Recirkulační systém dánského typu v Pravíkově

Konkrétní model je vždy volen dle podmínek a možností daného provozu. Je možno různě kombinovat funkční prvky, vždy je však třeba mít na paměti funkčnost celého systému. Základem je dostatečná kapacita biofiltru vzhledem k množství odchovaných ryb a jeho správná funkce, pro niž je důležité zásobení dostatečně prokysličenou vodou vhodného pH, nejlépe v hodnotách nad 7, které podpoří rozvoj žádaných kmenů nitrifikačních bakterií s vysokou účinností odbourávání amoniaku.

Příklad konkrétního řešení je na obr. 5. Jedná se o systém o celkovém objemu vody přibližně 1000 m<sup>3</sup>. Odchovná část je tvořena dvanácti paralelně řazenými žlaby délky 11 m a šířky 2 m. Výška vodního sloupce je v nich udržována na úrovni 1,60 m, objem vody v každém žlabu tedy činí přibližně 35 m<sup>3</sup>. Jednotlivé žlaby jsou vybaveny vlastním difusérem a dvojicí sedimentačních kuželů. Proti úniku ryb jsou žlaby zabezpečeny mříží umístěnou v celém profilu před sedimentačními kužely. Žlaby jsou navíc v odtokové části opatřeny otvorem pro slovování ryb (obr. 6). Zahrazením odtokového okna dlužemi a otevřením zmíněného otvoru lze snadno celý žlab potrubím vypustit přímo na třídící linku.

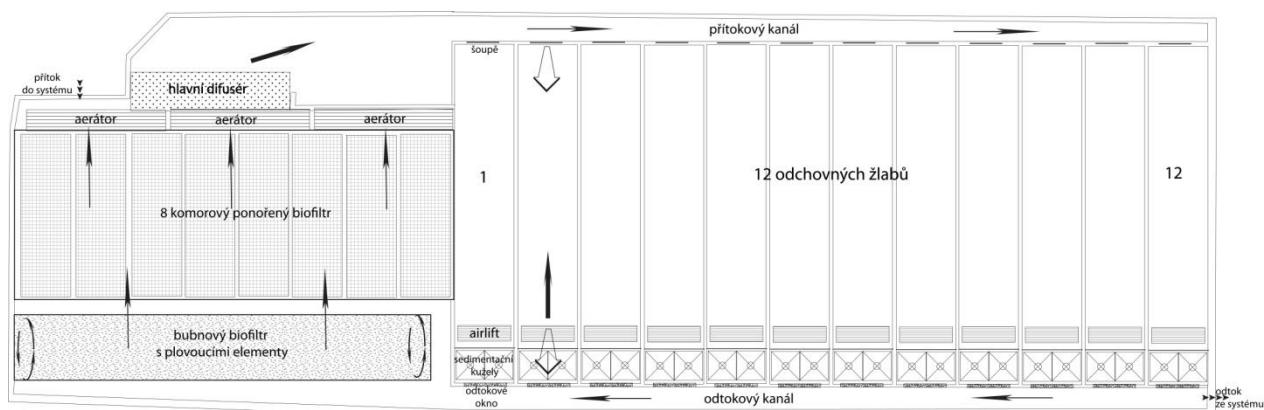
Obr. 4: Příklady technického řešení biofiltru. V levé části kombinace mechanické filtrace (bubnový mikrosítový filtr v pozadí) a pohyblivého biofiltru na velkokapacitní rybí farmě v Dánsku, napravo fixní biofiltr na rybí farmě v Pravíkově. V horní polovině (před napuštěním) je patrné umístění difuséru, dole je biofiltr naplněný elementy (po napuštění systému).



Biofiltr je funkčně rozlišen na jednokomorový plovoucí filtr a filtr ponořený. V obou částech se nachází substrát pro nitrifikační bakterie v podobě plastových elementů (PET výlisky) s velkým povrchem ( $800 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-3}$ ), které se liší svou specifickou hmotností. V plovoucím filtru se jedná o lehké (plovoucí) elementy o celkovém objemu  $10 \text{ m}^3$ , které jsou pomocí difuséru uváděny do nepřetržitého rotačního pohybu. Elementy v ponořeném filtru (objem celkem  $100 \text{ m}^3$ ) jsou těžké a klesají ke dnu. Z důvodu nutnosti pravidelného odkalování je tato část biofiltru rozdělena na osm stejně velkých komor, které lze při čištění (odkalování) jednotlivě zahradit dřevěnými dlužemi a zabránit tak přítoku vody z oblasti plovoucího filtru (obr. 6). Za filtračním blokem je řazen v hloubce zhruba  $0,8 \text{ m}$  tzv. mělký airlift (aerátor), který slouží zejména k odstranění nadbytečného  $\text{CO}_2$  z vody a rovněž k aeraci. Následuje hlavní (hluboký) difusér (airlift), umístěný v hloubce  $4,5 \text{ m}$ . Tento difusér zabezpečuje mimo aerace vody její cirkulaci v celém systému. Pro zajištění pohybu vody je umístěna za ponořeným potrubím difuséru pevná stěna, ukončená ve spodní části na úrovni difuséru. To umožňuje vytvořit zvýšení vodní hladiny o  $8-10 \text{ cm}$  díky vzduchu hnanému pod vodní hladinu.



Obr. 5: Schéma konkrétního řešení recirkulačního systému dánské technologie na rybí farmě v Pravíkově.



Obr. 6: Detail odchovného žlabu v odtokové části s difusérem, slovovacím otvorem a sedimentačními kužely (vlevo) a jedna z komor fixního filtru při odkalování (vpravo) na rybí farmě v Pravíkově.



## 5. Oblasti regulace nastavení recirkulačního systému.

### 5.1 Průtokové poměry a výměna vody v systému

V konkrétních podmínkách provozu v Pravíkově je pohyb vody v systému a přítok do jednotlivých chovných žlabů zajištěn výše popsaným hlubokým airliftem. Rozvod vody do vlastních odchovných žlabů je zabezpečen přítokovým kanálem, který se postupně zužuje (obr. 7). Zásobování přítokového kanálu vodou zabezpečuje hlavní (hluboký) difusér. Regulace přítoku je prováděna šoupětem u každého žlabu. Řazení dvanácti žlabů za sebou komplikuje vlastní nastavení přítoku zabezpečující optimální výměnu vody ve vybraném odchovném žlabu, jelikož rychlost proudu a tím i průtok příčným profilem přítokového kanálu výrazně klesá směrem od prvního žlabu k poslednímu (obr. 7). Výkon hlavního difuséru umožňuje zásobovat odchovnou část systému vodou v množství zhruba  $300 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$ , což umožňuje zabezpečit přítok do každého žlabu na úrovni  $25 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$ . Rozhodně však neplatí, že uvedeného přítoku do každého žlabu dosáhneme nastavením šoupat všech žlabů na stejnou polohu.

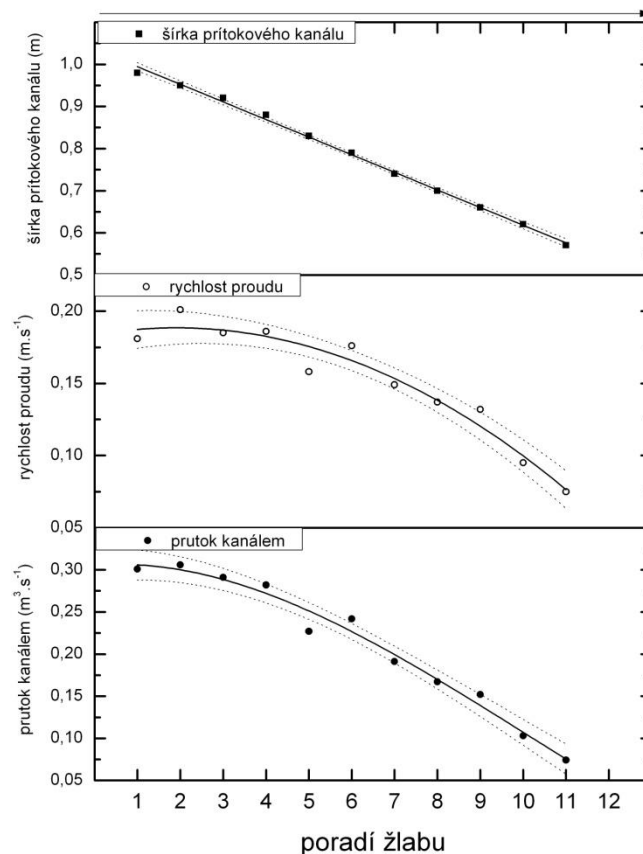
### 5.2 Průtokové poměry v odchovném žlabu a způsoby jejich regulace

Každý odchovný žlab je vybaven dvěma regulačními prvky, kterými lze ovlivňovat výměnu vody, její cirkulaci a s tím související proudové poměry. Jedná se v první řadě o

šoupata na přítokové straně žlabu, kterými lze měnit velikost přítokového okna a tak přímo regulovat množství přitékající vody do žlabu (obr. 8). Každé šoupě je vybaveno 26 otvory, změnou velikosti přítokového okna o jeden otvor vyvoláme změnu přítoku o jeden až tři litry za sekundu v závislosti na pořadí žlabu. Regulace přítoku do žlabů pomocí hradítek je poměrně komplikovaná záležitost, protože se jednotlivé žlaby navzájem ovlivňují. Maximální výkon centrálního difusoru umožňuje udržet maximální přítok do všech žlabů na úrovni zhruba  $25 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$ . Při takto nastavených přítocích byla na základě experimentálních měření vypracována regresní křivka regulace přítoku nastavením otvoru na hradítku (obr. 9).

Průběh závislosti přitékajícího množství vody do žlabu na velikosti přítokového okna je nelineární. Uvedený způsob zjišťování přítoku do žlabu platí pouze při nastavení ostatních žlabů na přítok přibližně  $25 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$  (dle Tab. 1), při výrazně odlišném nastavení ostatních žlabů se může lišit. Navíc je ovlivněn i pořadím žlabu, proto je třeba uvedený graf brát pouze orientačně a skutečnou hodnotu přítoku si ověřit přímým měřením.

Obr. 7: Změny rychlosti proudu a průtoku podél přítokového kanálu do odchovné části recirkulačního systému v Pravíkově. Naměřené hodnoty proloženy nejlepší regresní funkcí (plná čára) včetně 95% intervalů spolehlivosti (tečkované čáry).



Tab.1: Orientační nastavení přítokových hradítek v odchovné části recirkulačního zařízení dánského typu pro dosažení stejného přítoku ve všech odchovných žlabech na úrovni 25 l.s<sup>-1</sup>.

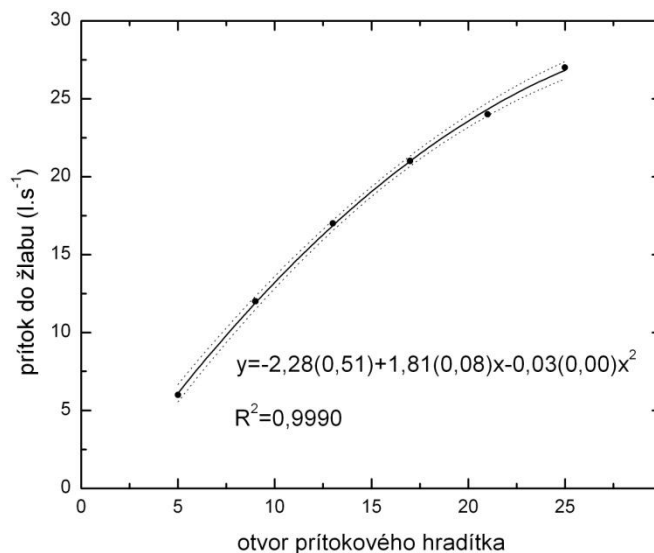
pořadí žlabu		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
otvor hradítka		4	4	5	6	7	10	13	16	18	21	23	25
otevření přítokového okna (%)		15	15	19	23	27	38	50	62	69	81	88	96
<i>pozn. Velikost přítokového okna při maximálním otevření hradítka (100%) činí 43x48 cm</i>													

Precizní stanovení průtokových poměrů v jednotlivých chovných žlabech je poměrně složité. Stanovování průtokových poměrů v odchovném žlabu přímým měřením bodových rychlostí je totiž silně komplikováno přítomností ryb ve žlabu, které svým pohybem velmi zkreslují naměřené hodnoty. Proto zůstává základní možností kontroly množství vody protékající žlabem odtokové okno. Zde lze časově náročné stanovení přítoku dle normy ISO 748 zjednodušit na bodové měření uprostřed okna v hloubce 15 cm. Výsledný průtok  $y$  pak snadno vypočteme s pomocí známé plochy odtokového okna. Tato zjednodušená metoda byla statisticky ověřena validační studií lineárního regresního modelu jako vhodná. Jelikož však bylo zjištěno, že skutečnou hodnotu průtoku nadhodnocuje, je nutno použít korekční faktor  $y/1,322$ . Jako praktická pomůcka pro obsluhu zařízení může sloužit grafická pomůcka (obr. 10), ze které lze skutečný přítok do odchovného žlabu snadno odečíst na základě naměřené bodové rychlosti proudu. Pro praktické využití uvedených údajů doporučujeme obsluze kombinovat regulaci přítoku podle regresní rovnice či křivky s kontrolním měřením rychlosti proudu na odtoku a stanovením průtoku dle uvedené grafické pomůcky, která je platná nezávisle na nastavení ostatních žlabů.

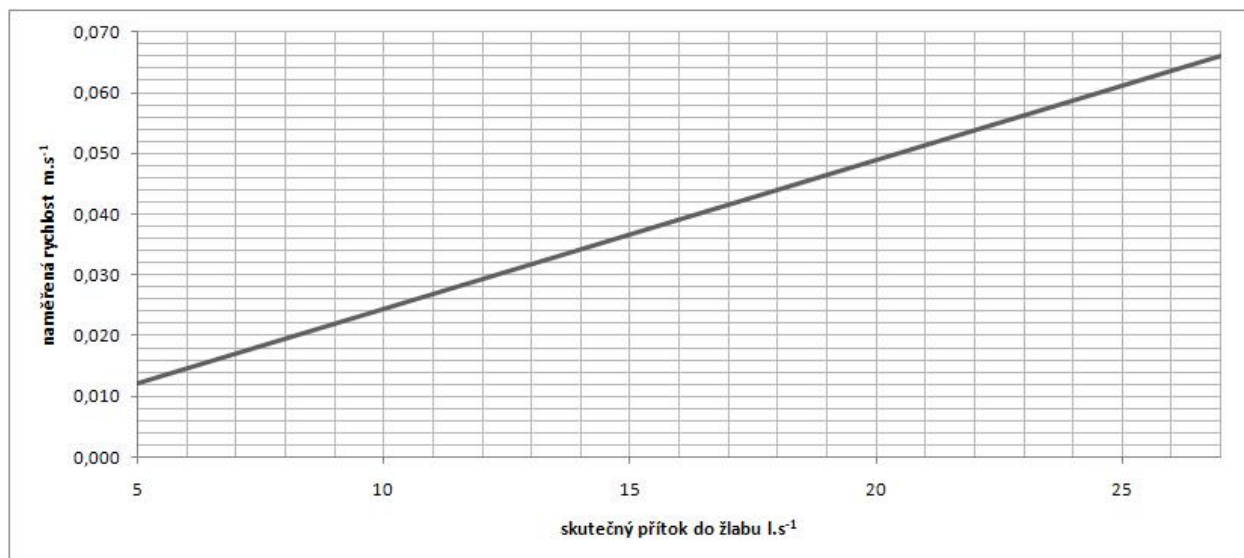
Obr. 8: Detail přítokové části odchovných žlabů recirkulačního systému rybí farmy v Pravíkově s regulačním mechanismem v podobě šoupěte. Na obrázku vpravo je šoupě nastaveno na 7. Otvor



Obr. 9: Graf přítoku do odchovného žlabu recirkulačního zařízení v Pravíkově v závislosti na nastavení otvoru na přítokovém hradítku. Ostatní žlaby v systému nastaveny na přítok 25 l.s<sup>-1</sup>. Naměřené hodnoty proloženy nejlepší regresní křivkou (plná čára) včetně 95% intervalů spolehlivosti (tečkované čáry), jejíž funkce je rovněž uvedena (směrodatné odchylky parametrů uvedeny v závorkách) včetně regresního rabatu  $R^2$ .



Obr. 10: Graf lineární závislosti naměřené bodové rychlosti proudu v odtokovém okně a skutečného přítoku do odchovného žlabu v recirkulačním zařízení k chovu ryb v Pravíkově. Rychlost proudu je nutno měřit uprostřed odtokového okna v hloubce 15 cm.

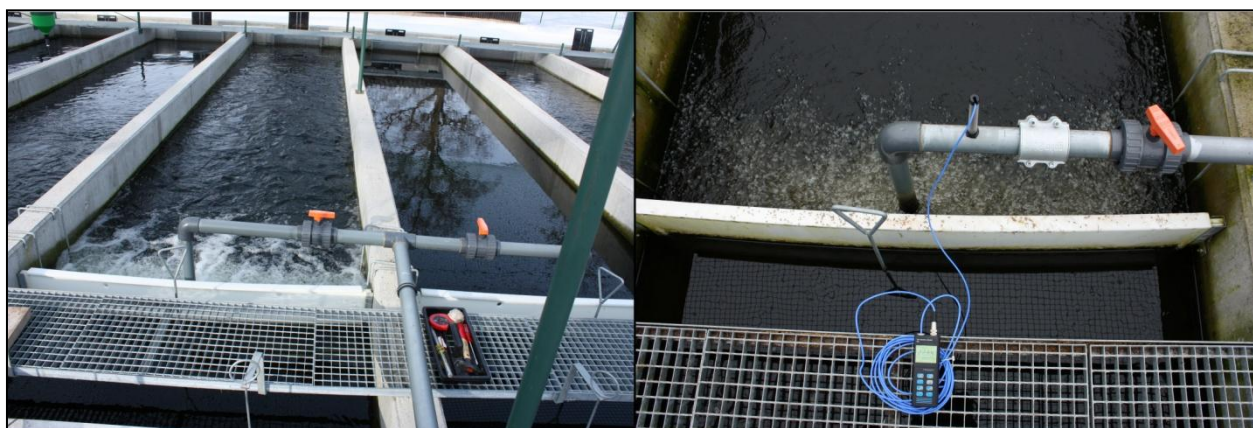


Druhý mechanismus, který ovlivňuje pohyb vody (rychlost proudu) v chovném žlabu, představuje nízkotlaký difusér s možností regulace výkonu pomocí ventilu (obr. 11). Tento difusér je umístěn na opačné straně žlabu oproti přítoku a zabezpečuje cirkulaci vody v odchovném žlabu, její obohacení kyslíkem a odplynění. Opakovaná měření bodových rychlostí proudu a celkových průtoků prováděná na příčném profilu odchovného žlabu ve vzdálenosti 5 m od difuzéru odhalila, že různé úrovně výkonu difuzéru téměř neovlivňují odtok a tím ani přítok do žlabu, který lze tudíž regulovat nezávisle. Difusér tak zabezpečuje

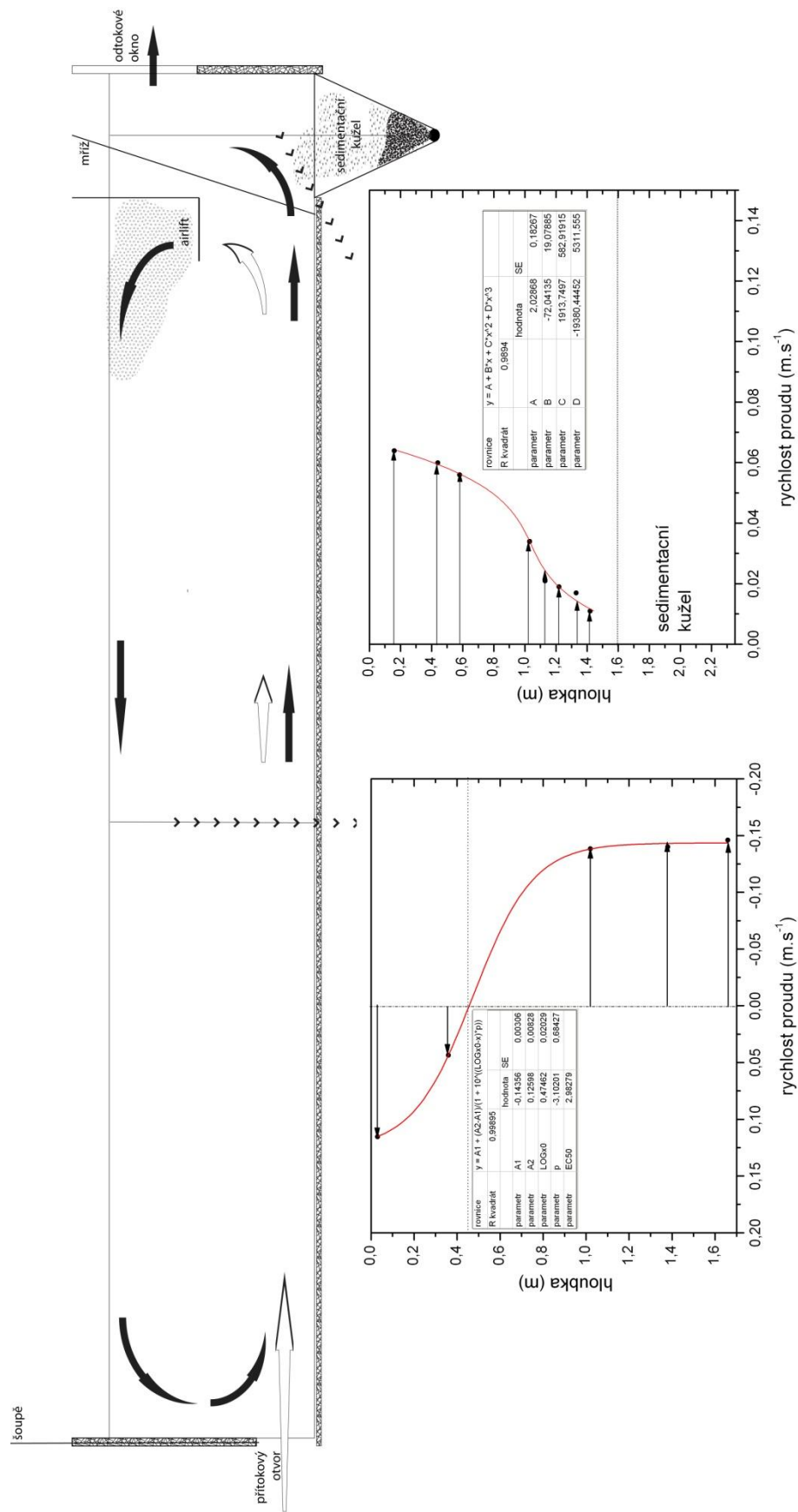


z hlediska průtokových poměrů pouze cirkulaci vody v odchovném žlabu (obr. 12), která má samozřejmě vliv na rychlost proudu v různých místech ve žlabu. Při vypnutém difuséru je průtok odchovným žlabem určen pouze přítokem do žlabu a při úplném otevření přítokového okna dosahuje bodová rychlost proudu maximální hodnoty  $8 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ . Při úplném otevření regulačního ventilu se vytváří v povrchové vrstvě vodního sloupce (do 60 cm) značný protiproud. Při hladině byla v takové situaci naměřena rychlost proudu kolem  $30 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ , která se již může negativně projevit v podobě přílišných energetických výdajů chovaných ryb. Provedené energetické studie doporučují pro pstruha duhového rychlost proudu v rozmezí  $7,7 - 22,1 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$  (Hill & Grossman 1993). Pstruh duhový je samozřejmě schopen překonat i silný proud a navíc se tím sníží riziko parazitárních onemocnění žaber (Becker et al. 2003), avšak při rychlostech kolem  $60 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$  se rychle unaví (Farrell 2008) a při dlouhodobém překonávání silnějšího proudu může rovněž dojít k výraznějšímu poškození ploutví (Latremouille 2003). Proto doporučujeme částečné uzavření regulačního ventilu difuséru, snížení jeho výkonu, čímž klesne rychlost proudu ve žlabu. Například uzavření ventilu z poloviny sníží povrchový protiproud na přibližně  $12 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$  a rychlost proudu v celém profilu nepřesáhne  $15 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ . Takový proud již v žádném případě rybám nezpůsobí nadbytečné výdaje energie na jeho překonání a neovlivní tak negativně produkční ukazatele. Je však třeba zachovat výkon difuséru pro zabezpečení dostatečného množství kyslíku ve vodě, proto je nutné při regulaci měřit nasycení vody kyslíkem na odtoku ze žlabu, a to zejména po nakrmení. Naše pozorování z Právkova ukazují, že v případě vysokých obsádek ryb ( $70\text{-}80 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ) klesá nasycení vody kyslíkem na odtoku ze žlabu po nakrmení k hranici 50%. Tento pokles je krátkodobého charakteru a obsah rozpuštěného kyslíku se díky nepřetržitému provozu difusérů postupně zvyšuje. Dotace jednotlivých žlabů na kyslík bohatou vodou je vysoká, nepřetržitý provoz hlavního difuséru zabezpečuje v přítokové vodě do žlabů obsah kyslíku neklesající pod 90% nasycení.

Obr. 11: Odchovné žlaby recirkulačního systému v Právkově s různými variantami nastavení výkonu difuséru pomocí regulačního ventilu. Na detailu vpravo způsob měření množství vzduchu proudícího do difuséru pomocí sondy HFA.



Obr. 12: Schéma odchovného žlabu recirkulačního zařízení v Pravíkově popisující cirkulaci vody. V dolní části obrázku jsou znázorněny rychlosti proudu ve dvou profilech (uprostřed délky odchovného žlabu a nad sedimentačními kužely) při nastavení přítoku do žlabu na  $25 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$  a polovičním otevření regulačního ventilu difusoru. Rychlosti proudu jsou v grafech znázorněny černými šipkami, červeně je znázorněn průběh nejlepší regresní křivky prokládající data. Regresní model (hodnoty parametrů a jejich směrodatné chyby SE) je uveden včetně regresního rabatu  $R^2$ .



### 5.3 Efekt sedimentace pevných částic a možnosti jeho ovlivnění

Jedním z limitujících faktorů využití recirkulačních systémů dánské technologie je odvádění pevných částic z chovného systému. Při vysoké koncentraci chovaných ryb je zajištěna vysoká efektivita ingesce předkládaného krmiva, proto je většina částic rozptýlených v chovném prostředí tvořena výkaly ryb (Summerfelt 1999), minimum připadá na nepřijatou potravu a zbytky uhynulých ryb (Bergheim & Asgard 1996). Odstranění většiny těchto pevných částic by mělo probíhat formou jejich sedimentace v kuželech umístěných po dvojicích v zadní části každého odchovného žlabu, odkud jsou vypouštěny do jímky. K tomu je potřeba zabezpečit, aby rychlost proudu nad těmito kužely byla minimální a výkaly nebyly unášeny odtokovým oknem pryč ze žlabu.

Rychlost proudu je v oblasti nad kužely skutečně nejnižší v celém žlabu (obr. 12). Při optimalizovaném nastavení přítoku do žlabu na  $25 \text{ l.s}^{-1}$  a otevření regulačního ventilu difusoru z poloviny dosahuje ve výšce 10 – 50cm nad sedimentačním kuželem hodnot  $1\text{-}4 \text{ cm.s}^{-1}$ . Směrem k hladině se pak výrazně zvyšuje.

Na základě experimentů provedených v modelovém recirkulačním systému (Huggins et al. 2005) postačuje k odstranění většiny pevných částic (průměr do  $350 \mu\text{m}$ ) výkalů sedimentační rychlost  $1 \text{ cm.s}^{-1}$  (Tab.2).

Tab. 2: Efektivita odstraňování pevných částic z recirkulačního systému k chovu ryb v závislosti na velikosti částic a rychlosti proudu (převzato z Huggins et al. 2005).

velikost částic ( $\mu\text{m}$ )	sedimentační rychlost ( $\text{m.s}^{-1}$ )	relativní podíl frakce	efektivita odstranění (%)
692	0,0391	0,240	100,0
532	0,0231	0,251	100,0
350	0,0100	0,250	100,0
204	0,0034	0,136	54,7
61	0,0003	0,117	0,9
35	0,0001	0,006	0,1

Námi naměřená sedimentační rychlost nad kužely tudíž umožňuje dosáhnout efektivitu sedimentace maximálně 75%. Jemnější částice výkalů (pod  $350 \mu\text{m}$ ) zůstanou nezachyceny, jejich sedimentace by byla možná až při snížení sedimentační rychlosti na  $0,3 \text{ cm.s}^{-1}$ , a i tak by byla efektivní pouze částečně. Celková účinnost sedimentace výkalů v recirkulačních systémech dánského typu je navíc silně variabilní, na úrovni  $60\pm 28\%$  dle d'Orbcastel et al. (2009). Obdobnou účinnost sedimentace jsme zjistili i při experimentech v Pravíkově, kdy přibližně 60% výkalů sedimentovalo v kuželech a 40% odcházelo odtokovým oknem dále do systému. Ani snížení přítoku vody do žlabu se neprojeví výrazným zlepšením efektu sedimentace, což potvrzují jak zkušenosti z Francie (d'Orbcastel et al. 2009), tak náš experiment z Pravíkova založený na měření sedimentační rychlosti nad kužely a stanovení vrstvy sedimentu v kuželu za určitou dobu. Sedimentaci výrazně nezlepšilo ani snížení přítoku na  $10 \text{ l.s}^{-1}$ . Experimentálně byla do odtokového okna umístěna hradítka, čímž se odtokové okno zmenšilo. Efektivita sedimentace byla v takovém případě výrazně nižší, proto použití těchto hradítek nedoporučujeme, lepší je ponechat odtokové okno zcela otevřené.

Hmotnost sušiny výkalů v jednom sedimentačním kuželu se pohybuje od 20 do 85 g za 24 hod. Sedimentace není časově rovnoměrná. Většina z denního úhrnu sedimentů (cca 55%) se ukládá v prvních dvou hodinách po prvním krmení, později přes den a v noci je

intenzita sedimentace výrazně nižší i přes další krmení. To zvýší intenzitu vylučování sedimentů pouze nepatrně. Tento stav je třeba zohlednit při denním odstraňování sedimentů ze sedimentačních kuželů. Na základě našeho pozorování je možno doporučit odkalování sedimentačních kuželů zhruba dvě hodiny po prvním krmení. Sušina zachycených výkalů je velmi vyrovnaná, průměrná hodnota ze čtyřiceti provedených měření dosáhla  $8,92 \pm 1,41\%$ . Sušina rozptýlených pevných částic, které nesedimentují v kuželech a projdou odtokovým oknem, je výrazně nižší, kolísá kolem hodnoty  $3,7 \pm 1,6\%$ . Rychlost proudu nad kužely je ovlivněna také čistotou předřazené mříže bránící úniku ryb ze žlabu. Tato mříž je při odchovu starších věkových kategorií ryb o hmotnosti nad 200g samovolně čištěna pohybem ryb a umožňuje plynulý průchod vody, což se pozitivně projevuje na efektu sedimentace. U mladších ryb se však mříž snadno ucpává nárosty bakteriální biomasy a řas. Voda pak neproudí přes mříž rovnoměrně, ale obvykle pouze úzkým profilem, kde je lokálně zvýšena rychlost proudu a výkaly tak nestihnou klesnout do kuželu. Proto je vhodné v počáteční fázi výkrmového cyklu mříže pravidelně čistit.

Díky málo efektivnímu odstraňování výkalů ryb ze systému pomocí sedimentačních kuželů existuje zvýšené nebezpečí usazování v jiných částech systému, kde může lokálně docházet ke zhoršování kvality vody, zvýšené spotřebě rozpuštěného kyslíku pro rozklad neusazených organických látek a rovněž hrozí silné zanášení ponořené části biofiltru, který následně neplní svoji funkci a je nutné jej častěji čistit.

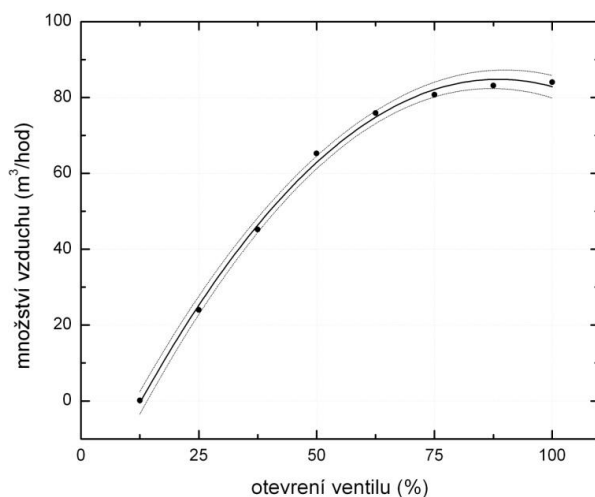
#### **5.4 Regulace množství přiváděného vzduchu do difuséru odchovného žlabu**

Každý odchovný žlab je vybaven nízkotlakým difusérem (airliftem), který zde má dvě hlavní funkce. Přiváděný vzduch jednak dotuje vodu ve žlabu kyslíkem a rovněž zabezpečuje její cirkulaci ve žlabu – vytváří proud. Celý recirkulační systém je navržen tak, že každá ze šesti větví hlavního rozvodného potrubí je dále dělena na dvě části zásobující vždy dvojici sousedních žlabů, přičemž každý žlab má svůj regulační ventil, s jehož pomocí lze regulovat množství přiváděného vzduchu. Experimentálním měřením protékajícího vzduchu přivodním potrubím pomocí sondy HFA (obr. 11) bylo zjištěno, že při plném otevření ventilů v celém systému je do každého žlabu přiváděno zhruba  $80 \text{ m}^3$  vzduchu za hodinu. Regulace pomocí ventilu není plynulá, její regresní křivka je uvedena na obr. 13. Uzavření ventilu o čtvrtinu má minimální vliv na přiváděné množství vzduchu, při uzavření z poloviny dojde ke snížení objemu vzduchu zhruba o 20%. Další uzavírání již vyvolává výrazné snížení (uzavření ze tří čtvrtin znamená množství přiváděného vzduchu na úrovni 20% maxima). Vliv nastavení ventilu sousedního žlabu je velmi malý, při jeho úplném uzavření došlo ke zvýšení celkového objemu přiváděného vzduchu do sledovaného žlabu na zhruba  $90 \text{ m}^3$  za hodinu.

Z pohledu provzdušňování odchovného žlabu by bylo optimální plné otevření regulačních ventilů na všech odchovných žlabech systému. Pokud však zvážíme efekt vysoké rychlosti proudu v povrchové vrstvě vodního sloupce, která je úplným otevřením vyvolána, je vhodnější při běžném provozu regulační ventily otevřít pouze z jedné poloviny. Dotace vzduchu klesne o zhruba 20% a tento pokles se neprojevuje negativně na množství rozpuštěného kyslíku ve vodě, které zůstává na stejné úrovni, jako při plném výkonu difuséru. Tento fakt potvrdila i naše pozorování na rybí odchovně v Pravíkově. Navíc předejdeme riziku snížení produkčních parametrů chovaných ryb spojenému s nadbytečnými energetickými výdaji na překonání silného proudu.

Obr. 13: Množství vzduchu přiváděné do difuséru odchovného žlabu recirkulačního systému v Pravíkově v závislosti na nastavení regulačního ventilu. Naměřené hodnoty jsou proloženy nejlepším regresním modelem (plná křivka) včetně 95% intervalů spolehlivosti (tečkované čáry).





## 6. Závěr

Předložený materiál charakterizuje recirkulační systémy dánského typu, jejich hlavní funkční prvky a základní možnosti regulace jednotlivých parametrů. Pro optimální funkci jednotlivých prvků je třeba zabezpečit odborný přístup ze strany provozní obsluhy, která musí ovládat základní mechanismy regulace. K tomu by měla posloužit tato metodika. Všechny regulační mechanismy byly testovány na farmě v Pravíkově, obecně lze předpokládat jejich využitelnost i v jiných systémech dánského typu, vždy je však nutno přihlídnout ke specifikům konkrétního zařízení.

## III. Srovnání novosti postupů

Metodika přináší nové postupy v souladu s §2, odst. 1, písm. a) bod 2 zákona č. 130/2002 Sb. Popsaných metodických postupů bylo dosaženo systematickou tvůrčí prací v aplikovaném výzkumu, kterým byly experimentální a teoretické práce prováděné s cílem získání nových poznatků zaměřených na budoucí využití v praxi.

V předložené metodice jsou jednak popsány principy funkce jednotlivých regulačních prvků využívaných v systémech intenzivního chovu ryb se zařazením airliftů do oběhu vody i chovných nádrží. Tyto systémy jsou v podmínkách ČR nové a je nezbytné pro efektivní regulaci systémů zpracovat metodiku na jejich ovládní. V současnosti standardními systémy pro intenzivní chov ryb jsou systémy průtočné, nebo recirkulační s využitím běžných čerpadel a sycením vody kyslíkem. Součástí metodiky je popis závislosti regulovaných parametrů v jednotlivých chovných nádržích, které jsou součástí jediného recirkulačního zařízení, a tudíž se vzájemně ovlivňují. Vlastní popis metodiky se věnuje metodickému návodu regulace průtoku vody, přítoku do chovných nádrží pro udržení optimálních hydrochemických parametrů a zabránění výkyvu jejich hodnot při změně průtoků jednotlivými nádržemi. Dále regulaci rychlosti proudu na odtoku z chovných žlabů, která významně ovlivňuje efekt sedimentace unášených látek a následně ovlivňuje účinnost biofiltru. Pro zhodnocení efektu regulace byly využity standardní hydrochemické parametry, jejich dynamika a obsah unášených nerozpuštěných látek. Metodika obsahuje navíc i pomůcky určené přímo pro obsluhu systémů. Na rozdíl od metodik zabývajících se recirkulačními systémy tato metodika poskytuje návod na řízení zaváděných systémů „dánského typu“ do české chovatelské praxe.

#### **IV. Popis uplatnění metodiky**

Metodika je určena pro chovatele ryb využívajících systémy intenzivního chovu ryb na principu vhánění velkého množství vzduchu k pohybu vody v systému, jejímu odplynění a saturaci kyslíkem. Postupy uvedené v metodice jsou určeny přímo pro obsluhu těchto systémů i technické pracovníky řídící uvedené systémy chovu. Efektivní regulace průtoku vody chovnými nádržemi a množství vháněného vzduchu ovlivňuje hydrochemické parametry v chovných nádržích, sedimentaci nerozpuštěných látek v kuželech na konci chovných žlabů a následně zanášení a činnost biofiltrů. Uvedené faktory ovlivňují rychlost růstu ryb, konverzi krmiva i zdravotní stav ryb, resp. působení stresových faktorů. Předpokládané využití ve dvou již vybudovaných a dalších v současnosti budovaných systémech.

Metodika bude uplatněna „Smlouvou o uplatnění certifikované metodiky“ uzavřenou mezi Mendelovou univerzitou v Brně a firmou BioFish s.r.o. se sídlem Horní Paseky 40, Ledec nad Sázavou.

#### **V. Ekonomické aspekty:**

Přínosy z regulace – zvýšení produkce, snížení nákladů (zlepšení podmínek prostředí – zlepšení welfare, produkce ryb, snížení FCR).

Předpokládané ekonomické a další přínosy jsou v zefektivnění chovu ryb v systémech intenzivního chovu, využívajících prvků „dánského“ systému. Ekonomické přínosy lze vyjádřit ve snížení hodnoty krmného koeficientu na úrovni 5-10 %, což při předpokládaném krmném koeficientu FCR mírně převyšujícím hodnotu 1 a ceně krmiva na úrovni 35 - 40 Kč, odpovídá úspoře 35 – 40 tis. Kč na 10 t produkce. Dalším již obtížněji kvantifikovatelným efektem je snížení stresové zátěže ryb způsobené zhoršenými hydrochemickými parametry chovného prostředí. Dále nevhodná rychlost proudu nepříznivě ovlivňuje efekt sedimentace nerozpuštěných látek v sedimentačních kuželech a následně způsobuje zanášení biofiltru, což negativně ovlivňuje jeho účinnost a zvyšuje pracnost při údržbě sekce ponořeného biofiltru. Zároveň využití metodiky v praxi díky popsaným regulačním prvkům a jejich nastavení zjednodušuje práci obsluze, takže dochází k zefektivnění její práce a snížení rizika nevhodného nastavení. Celkově lze shrnout přínosy uplatnění metodiky do zlepšení produkčních parametrů recirkulačních systémů a zefektivnění práce obsluhy těchto zařízení.

#### **Poděkování**

Metodika vznikla za finanční podpory Národní agentury pro zemědělský výzkum, projektu QI91C001 „Optimalizace podmínek intenzivního chovu lososovitých ryb v podmínkách České republiky s využitím dánské technologie se zaměřením na kvalitu produkovaných ryb“ a s podporou Výzkumného záměru č. MSM6215648905 „Biologické a technologické aspekty udržitelnosti řízených ekosystémů a jejich adaptace na změnu klimatu“ uděleného Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy České republiky.

### Seznam použité literatury:

- BECKER, J.A., SPEARE, D.J., DOHOO, I.R., 2003. Effect of water temperature and flow rate on the transmission of microsporidial gill disease caused by *Loma salmonae* in rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*. *Fish Pathology*, **38**, 105-112.
- BERGHEIM, A., ASGARD, T., 1996. Waste production from aquaculture. In: Bair, D.J., Beveridge, M.C.M., Kelly, L.A., Muir, J.F. (Eds.), *Aquaculture and Water Resource Management*. Blackwell Science, Stirling, s. 50–80.
- BLANCHETON, J.P., 2000. Developments in recirculation systems for Mediterranean fish species. *Aquacultural Engineering*, **22**, 17-31.
- BLANCHETON, J.P., PIEDRAHITA, R., EDING, E.H., ROQUE D'ORBCASTEL, E., LEMARIE, G., BERGHEIM, A., FIVELSTAD, S., 2007. Intensification of landbased aquaculture production in single pass and reuse systems. In: *Aquaculture Engineering and Environment (Chapter 2)*.
- BUCKLING, R.A., BAIRD, C.D., WATSON, C.A., CHAPMAN, F.A., 1993. Energy use of recycling water aquaculture systems for ornamental fish production. In: Circular 1095. Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida, Gainesville, FL, 5 s.
- DAVIS, J.T., LOCK, J.T., 1997. Culture of largemouth bass fingerlings. Southern Regional Aquaculture Center (SRAC), Aqua KE Gov Doc, Technical Publication 201, 4 s.
- D'ORBCASTEL, E.R., 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.
- 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*, **61**, 493-531.
- FARRELL, A.P., 2008. Comparisons of swimming performance in rainbow trout using constant acceleration and critical swimming speed tests. *Journal of Fish Biology*, **72**, 693-710.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2010. The state of world fisheries and aquaculture 2010. FAO, Rome. 197 s.
- HILL, J., GROSSMAN, G.D., 1993. An energetic model of microhabitat use for rainbow trout and rosyside dace. *Ecology*, **74**, 685-698.
- HUGGINS, D.L., PIEDRAHITA, R.H., RUMSEY, T., 2005. Use of computational fluid dynamics (CFD) for aquaculture raceway design to increase settling effectiveness. *Aquacultural Engineering*, **33**, 167-180.
- LAREAU, S., CHAMPAGNE, R., GILBERT, E., VANDENBERG, G., 2004. Rapport sur les missions d'évaluation de la technologie danoise pour l'élevage en eau douce des salmonides.
- LATREMOUILLE, D.N., 2003. Fin erosion in aquaculture and natural environments. *Reviews in Fisheries Science*, **11**, 315-335.
- MACMILLAN, R., 1992. Economic implications of water quality management for a commercial trout farm. In: Blake, J., Donald, J., Magette, W. (Eds.), *National Livestock, Poultry, and Aquaculture Waste Management*. American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, MI, s. 185–190.
- MOZES, N., ESHCHAR, M., CONIJESKI, D., FEDIUK, M., ASHKENAZY, A., MILANEZ, F., 2002. Marine water recirculating systems in Israel-performance, production cost analysis and rationale for desert conditions. In: Rakestraw, T., Douglas, L., Flick, G. (Eds.), *Proceeding of the Fourth International Conference on Recirculating Aquaculture*, Roanoke, VA, USA, July 18–21, 2002, s. 404–413

- MOZES, N., HADDAS, I., CONIJESKI, D., ESHCHAR, M., 2004. The low-head mega-flow air driven recirculating system—minimizing biological and operational risks. In: Proc. Aquacult. Eur. Conf., Barcelona, Spain, s. 598–599.
- SUMMERFELT, S.T., 1999. Waste-handling systems. In: Wheaton, F.W. (Ed.), CIGR Handbook of Agricultural Engineering, Vol. II Aquaculture Engineering. American Society of Agricultural Engineers, Maryland, s. 309–350.
- SUMMERFELT, S.T., DAVIDSON, J.W., WALDROP, T.B., TSUKUDA, S.M., BEBAK-WILLIAMS, J. 2004a. A partial-reuse system for coldwater aquaculture. *Aquacultural Engineering*, **31**, 157-181.
- SUMMERFELT, S.T., WILTON, G., ROBERTS, D., RIMMER, T., FONKALSRUD, K., 2004b. Developments in recirculating systems for Arctic char culture in North America. *Aquacultural Engineering*, **30**, 31-71.

### **Seznam předcházejících publikací:**

- KOPP, R., ZIKOVÁ, A., BRABEC, T., LANG, Š., VÍTEK, T., MAREŠ, J., 2009: Dusitany v recirkulačním systému rybí farmy Pravíkov. In KOPP, R. "60 let výuky rybářské specializace na MZLU v Brně". 1. vyd. Brno: MZLU Brno, 2009, s. 105--110. ISBN 978-80-7375-358-0.
- KOUŘIL, J., MAREŠ, J., POKORNÝ, J., ADÁMEK, Z., KOLÁŘOVÁ, J., PALÍKOVÁ, M., 2008: Chov lososovitých druhů ryb, lipana a síhů. 1. vyd. Vodňany: JU v Českých Budějovicích, s. 63--97. ISBN 978-80-85887-80-8.
- LANG, Š., KOPP, R., ZIKOVÁ, A., VÍTEK, T., MAREŠ, J., 2010: Diurnální změny vybraných hydrochemických parametrů na recirkulačním systému dánského typu při různých teplotách vody. Bulletin Výzkumného ústavu rybářského a hydrobiologického Vodňany. 2010. sv. 46, č. 4, s. 23--32. ISSN 0007-389X.
- LANG, Š., VÍTEK, T., KOPP, R., ZIKOVÁ, A., BRABEC, T., PFAU, R., MAREŠ, J., 2010: The Danish model trout farm Pravíkov (ČR); A first year and a plans for future. [online]. 2010. URL: <http://www.rybarstvi.eu/dok%20rybari/stepan.pdf>.
- MAREŠ, J., KOPP, R., BRABEC, T., 2011: Nové metody v chovu ryb. In Intenzivní metody chovu ryb a ochrany kvality vod . 1. vyd. Třeboň: Rybářství Třeboň Hld.a.s., 2011, s. 5-13
- NUSL, P., PFAU, R., 2010: Intenzivní chov pstruha duhového v recirkulačním systému. In Intenzita chovu ryb a ekologické aspekty v rybářství. Vodňany: Střední rybářská škola a Vyšší odborná škola vodního hospodářství a ekologie, 2010, s. 35-38. ISBN 978-80-87096-10-9.
- VÍTEK, T., MAREŠ, J. 2009: Flow velocity conditions in the trout farm based on recirculation system of danish technology. IN KOPP, R. "60 let výuky rybářské specializace na MZLU v Brně". 1. Vyd. Brno: MZLU Brno, s. 179-180. ISBN 978-80-7375-358-0



**Technická řešení a možnosti efektivní regulace průtokových poměrů v zařízeních pro intenzivní chov ryb dánského typu.**

Vítek, T., Kopp, R., Lang, Š., Brabec, T., Mareš, J.

Vydavatel: Mendelova univerzita v Brně, Zemědělská 1, 613 00, Brno

Tisk: Ediční středisko Mendelovy univerzity v Brně

Vydání: první, 2011

ISBN 978-80-7375-571-3