

Mendelova univerzita v Brně

Certifikovaná metodika

METODIKA R25/2023

Metodika hodnocení kyslíkového režimu v rybnících

Prof. Ing. Radovan Kopp, Ph.D., Marija Radojičić, Ing. Mgr. Lenka Kratochvílová, Ing. Jan Grmela, Ph.D., Doc. Ing. Vojtěch Lukas, Ph.D., Prof. Ing. Mgr. Miroslav Trnka, Ph.D., Prof. Dr. Ing. Jan Mareš



Metodika je realizačním výstupem výzkumného projektu MZe ČR QK1810161 Udržitelná produkce ryb v rybnících v podmínkách klimatických změn (~90%) a projektu PROFISH (CZ.02.1.01/0.0/0.0/16_019/0000869) „Udržitelná produkce zdravých ryb v různých akvakulturních systémech“ (10%).

Oponenti:

Ing. Petr Janoušek – odborník v daném oboru, Rybářství Kardašova Řečice s.r.o.

Ing. Petr Chalupa, Ph.D. – posudek za státní správu, MZe, Odbor státní správy lesů, myslivosti a rybářství, Těšnov 17, Praha 1, 117 05

Smlouva o uplatnění metodiky:

Rybníkářství Pohořelice a.s., Vídeňská 717, 691 23 Pohořelice

Osvědčení o uznání uplatněné certifikované metodiky R25/2023 23238/2023 – MZE – 16232/N_{met} CERTIFIKOVANÁ METODIKA ze dne 20. 4. 2023

Vydalo:

Ministerstvo zemědělství, úsek lesního hospodářství, sekce lesního hospodářství, odbor státní správy lesů, myslivosti a rybářství, Těšnov 17, 117 05 Praha 1

Podíl autorů:

Prof. Ing. Radovan Kopp, Ph.D. (55%)

Marija Radojičić (15%)

Ing. Mgr. Lenka Kratochvílová (roz. Hadašová) (10%)

Ing. Jan Grmela, Ph.D. (5 %)

Doc. Ing. Vojtěch Lukas, Ph.D. (5%)

Prof. Ing. Mgr. Miroslav Trnka, Ph.D. (5%)

Prof. Dr. Ing. Jan Mareš (5 %)

Adresa autorského kolektivu:

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

Mendelova univerzita v Brně
ISBN 978-80-7509-918-1

Obsah:

I.	Cíl metodiky	4
II.	Popis metodiky	4
	Obsah rozpuštěného kyslíku ve vodě	4
	Metody měření koncentrace rozpuštěného kyslíku ve vodě	6
	Orientační stanovení koncentrace rozpuštěného kyslíku ve vodě	8
	Diurnální změny hodnot rozpuštěného kyslíku v intenzivně obhospodařovaných rybnících.	11
	Horizontální změny hodnot rozpuštěného kyslíku v obhospodařovaných rybnících.	16
	Příčiny vzniku kyslíkových deficitů v rybnících v důsledku nerovnováhy prostředí	18
	Spotřeba a produkce kyslíku v rybničním ekosystému	22
IV.	Srovnání novosti postupů	24
V.	Popis uplatnění metodiky	24
VI.	Ekonomické aspekty	24
	Poděkování	25
	Seznam použité literatury	26
	Seznam předcházejících publikací	28

I. Cíl metodiky

Cílem metodiky je poskytnout informace o metodách monitoringu a hodnocení rozpuštěného kyslíku ve vodě, který má významný vliv nejen na produkci ryb. Hodnoty rozpuštěného kyslíku, které se mohou výrazně měnit i v řádu minut, jsou stěžejním faktorem ovlivňujícím fungování rybníčních ekosystémů. Velké rozdíly v obsahu rozpuštěného kyslíku jsou nejen v průběhu dne a noci, ale i u hladiny a u dna a také v různých částech rybníka. Vysoké vstupy znečištění z povodí v uplynulých desetiletích způsobily enormní nárůst živin v rybnících, díky čemuž dochází v rybníčních ekosystémech k rozvoji vysokých biomas planktonních sinic, což vede k rozkolísání koncentrace rozpuštěného kyslíku ve vodě. Globální změna klimatu a s ní související stále rostoucí teplota vody vedou k urychlení a znásobení mikrobiálních procesů ve vodním prostředí, což nedostatek kyslíku ve vodě rybníků ještě více umocňuje.

II. Popis metodiky

Obsah rozpuštěného kyslíku ve vodě

Kyslík je nejvýznamnějším z rozpuštěných plynů ve vodě, která s ním netvoří iontové sloučeniny. Dostává se do vody jednak difúzí z atmosféry, jednak při fotosyntetické asimilaci vodních rostlin, sinic a řas. (Pitter, 2015). Množství kyslíku ve vodě značně ovlivňuje většinu biochemických procesů a často proto bývá limitujícím faktorem pro život různých organismů. Kyslík je nezbytný pro zajištění aerobních pochodů při čištění odpadních vod a je jedním z důležitých indikátorů čistoty povrchových vod. Nedostatek kyslíku zvyšuje škodlivost toxických látek na ryby, snižuje příjem potravy a tím ovlivňuje i kvalitu rybího masa jako potraviny. Množství rozpuštěného kyslíku ve vodě závisí na atmosférickém tlaku, koncentraci rozpuštěných látek a především na teplotě vody. S rostoucí teplotou se ve vodě rozpouští stále méně kyslíku (Heteša a Kočková, 1997).

Pro sledování obsahu rozpuštěného kyslíku ve vodě v podmínkách ČR lze faktor atmosférického tlaku a koncentrace rozpuštěných látek zanedbat. Množství kyslíku tak lze vztahovat pouze k teplotě vodního prostředí. Kyslíkové poměry se kromě koncentrace rozpuštěného kyslíku v mg.l^{-1} vyjadřují také procentem nasycení (Tab. č. 1). Voda nasycená na 100 % má obsah kyslíku odpovídající daným fyzikálním podmínkám (tj. teplotě, tlaku a množství rozpuštěných látek). V přírodních vodách dochází často ke značným odchylkám od 100% hodnot nasycení a to na obě strany. K přesycení vody kyslíkem může dojít při mimořádné turbulenci vody (přejeze, jezy, vodopády, aerační technika), při intenzivní fotosyntetické asimilaci primárních producentů a v intenzivních akvakulturních systémech při sycení vody čistým kyslíkem. V přirozených vodách se na odčerpávání rozpuštěného kyslíku podílí řada činitelů. Vedle dýchání živočichů a rostlin je to nejčastěji spotřeba kyslíku při rozkladu organické hmoty a vzestup teploty vody (Lellák a Kubíček, 1991).

Tabulka č. 1 Rovnovážná koncentrace kyslíku ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$) v destilované vodě, která je ve styku se vzduchem za dané teploty a standardního tlaku (101,3 kPa) (Elmore and Hayes 1960).

°C	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
0	14,65	14,61	14,57	14,53	14,49	14,45	14,41	14,37	14,33	14,29
1	14,25	14,21	14,17	14,13	14,09	14,05	14,02	13,98	13,94	13,90
2	13,86	13,82	13,79	13,75	13,71	13,68	13,64	13,60	13,56	13,53
3	13,49	13,46	13,42	13,38	13,35	13,31	13,28	13,24	13,20	13,17
4	13,13	13,10	13,06	13,03	13,00	12,96	12,93	12,89	12,86	12,82
5	12,79	12,76	12,72	12,69	12,66	12,62	12,59	12,56	12,53	12,49
6	12,46	12,43	12,40	12,36	12,33	12,30	12,27	12,24	12,21	12,18
7	12,14	12,11	12,08	12,05	12,02	11,99	11,96	11,93	11,90	11,87
8	11,84	11,81	11,78	11,75	11,72	11,70	11,67	11,64	11,61	11,58
9	11,55	11,52	11,49	11,47	11,44	11,41	11,38	11,35	11,33	11,30
10	11,27	11,24	11,22	11,19	11,16	11,14	11,11	11,08	11,06	11,03
11	11,00	10,98	10,95	10,93	10,90	10,87	10,85	10,82	10,80	10,77
12	10,75	10,72	10,70	10,67	10,65	10,62	10,60	10,57	10,55	10,52
13	10,50	10,48	10,45	10,43	10,40	10,38	10,36	10,33	10,31	10,28
14	10,26	10,24	10,22	10,19	10,17	10,15	10,12	10,10	10,08	10,06
15	10,03	10,01	9,99	9,97	9,95	9,92	9,90	9,88	9,86	9,84
16	9,82	9,79	9,77	9,75	9,73	9,71	9,69	9,67	9,65	9,63
17	9,61	9,58	9,56	9,54	9,52	9,50	9,48	9,46	9,44	9,42
18	9,40	9,38	9,36	9,34	9,32	9,30	9,29	9,27	9,25	9,23
19	9,21	9,19	9,17	9,15	9,13	9,12	9,10	9,08	9,06	9,04
20	9,02	9,00	8,98	8,97	8,95	8,93	8,91	8,90	8,88	8,86
21	8,84	8,82	8,81	8,79	8,77	8,75	8,74	8,72	8,70	8,68
22	8,67	8,65	8,63	8,62	8,60	8,58	8,56	8,55	8,53	8,52
23	8,50	8,48	8,46	8,45	8,43	8,42	8,40	8,38	8,37	8,35
24	8,33	8,32	8,30	8,29	8,27	8,25	8,24	8,22	8,21	8,19
25	8,18	8,16	8,14	8,13	8,11	8,10	8,08	8,07	8,05	8,04
26	8,02	8,01	7,99	7,98	7,96	7,95	7,93	7,92	7,90	7,89
27	7,87	7,86	7,84	7,83	7,81	7,80	7,78	7,77	7,75	7,74
28	7,72	7,71	7,69	7,68	7,66	7,65	7,64	7,62	7,61	7,59
29	7,58	7,56	7,55	7,54	7,52	7,51	7,49	7,48	7,47	7,45
30	7,44	7,42	7,41	7,40	7,38	7,37	7,35	7,34	7,32	7,31

Množství kyslíku ve vodě značně ovlivňuje většinu biochemických procesů a často proto bývá limitujícím faktorem pro život ryb. Pro kapra obecného je optimální obsah kyslíku během vegetačního období nad $6,5 \text{ mg.l}^{-1}$, obsah kyslíku $1,5\text{--}2,0 \text{ mg.l}^{-1}$ je již dlouhodoběji nepřijatelný. Spotřeba kyslíku rybami významně závisí na aktuálním fyziologickém stavu ryby. Stres nebo intenzivní metabolismus (po nakrmení) zvyšuje spotřebu kyslíku rybami 2-4 krát (Svobodová a kol., 1987; Palíková a kol., 2019).

Obsah kyslíku ve stojatých vodách je závislý především na fotosyntetické činnosti rostlin a dýchání všech organismů. Čím je voda na organizmy bohatší, tím výraznější je kolísání obsahu kyslíku během 24 hodin, i rozdíly v jednotlivých hloubkách. Zatímco povrchové vrstvy bývají přes den kyslíkem výrazně přesyceny v důsledku asimilační činnosti fytoplanktonu (naopak nízké koncentrace kyslíku v brzkých ranních hodinách) v hlubších vrstvách bývá kyslíku nedostatek, protože je tu málo světla, větší množství organické hmoty podléhající oxidaci a vysoká abundance drobných organismů (nálevníci, bičíkovci, bakterie), kteří kyslík spotřebovávají. Nařízení vlády č. 71/2003 Sb. v platném znění specifikuje hodnoty jakosti vod vhodných pro život ryb u rozpuštěného kyslíku pro vody kaprové nad $8,0 \text{ mg.l}^{-1}$ (přípustná hodnota nad $7,0 \text{ mg.l}^{-1}$) a pro vody lososové nad $9,0 \text{ mg.l}^{-1}$. V případě poklesu kyslíku pod $6,0 \text{ mg.l}^{-1}$, je nutno zkoumat, zda tato situace nebude mít škodlivé důsledky na rybí populaci. Nařízení vlády č. 401/2015 Sb. uvádí obecný požadavek přípustné hodnoty znečištění povrchových vod pro všechny typy vod, kdy hodnota nasycení vody kyslíkem by neměla klesat pod $9,0 \text{ mg.l}^{-1}$.

Metody měření koncentrace rozpuštěného kyslíku ve vodě

Kyslík je nutno stanovit nebo alespoň fixovat na místě odběru vzorku, přičemž je nezbytné zaznamenat i teplotu vody. V současnosti je nejběžnějším způsobem stanovení obsahu rozpuštěného kyslíku vyžití automatických analyzátorů se sondou založených na elektrochemickém nebo optickém principu měření. Elektrochemické (potenciometrické) sondy jsou složeny ze dvojice elektrod (indikační a referenční), které jsou od prostředí odděleny tenkou membránou z plastu. Membrána propouští kyslík, který se na povrchu elektrody redukuje na hydroxidové ionty. Proud procházející systémem je úměrný parciálnímu tlaku kyslíku rozpuštěného ve vodě. Elektrický signál sondy je závislý na teplotě a obsahu rozpuštěných látek. Stanovení ruší další plyny rozpuštěné ve vzorku.

Vlastní práce s membránovou sondou a měřičem kyslíku závisí na typu použitého přístroje. Nejlevnější varianty přístrojů ke stanovení obsahu rozpuštěného kyslíku většinou vyžadují dvoubodovou kalibraci (0% a 100% nasycení). Kalibrace pro 100% nasycení vody kyslíkem je jednoduše proveditelná (viz dále). K nulové kalibraci potřebujeme roztok s nulovou koncentrací kyslíku. Lze využít komerčně dostupné roztoky nebo použít přibližně 5% roztok siřičitanu sodného nebo draselného. Roztok má omezenou trvanlivost a je vhodné ho pro každou kalibraci míchat čerstvý. Nejlevnější modely oxymetrů na trhu svojí cenou nepřesahují dva tisíce korun (Obr. č. 1).

Běžně využívané moderní přístroje (WTW, Hanna, Hach, Gryf, aj.) vyžadují kalibraci sondy v kalibrační nádobce při 100% vzdušné vlhkosti nebo jen volně na vzduchu. Jde o nádobku s hubkou (molitanem) namočenou ve vodě k vytvoření 100% vlhkosti. Sonda v nádobce by neměla být v přímém kontaktu s vodou (kapky vody na membráně zkreslují kalibraci). Přístroje mají zabudovanou kompenzaci na atmosférický tlak, vlastní teplotní čidlo

a možnost nastavení salinity vody při měření v hypersalinním prostředí (např. mořská voda). Sonda se ponoří do měřeného prostředí tak, aby se na ní nezachytily bublinky vzduchu. Důležitou podmínkou měření je zajištění pohybu měřené vody okolo membrány. Pokud neměříme v tekoucí vodě, musíme sondou pohybovat rychlostí cca $0,3-0,4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Po ustálení signálu měřicího čidla odečteme výslednou hodnotu z displeje přístroje. Toto ustálení je dosaženo obvykle za dobu 2 až 3 minut. Jestliže je odezva přístroje nestálá, nebo vzhledem k údajům dodávaným výrobcem příliš zdlouhavá, je třeba vyměnit elektrolyt nebo membránu, případně obojí. Cena takových oxymetrů se pohybuje v rozmezí od několika tisíc až po několik desítek tisíc korun (obr. č. 2).



Obr. č. 1 Levné analyzátoři rozpuštěného kyslíku s membránovou sondou

Přístroje na principu optického měření koncentrace rozpuštěného kyslíku mají z pohledu uživatele celou řadu výhod. Neobsahují mechanicky choulostivou membránu a agresivní elektrolyt, měření je nezávislé na rychlosti průtoku média, přítomnost dalších plynů a organických látek nemá žádný vliv na přesnost měření. Přístroj se nemusí v pravidelných intervalech kalibrovat, trvale je sledována správná funkce senzoru, občas se mění jen měřící hlavice jako celek. Optické sondy pracují na principu fotodiód emitujících modré a červené světlo. Ke zjištění koncentrace rozpuštěného kyslíku se velmi přesně měří časový posun mezi impulzy modrého a červeného světla, který je závislý na koncentraci kyslíku v měřeném médiu (Kabeš, 2007; Tillich 2007). Cena těchto přístrojů je lehce vyšší než u přístrojů s membránovými sondami, ale vzhledem k jejich uživatelské přívětivosti je v provozu rychle nahrazují (obr. č. 3).

V poslední době lze hodnoty rozpuštěného kyslíku včetně dalších parametrů sledovat kontinuálně pomocí automatického měřicího zařízení SmonOX. Sonda se po každém měření automaticky čistí, každý den automaticky kalibruje. Zařízení zasílá také informace o své přesné

GPS poloze, stavu nabití baterie a lze jej jednoduše ovládat pomocí aplikace v telefonu nebo na počítači (obr. č. 4).

Ke stanovení rozpuštěného kyslíku se stále užívá i klasická jodometrická metoda. Kyslík rozpuštěný ve vzorku vody reaguje v alkalickém prostředí s hydroxidem manganatým za vzniku hnědě zbarvené sraženiny vícemocných sloučenin manganu. Po okyselení vzorku přechází mangan s vyšším oxidačním číslem v přítomnosti jodidu zpět na iont manganatý, přičemž se uvolní takové množství jódu, které je ekvivalentní množství rozpuštěného kyslíku obsaženého ve vodě. Uvolněný jód se titruje odměrným roztokem thiosíranu sodného na škrob jako indikátor. Přes nesporné přednosti elektrochemických a optických metod stanovení kyslíku se jodometrická metoda stále využívá pro stanovení rozpuštěného kyslíku jako metoda rozhodčí a ke kalibraci kyslíkových sond.



Obr. č. 2 Analyzátory rozpuštěného kyslíku s membránovou sondou



Obr. č. 3 Analyzátoři rozpuštěného kyslíku s optickou sondou

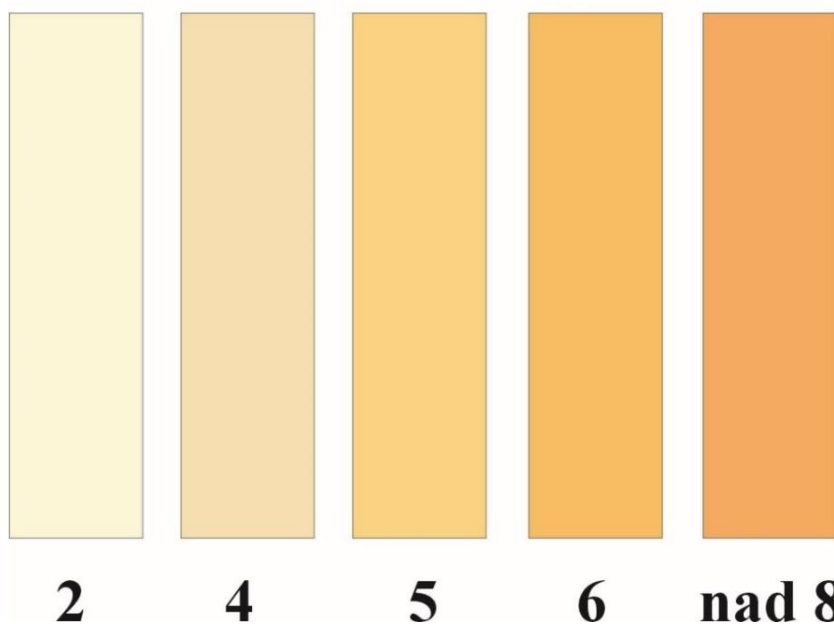


Obr. č. 4 Plovoucí automatický analyzátor rozpuštěného kyslíku (<https://www.smonox.cz/>)



Obr. č. 5 lahvičky pro stanovení koncentrace rozpuštěného kyslíku

Koncentrace rozpuštěného kyslíku v mg.l⁻¹



Obr. č. 6 Barevná škála pro stanovení přibližné koncentrace rozpuštěného kyslíku (mg.l⁻¹) na základě zbarvení sraženiny vícemocných sloučenin manganu

Orientační stanovení koncentrace rozpuštěného kyslíku ve vodě

Odebereme zkoumaný vzorek vody do skleněné (průhledné plastové) lahvičky tak, abychom zamezili kontaktu se vzdušným kyslíkem. Vhodné jsou lahvičky se širokým hrdlem a malým otvorem pro přidání chemikálií (Obr. č. 5). Lahvičky po naplnění uzavíráme ještě pod vodní hladinou. K odebranému vzorku pak přidáme 1 ml (25 kapek) činidla č. 1 (síran manganatý) a 1 ml (25 kapek) činidla č. 2 (hydroxid sodný s jodidem draselným). Vzorek se dobře promíchá a vzniklá sraženina se porovná s barevnou škálou (Obr. č. 6) dle které lze přibližně určit koncentraci rozpuštěného kyslíku ve vodě.

Činidla :

(1) *Síran manganatý*, srážecí roztok: 48 g MnSO₄.4H₂O nebo 42,5 g MnCl₂.4H₂O se rozpustí v destilované vodě a doplní na 100 ml.

(2) *Hydroxid s jodidem draselným*, srážecí roztok: 40 g NaOH nebo 57 g KOH se rozpustí spolu s 31,5 g KI v destilované vodě a doplní na 100 ml.

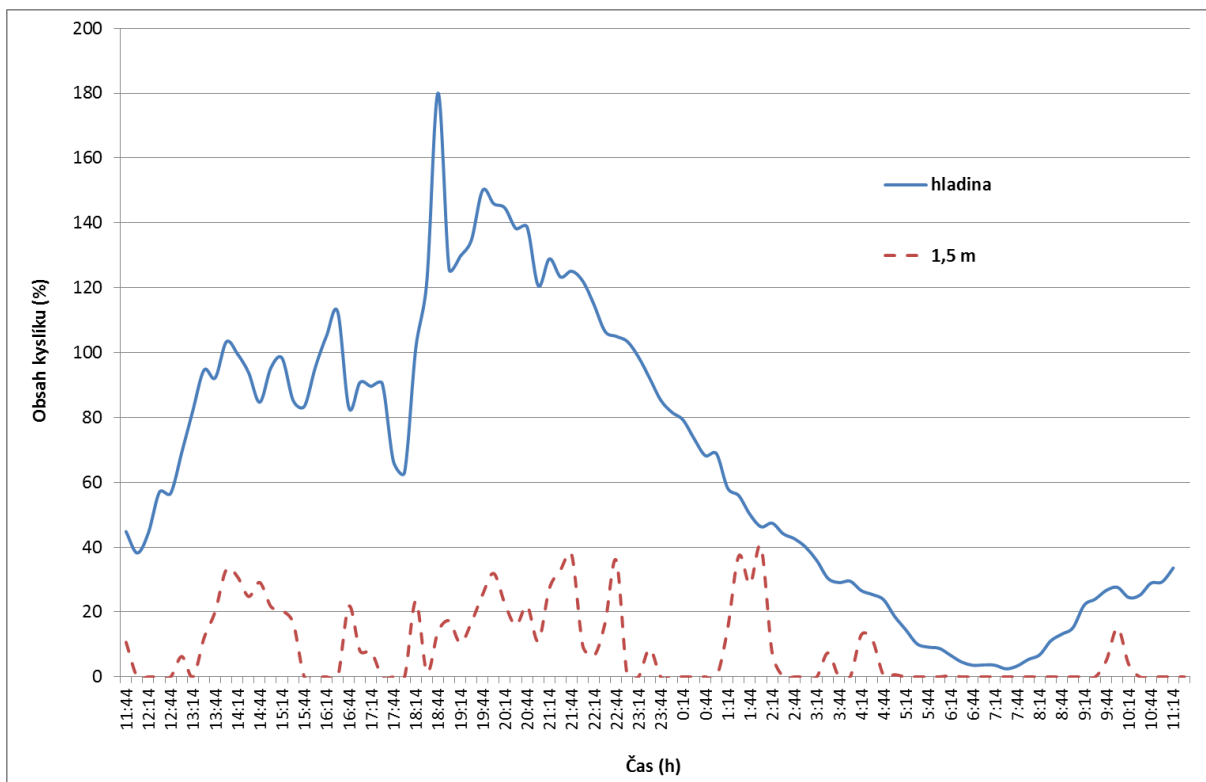
Pro běžný monitoring obsahu rozpuštěného kyslíku při chovu ryb v provozních podmínkách toto orientační stanovení na základě intenzity vybarvení vzniklé sraženiny dostačuje. Cena jednoho stanovení se pohybuje kolem 3,00 Kč.

Diurnální změny hodnot rozpuštěného kyslíku v intenzivně obhospodařovaných rybnících.

Hlavním dodavatelem kyslíku do vody rybníků jsou vodní rostliny, především fytoplankton. Současná situace v celé řadě rybníčních ekosystémů je charakteristická jeho vysokou biomasou. Tato situace nastává často již v předjarním období a kulminuje

v nejteplejších měsících roku. Vysoká biologická aktivita biomasy fytoplanktonu je pak často příčinou destabilizace ekosystému, spojená se značným rozkolísáním klíčových parametrů vodního prostředí (rozpuštěný kyslík, pH, toxický amoniak). Výrazně se tak zvyšuje pravděpodobnost vzniku situací, kdy některé parametry překročí kritické hodnoty často s fatálními důsledky pro rybníční ekosystém. Tyto fluktuace jsou přirozenou reakcí na vysokou a nerovnovážnou živinovou zátěž a chování celého ekosystému se stává obtížně předpověditelné (Adámek a kol., 2010).

Rozpuštěný kyslík v rybnících během dne a noci výrazně kolísá především v závislosti na intenzitě fotosyntézy. Obdobím s nejnižším obsahem rozpuštěného kyslíku jsou brzké ranní hodiny, než se rozběhne fotosyntéza, která má určité zpoždění po rozednění v závislosti především na teplotě vody (v chladnějším období je rozjezd fotosyntézy pomalejší). Nejkritičtějším obdobím v průběhu roku bývá konec srpna a měsíc září, kdy v důsledku intenzivní respirace planktonu a sedimentů při přetrvávajících vyšších teplotách vody a snížení intenzity fotosyntézy kvůli markantnímu zkrácení světelné periody, může v noci dojít k poklesu koncentrace kyslíku až na hodnoty kritické pro přežití rybí obsádky (Pechar a kol., 2002). Z hlediska vertikálního gradientu je při vyšší úrovni trofie i přes malou hloubku rybníků patrné výrazné přesycení povrchových vrstev vody kyslíkem ve světlé části dnů v důsledku intenzivní asimilační činnosti fytoplanktonu. U dna naopak bývá kyslíku nedostatek, protože je zde nedostatek světla a zvýšený obsah organické hmoty v bahně podléhá bakteriálnímu rozkladu, spojenému s kontinuálním odčerpáváním kyslíku (Adámek a kol., 2010).

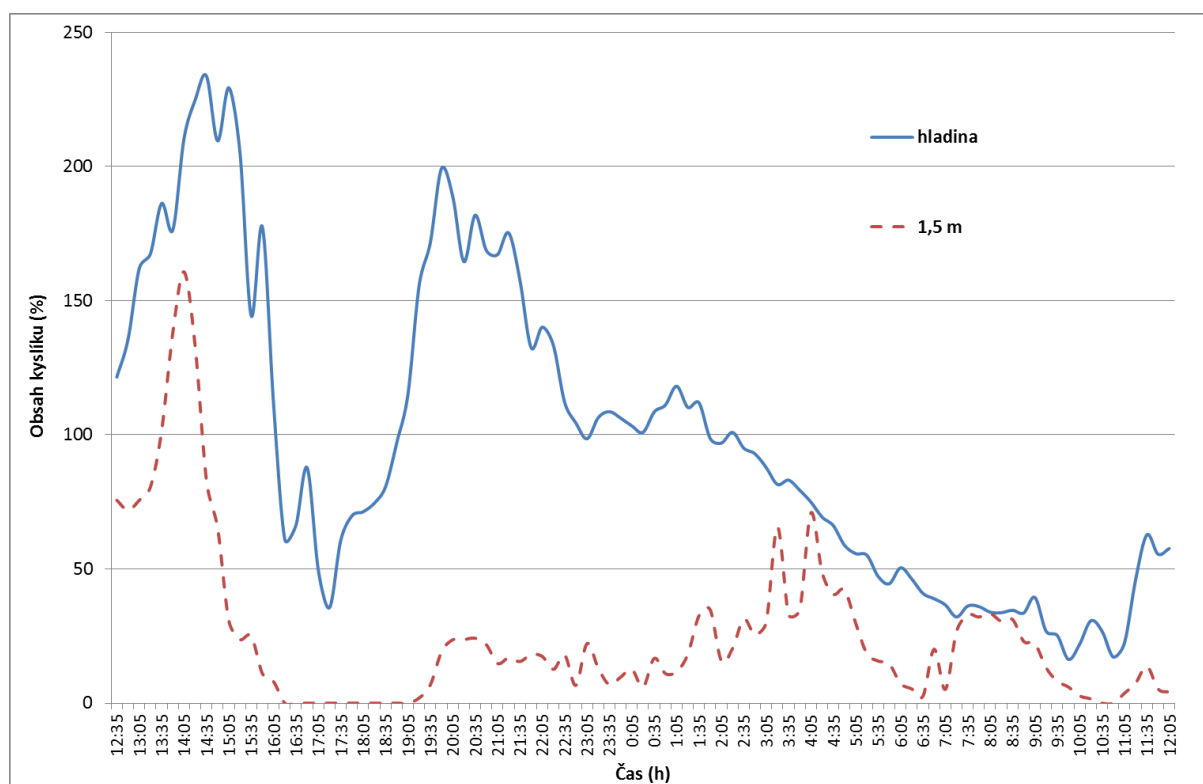


Graf č. 1 Obsah rozpuštěného kyslíku na rybníce v období měsíce srpna

Všechny uvedené grafy (č.1 až 4) ukazují křivky kyslíku u rybníků obhospodařovaných s vysokou intenzitou, kdy hlavní chovanou rybou byl kapr obecný, produkce z 1 ha přesahovala

1000 kg a ryby byly přikrmovány obilninami. Dominantními zástupci fytoplanktonu byly především vláknité druhy sinic ve vysoké biomase, průhlednost vody byla nízká a pohybovala se v intervalu 20-40 cm. Sledování probíhalo v srpnu, kdy celou dobu sledování bylo slunečno, bez srážek, s teplotami vzduchu dosahujícími až 35 °C ve stínu a teplotami vody nad 25°C. Druhý termín sledování byl v říjnu, kdy maximální denní teploty nepřesahovaly 15 °C ve stínu, teplota vody kolísala od 13 do 18 °C, po většinu sledovaného období bylo zataženo s dešťovými přeháňkami.

Standardní křivka kolísání obsahu rozpuštěného kyslíku v průběhu 24 hodin na rybnících, která je prezentována v hydrobiologické literatuře (např. Heteša a Sukop, 1985) standardně jako plynulá sinusoida pouze s výraznými rozdíly v závislosti na světelných podmínkách v průběhu dne. V době realizace těchto výzkumů nebyly k dispozici moderní přístroje ke stanovení rozpuštěného kyslíku pomocí membránové nebo optické sondy a obsah kyslíku byl stanovován pomocí Winklerovy metody v časových intervalech 1-2 hodiny, což neumožňovalo zaznamenat krátkodobé výkyvy sledovaných hodnot. Rovněž intenzita rybářské produkce byla na nižší úrovni než v současnosti.

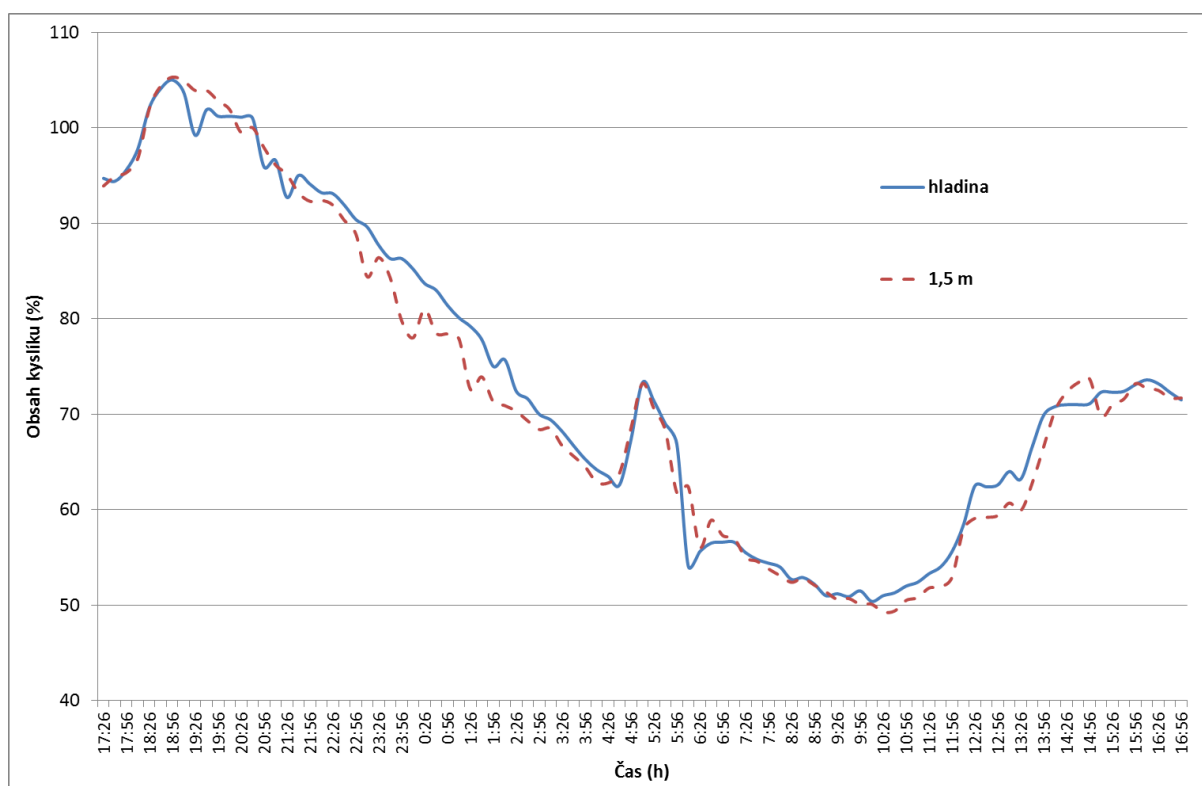


Graf č. 2 Obsah rozpuštěného kyslíku na rybníce v období srpna při provozu aeračního zařízení (kesener) 13 až 18 hod.

Naše sledování (Graf č. 1) ukázalo výrazné rozdíly v hodnotách kyslíku u hladiny ve srovnání s hodnotami naměřenými v hloubce 1,5 m, především u sledování prováděném v nejteplejších měsících roku. Z grafů je patrné, že změny v hodnotách obsahu kyslíku mohou výrazně kolísat i v rámci krátkého časového intervalu. Hodnoty rozpuštěného kyslíku v ranních hodinách jsou většinou extrémně nízké kolem 10 % nasycení, v hloubce 1,5 m často pod hranici měřitelnosti.



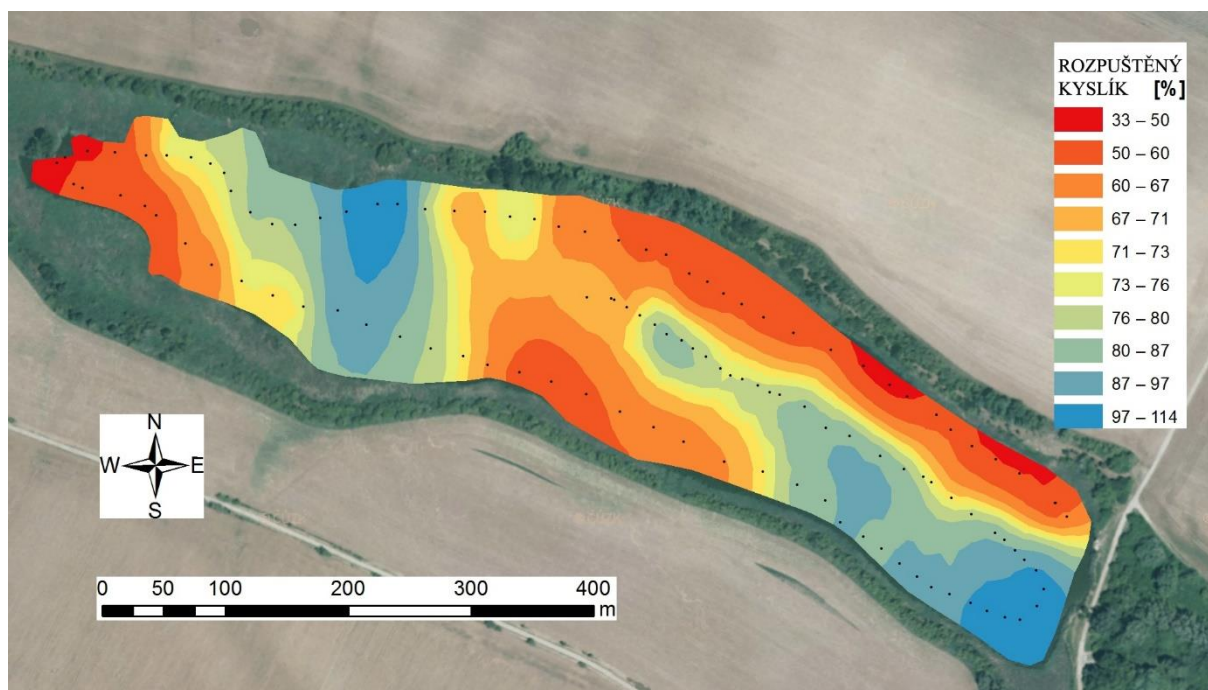
Graf č. 3 Obsah rozpuštěného kyslíku na rybníce v období měsíce října



Graf č. 4 Obsah rozpuštěného kyslíku na rybníce v období měsíce října při dešťové přehánce

Druhý sledovaný rybník (Graf č. 2) ukazuje vliv provozu aerační techniky na rybníce v podmínkách intenzivní fotosyntézy. Po zapnutí aerátoru se teplejší voda s vysokým obsahem

kyslíku dostala do spodních vrstev, kde způsobila krátkodobé skokové zvýšení hodnot a pak díky nižší teplotě a hlavně výrazně nižší intenzitě světla došlo k depresi fotosyntézy a poklesu hodnot. Naopak mírně studenější a na kyslík chudá voda se dostala do povrchové vrstvy, kde byla rovněž mnohem vyšší intenzita světelného záření. Hodnoty kyslíku tak prudce klesly a začaly stoupat až po adaptaci primárních producentů na změnu podmínek. Nasycení vody kyslíkem se tak v rybníce u hladiny během dvou hodin snížilo z hodnot nad 200% pod 50% nasycení.



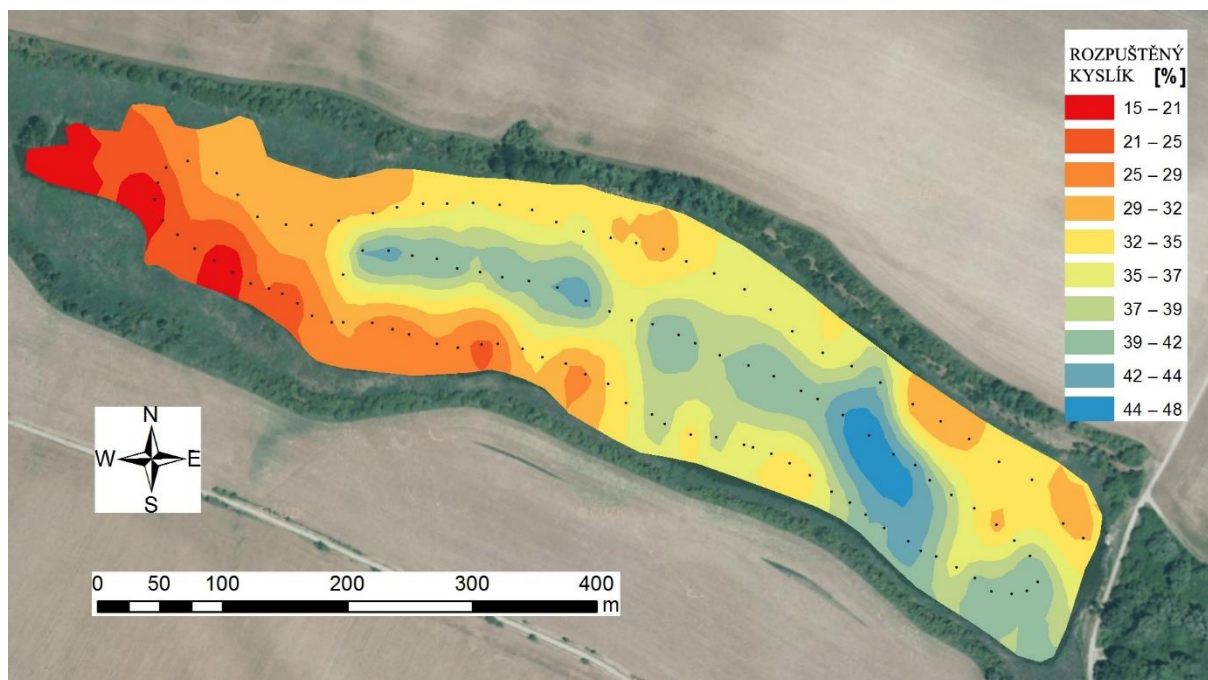
Obr. č. 7 Obsah rozpuštěného kyslíku (%) v hladinové vrstvě rybníka v dopoledních hodinách (teplota vody 18,6 až 20,6 °C).

Z podzimního sledování nasycení vody kyslíkem u rybníků (Grafy č. 3 a 4) je zjevné, že se stírají rozdíly mezi hodnotami ve vertikálním profilu rybníka. Přestože již v říjnu byly mnohem horší světelné podmínky pro fotosyntézu a teplota vody kolísala mezi 10-15 °C, bylo nasycení vody kyslíkem v odpoledních hodinách stále vysoké a dosahovalo hodnot přes 120 %.

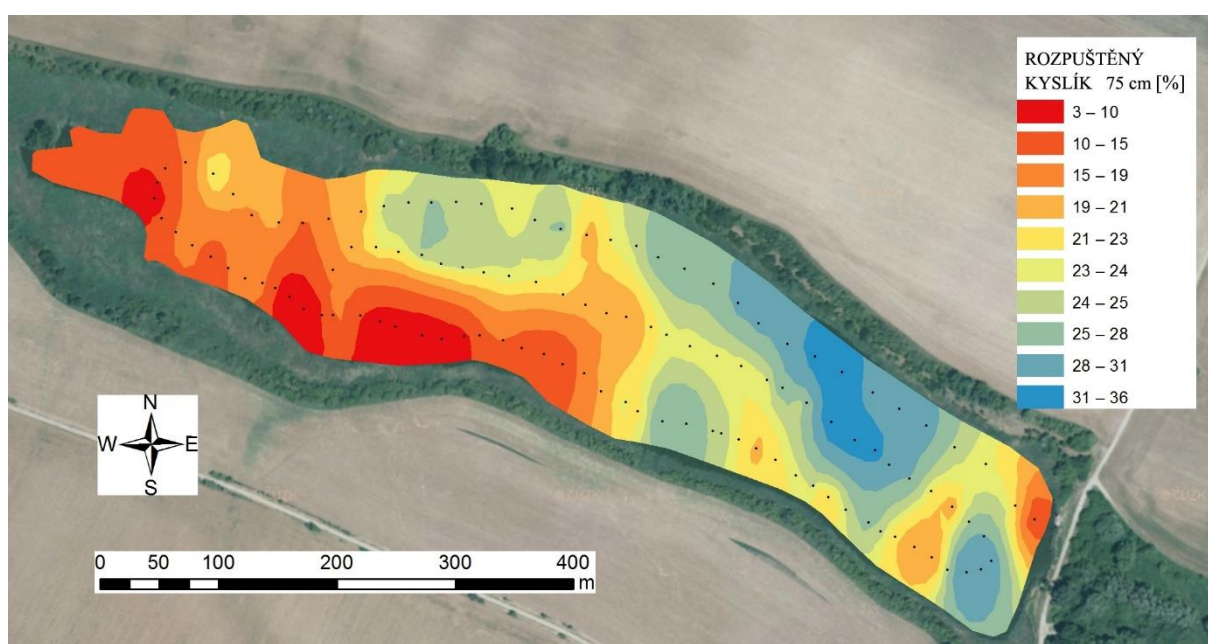
Druhý sledovaný rybník nedosahoval na podzim tak vysokých hodnot nasycení, což bylo způsobeno nepříznivým počasím s vydatnými srážkami v průběhu sledování. Obsah kyslíku se tak zvyšoval velmi pozvolně a v odpoledních hodinách dosahoval hodnot jen mírně nad 70% nasycení. Zvýšení obsahu kyslíku cca mezi 4:30 až 6:30 je způsobeno srážkovou činností, kdy v závislosti na intenzitě srážek může docházet ke změnám v obsahu rozpuštěného kyslíku.

Z prezentovaných křivek kolísání obsahu rozpuštěného kyslíku v průběhu dne a noci, je patrné výrazné kolísání parametrů i v relativně krátkém časovém intervalu. V letním období jsou rovněž výrazné rozdíly sledovaných hodnot ve vertikálním profilu. Tyto skutečnosti je nutno brát v potaz při kontrole těchto parametrů v rybářském provozu, kdy vlastní měření je realizováno v nepravidelných intervalech a v naprosté většině případů pouze v povrchové vrstvě vody. Díky možným výrazným rozdílům především rozpuštěného kyslíku v průběhu

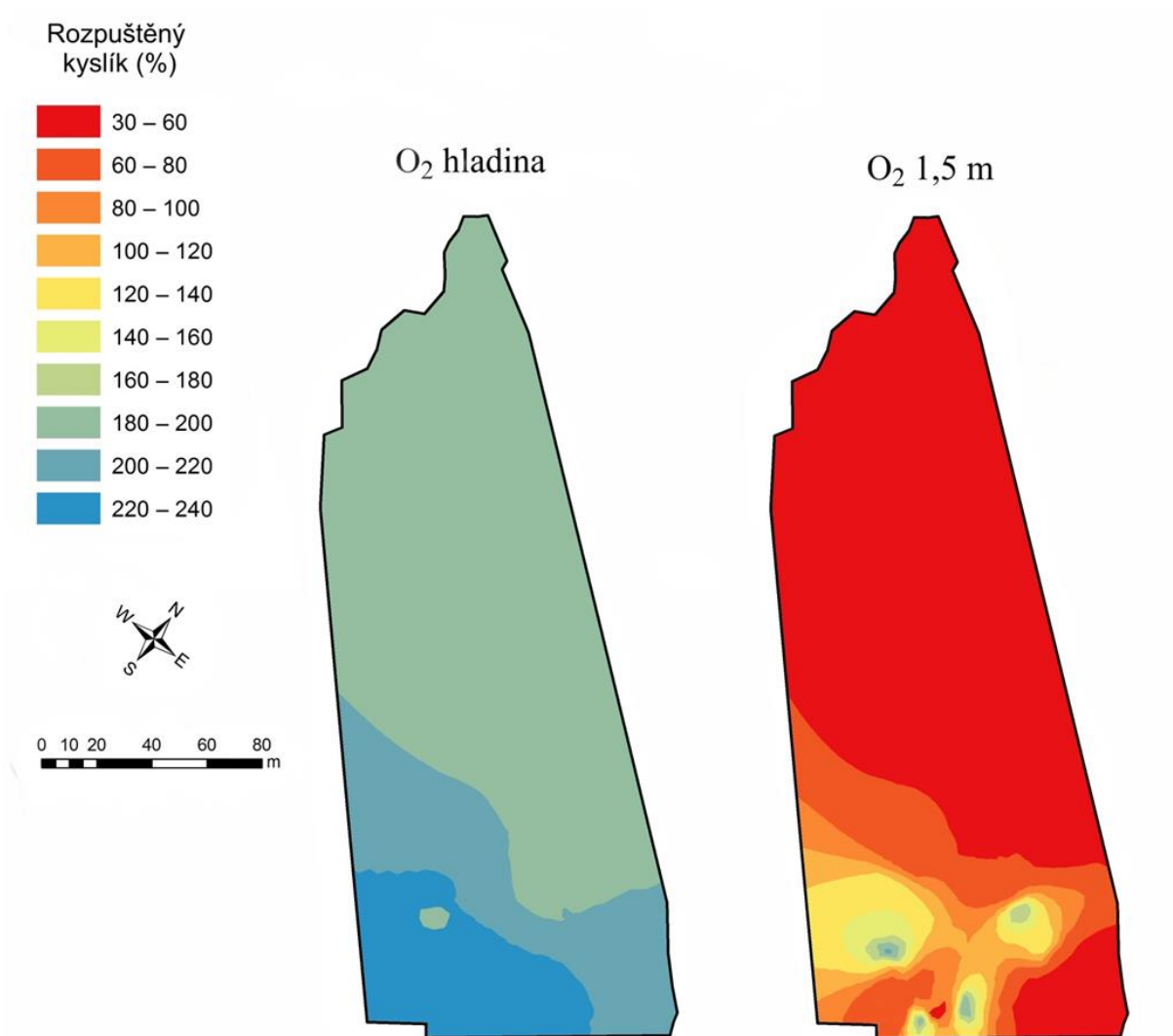
dne, je nutné naměřené hodnoty správně vyhodnotit a minimalizovat tak možné úhyny ryb z důsledku kyslíkových deficitů. V intenzivně obhospodařovaných rybnících s pravidelným přikrmováním ryb má své opodstatnění i monitoring rozpuštěného kyslíku ve větších hloubkách u dna, kde jak je patrné, jsou časté i nulové koncentrace. Při nízkých hodnotách kyslíku u dna lze pak vhodně zvolenou krmnou strategií maximalizovat využití předkládaných krmiv a omezit potenciaální ohrožení rybí obsádky kyslíkovými deficity.



Obr. č. 8 Obsah rozpuštěného kyslíku (%) v hladinové vrstvě rybníka v ranních hodinách (teplota vody 23,1 až 24,2 °C).



Obr. č. 9 Obsah rozpuštěného kyslíku (%) v hloubce 75 cm na rybníce v ranních hodinách (teplota vody 22,9 až 24,1 °C). Měřeno ve stejnou dobu jako obr. č. 7.



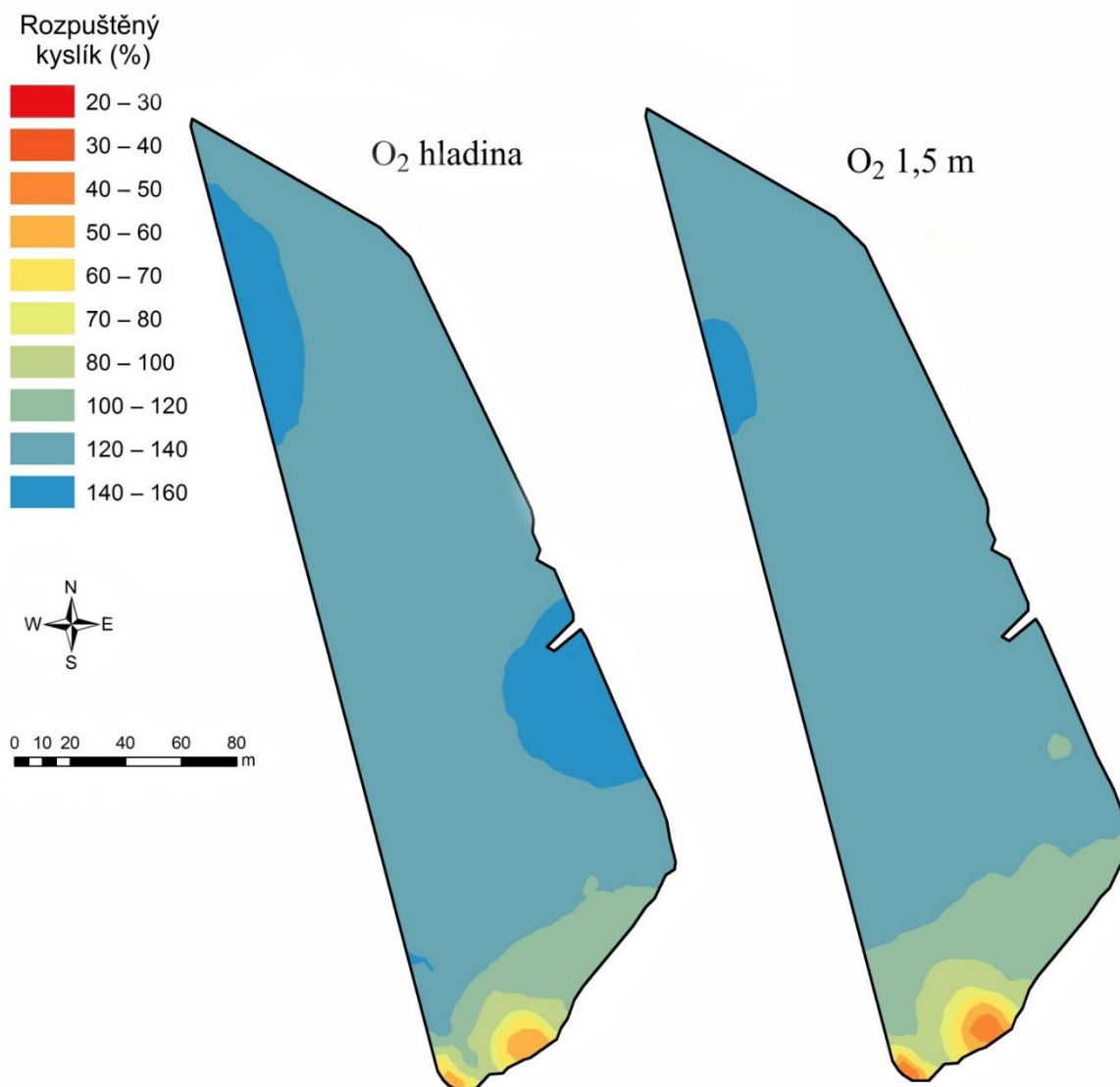
Obr. č. 10 Obsah rozpuštěného kyslíku (%) v hladinové vrstvě a u dna rybníka v odpoledních hodinách (průměrná teplota vody 29,6 °C).

Horizontální změny hodnot rozpuštěného kyslíku v obhospodařovaných rybnících.

Koncentrace rozpuštěného kyslíku se často liší i v různých částech rybníka. Výrazné změny v jeho koncentraci může způsobit např. návátí biomasy sinic na návětrnou stranu rybníka nebo intenzivní spotřeba kyslíku sedimenty v mělčích částech rybníka při vysokých teplotách vody. Rozdíly v koncentracích kyslíku mohou být značné, kdy na jedné straně rybníka se blíží kyslíkovému deficitu a na druhé straně dochází k přesycení. Příklad horizontální rozložení koncentrace rozpuštěného kyslíku v rybníce je zobrazeno na obr. 6 až 10.

Rybářské hospodaření svou činností může mít na koncentraci rozpuštěného kyslíku výrazný vliv. Krmná místa v rybnících mají často odlišné kyslíkovými poměry ve srovnání se zbytkem rybníka. Vyšší koncentrace ryb na krmišti má vyšší spotřebu kyslíku, při příjmu krmiva dochází ke zvěření sedimentů, snížení průniku světla a tím i k omezení fotosyntetické činnosti fytoplanktonu. Na krmném místě tak standardně dochází k poklesu koncentrace

kyslíku, jak ukazuje obr. č. 11. Koncentraci kyslíku ve vodě ovlivňují i další činnosti prováděné v rámci rybářského obhospodařování rybníků jako je aplikace hnojiv nebo manipulace s vodní hladinou.



Obr. č. 11 Obsah rozpuštěného kyslíku (%) v hladinové vrstvě a u dna rybníka v dopoledních hodinách (průměrná teplota vody 28,3 °C). V jižní části rybníka se nachází krmné místo.

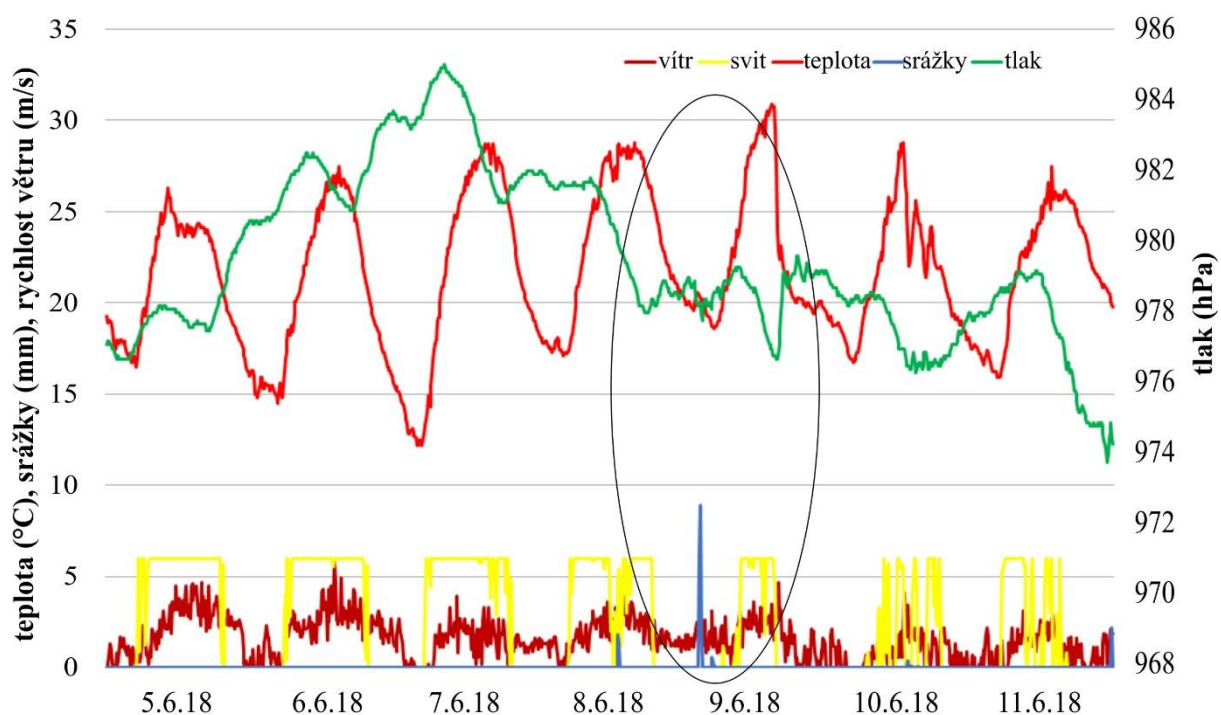
Příčiny vzniku kyslíkových deficitů v rybnících v důsledku nerovnováhy prostředí

V posledních dekádách, díky nastupující klimatické změně, dochází ke zvyšování průměrných teplot vody rybníků a častějším výskytům extrémních klimatických jevů (přívalové srážky, dlouhodobé období sucha aj.), což vede k ještě významnějším fluktuacím v obsahu rozpuštěného kyslíku a častějším výskytům kyslíkových deficitů. Množství kyslíku ve vodě závisí především na intenzitě fotosyntézy, což způsobuje značné rozdíly v jeho koncentracích i v řádu minut a stanovení obsahu je proto nutno provádět přímo na lokalitě. Aktuální koncentrace kyslíku ve vodě tak závisí na abundanci primárních producentů, klimatických podmínkách, dostupnosti živin a řadě dalších faktorů. Predikovat obsah kyslíku ve vodě

(především deficitní stavy) by bylo z hlediska rybářského obhospodařování rybníků velmi přínosné, ale vzhledem k výše uvedeným faktům je tato predikce značně problematická a díky často omezenému množství potřebných dat o sledované lokalitě, i s vysokou mírou nejistoty. V další části této kapitoly uvádíme několik reálných úhynů většího množství ryb na rybnících v důsledku nedostatku kyslíku.

Rybník Vlkava se nachází ve Středočeském kraji, jižně od Mladé Boleslavi. Leží v nadmořské výšce 200 m n. m. a vodní plocha dosahuje rozlohy 22,1 ha. Rybník je využíván k chovu tržních ryb s kaprem jako hlavním chovaným druhem a je loven každoročně. V roce 2018 byla produkce ryb pod 1000 kg.ha⁻¹. Úhyn ryb v důsledku deficitu kyslíku byl na rybníce zaznamenán od 9. 6. 2018.

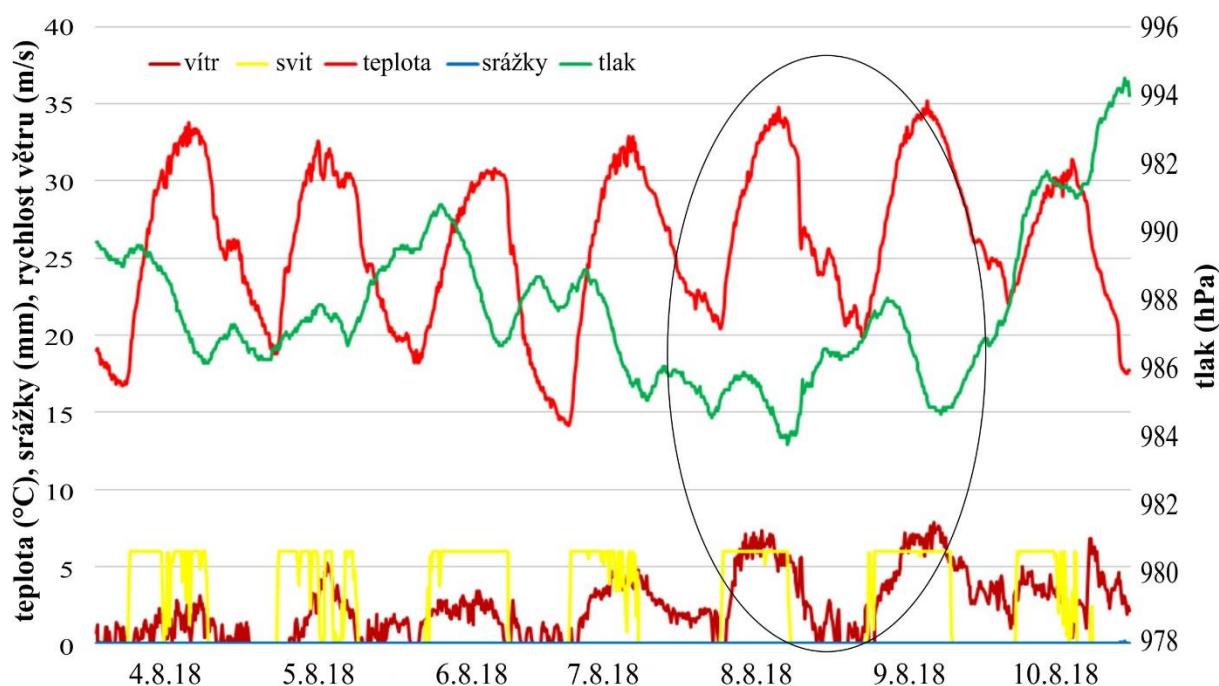
Spouštěcím faktorem byl přechod studené fronty s bouřkovou činností, krátkodobým intenzivním deštěm, poklesem tlaku a vysokou teplotou vzduchu (Graf č. 5). Hlavní příčinou kyslíkového deficitu pravděpodobně byla dominance vláknitých sinic ve vysoké abundanci (přes milion buněk v 1 ml), především druhu *Planktothrix agardhii*. Již den po počátku úhynu ryb klesla abundance sinic a řas pod 100 tisíc buněk v 1 ml. Rybník byl rovněž bohatý na organické látky a fosfor, nízká byla průhlednost vody a obsah dusičnanů pod limitem detekce. Analýzy sedimentů rybníka ukázaly vysoký obsah nutrientů, především dostupného amoniakálního dusíku a celkového fosforu.



Graf č. 5 Klimatické faktory na rybníce Vlkava v období úhynu ryb (černý ovál).

Rybník Nesyt (289,7 ha, reálně využitelná 250 ha) je největším rybníkem jižní Moravy a je součástí Lednicko-Valtické soustavy. Leží v nadmořské výšce 170 m n. m. mezi městy Mikulov a Valtice. Rybník je využíván k chovu tržních ryb s kaprem jako hlavním chovaným druhem většinou ve dvouhorkovém systému. V roce 2018 byla produkce ryb pod 500 kg.ha⁻¹ (v roce 2018 nebyl rybník loven, odhad produkce na základě výlovu v roce 2019). Úhyn ryb v důsledku deficitu kyslíku byl na rybníce zaznamenán od 8. 8. 2018.

Při pohledu na klimatické podmínky v kritickém období (Graf č. 6) je zjevné, že v období úhynu nedošlo k žádné významné změně ve sledovaných klimatických faktorech mimo zvýšení intenzity větru. Toto zvýšení intenzity větru, ale pravděpodobně v kombinaci s dalšími faktory stačilo k promíchání větší vrstvy vody rybníka a způsobilo nedostatek kyslíku. Dalšími faktory byla výrazně nižší vodní hladina (více než 1 m oproti normálu) dlouhodobé období vysokých teplot vzduchu a vody a vysoká biomasa vodního květu sinic a submerzních makrofyt.



Graf č. 6 Klimatické faktory na rybníce Nesyt v období úhynu ryb (černý ovál).

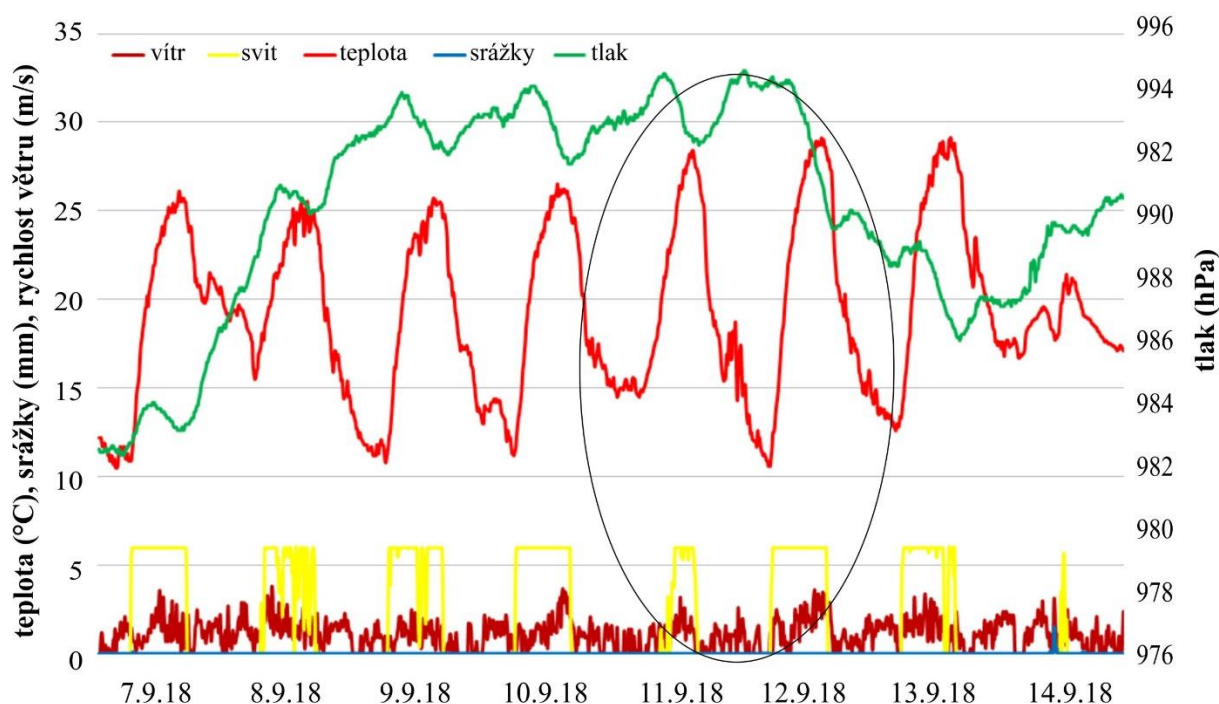
Ve fytoplanktonu opět zcela dominovaly vláknité sinice (13. 8. 2018 skoro dva miliony buněk v 1 ml). Dominantními druhy sinic byly *Cylindrospermopsis raciborskii*, *Pseudanabaena limnetica*, *Sphaerospermopsis aphanizomenoides* a *Anabaenopsis elenkinii*. Rybník byl rovněž bohatý na organické látky a fosfor, nízká byla průhlednost vody a obsah dusičnanů pod limitem detekce. Analýzy sedimentů rybníka ukázaly na vysoký obsah nutrientů, především dostupného amoniakálního dusíku, organických látek a celkového fosforu.

Rybník Kurdějovský je situován východně od Hustopečí v nadmořské výšce 200 m n. m. a vodní plocha dosahuje rozlohy 6,6 ha. Rybník je využíván k odchovu plůdku a násadových ryb s kaprem jako hlavním chovaným druhem a je loven každoročně. V roce 2018 byla produkce ryb pod 1000 kg.ha⁻¹. Úhyn ryb v důsledku deficitu kyslíku byl na rybníce zaznamenán od 11. 9. 2018.

Klimatické podmínky na rybníce byly stabilní, vysoká teplota vzduchu a dostatek slunečního svitu pro fotosyntézu (Graf č. 7). Obdobně jako u ostatních rybníků s úhynem ryb byla na rybníce nízká průhlednost vody, dusičnany pod limitem detekce a vysoký obsah organických látek. Ve fytoplanktonu dominovaly vláknité sinice především druh *Planktothrix agardhii* s abundancí cca 300 tisíc buněk v 1 ml. Sedimenty rybníka byly rovněž bohaté na

obsah nutrientů, vysoký byl podíl především dostupného amoniakálního dusíku a celkového fosforu.

V planktonu rybníka se v době úhynu ryb vyskytovalo velké množství nálevníků, kteří byli pozorovatelní i pouhým okem. Vysoká biomasa nálevníků společně s ostatními organizmy mohli být díky své vysoké respiraci jednou z příčin deficitu kyslíku. Dostatek dobře rozložitelných látek v rybníce Kurdějovský signalizuje i vysoká hodnota BSK₅ (12. 9. 2018, 46,37 mg.l⁻¹). Maximální hodnota nasycení vody kyslíkem naměřená na rybníce v období úhynu byla 1,2 %.



Graf č. 7 Klimatické faktory na rybníce Kurdějovský v období úhynu ryb (černý ovál).

Dvorský rybník je situován západně od Hodonína v nadmořské výšce 170 m n. m. a vodní plocha dosahuje rozlohy 29,9 ha. Rybník je využíván k chovu tržních ryb s kaprem jako hlavním chovaným druhem a je loven každoročně. V roce 2019 byla produkce ryb pod 500 kg.ha⁻¹. Úhyn ryb v důsledku deficitu kyslíku byl na rybníce zaznamenán od 14. 6. 2019.

Klimatické podmínky v době úhynu (Graf č. 8) ukazují rychlý nárůst hodnot tlaku vzduchu. V období před úhynem bylo několik dní stabilní počasí s intenzivním slunečním svitem a vysokou teplotou vzduchu nad 30 °C. Díky tomu došlo i k výraznému zvýšení teploty vody na rybníce, která v době úhynu ryb dosahovala na hladině 29,6 °C (v hloubce 1 m 28,4 °C).

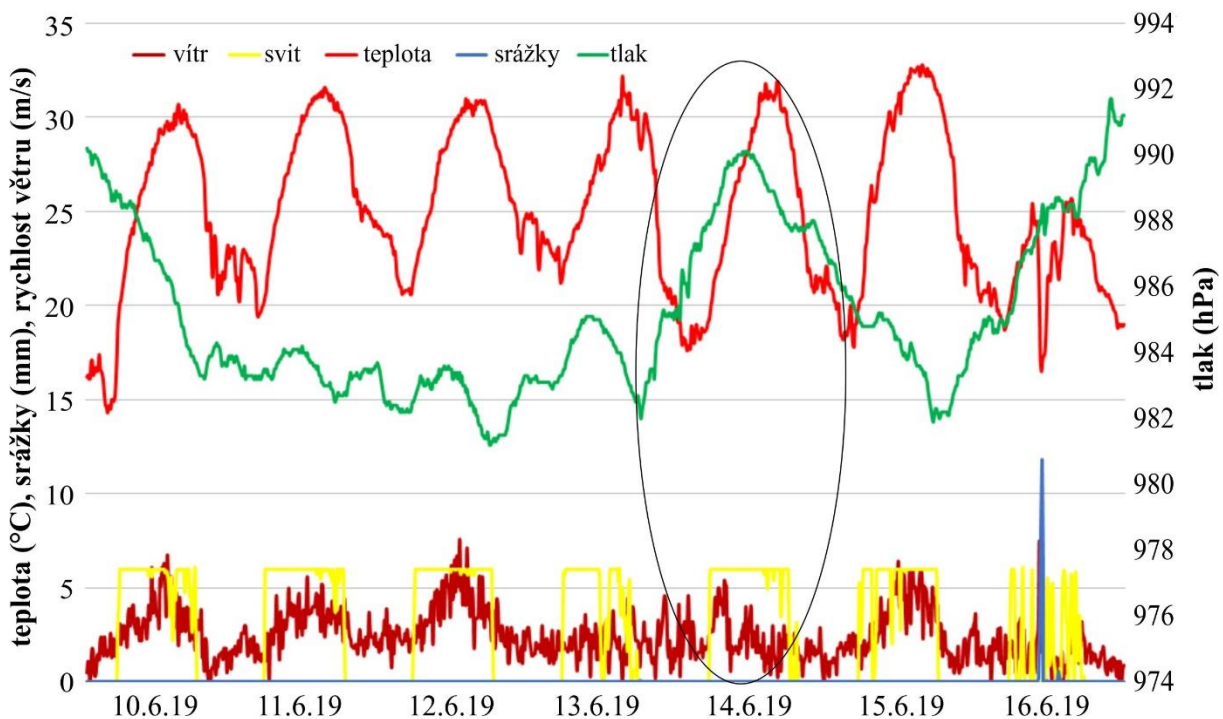
Ve fytoplanktonu dominovaly vláknité sinice především druh *Planktothrix agardhii* s abundancí cca 1,3 mil. buněk v 1 ml. Rybník byl rovněž bohatý na zástupce drobného zooplanktonu, především vířníky, buchanky a drobné perloočky. Významná změna tlaku mohla způsobit výrazné omezení fotosyntézy dominantních sinic, které díky svým speciálním organelám – aerotopům, které jsou naplněny vzduchem, na změny tlaku reagují. Nízká

produkce kyslíku fytoplanktonem pak s vysokou respirací a zrychleným metabolismem organismů v teplé vodě mohly způsobit deficit kyslíku.

Všechny sledované rybníky, na kterých byl úhyn ryb pozorován, mají vysoké zásoby dostupných nutrientů v sedimentu a nadbytek organické hmoty. Naopak trpí nedostatkem dusičnanového dusíku, nízkou průhledností vody a vysokým obsahem chlorofylu a. Vliv na tyto parametry má především přísun znečištění z okolí (odpadní vody, eroze půdy aj.) a rovněž i způsob rybářského hospodaření.

Za jeden z klíčových předpokladů vzniku kyslíkových deficitů na rybníce lze považovat dominanci sinic v planktonu, především vláknitých forem. Jde o sinice z řádu Oscillatoriales (např. *Planktothrix agardhii*) tak i z řádu Nostocales (např. *Cylindrospermopsis raciborskii*), které tvoří heterocyty a akinety.

Významným činitelem, který spolurozhoduje o vzniku deficitu kyslíku, jsou klimatické podmínky v oblasti. Delší období vysokých teplot, změny tlaku a teplot, srážky, intenzita slunečního svitu jsou faktory, které mohou narušit křehkou rovnováhu a způsobit kolaps celého vodního ekosystému.



Graf č. 8 Klimatické faktory na rybníce Dvorský v období úhynu ryb (černý ovál).

Spotřeba a produkce kyslíku v rybničním ekosystému.

Velmi problematické je stanovit reálnou spotřebu a produkci kyslíku v rybničním prostředí, kde rozhoduje celá řada fyzikálně-chemických faktorů spolu s faktory biologickými, jako je především velikost biomasy jednotlivých skupin organismů. Níže uvedené údaje platí pro vody s teplotou nad 20 °C. Zvyšování teploty vody zvyšuje spotřebu kyslíku u všech sledovaných skupin organismů.

Spotřeba kyslíku u kaprovitých ryb kolísá především v závislosti na hmotnosti a aktuální intenzitě příjmu krmiva. U kapra obecného se pohybuje v rozmezí 40 až 208 mg O₂.kg⁻¹

$^1 \cdot h^{-1}$ (Ott a kol., 1980; Zhou a kol., 2005; De Boeck a kol., 2000). U lína obecného 100 až 202 $mg O_2 \cdot kg^{-1} \cdot h^{-1}$ (Lang a kol., 2008; Zakes a kol., 2006), u amura bílého 160 $mg O_2 \cdot kg^{-1} \cdot h^{-1}$ (Maceina a kol., 1980) u karase zlatého 123 $mg O_2 \cdot kg^{-1} \cdot h^{-1}$ (Johansen a Gomery, 1973) a u keříčkovce červenolemého 16 až 73 $mg O_2 \cdot kg^{-1} \cdot h^{-1}$ (Komendová, 2011).

Nejvyšší spotřebu kyslíku u zooplanktonu mají velikostně větší druhy, kdy u perlooček se pohybuje v rozmezí 0,3-5 $mg O_2 \cdot h^{-1}$ u jednoho jedince (McFeeters and Frost, 2011; Schindler 1968; Lamkemeyer a kol., 2003). Respiraci planktonu (fytoplankton, zooplankton, bakterie) uvádí Ganf (1974) v rozmezí 1,0 až 4,5 $mg O_2 \cdot \mu g \text{ chlorofyl a} \cdot h^{-1}$. V hypertrofních rybnících tak může respirace dosahovat i hodnot přes 10 $g O_2 \cdot m^{-3}$ za den.

Celkově lze spotřebu kyslíku ve vodě rybníků poměrně dobře spočítat z hodnoty BSK_5 vody. Ta se v rybnících pohybuje od jednotek $mg \cdot l^{-1}$ až hodnot v desítkách $mg \cdot l^{-1}$, kdy v nejteplejších měsících roku lze v hypertrofních rybnících naměřit BSK_5 i přes 50 $mg \cdot l^{-1}$. Průměrné BSK_5 pro rybníky v letním období se z našeho dlouhodobého sledování cca 35 rybníků pohybuje kolem hodnoty 12,5 $mg \cdot l^{-1}$. To odpovídá spotřebě 2,5 $g O_2 \cdot m^{-3}$ za den. V případě přítomnosti masivních vodních květů při vysoké hodnotě BSK_5 může spotřeba překračovat i 10 $g O_2 \cdot m^{-3}$ za den, což odpovídá údajům Ganf (1974).

Velmi rozdílná může být spotřeba kyslíku v sedimentu. Autoři udávají široké rozmezí od nulových hodnot až do 30 $g O_2 \cdot m^{-2}$ za den (Coddington a Green, 1993; Edwards a Rolley 1965; Shapiro a Zur, 1981; Park a Jaffé, 1999; MacPherson; 2003). V mělkých nádržích má na spotřebu kyslíku sedimentem velký vliv resuspenze sedimentu způsobená nejčastěji větrem nebo rybami.

MacPherson a kol., (2007) uvádí rovnici pro výpočet deficitu kyslíku ve vodě z hodnoty BSK_5 a hodnoty toku kyslíku v sedimentu (SOF) [deficit kyslíku ($mg \cdot l^{-1}$) = $0,93 + 2,3 \cdot BSK_5$ ($mg \cdot l^{-1}$) + $0,34 \cdot SOF$ ($g O_2 \cdot m^{-2} \cdot den^{-1}$)]. Hodnota SOF se pohybuje od 0 do 10 $g O_2 \cdot m^{-2}$ za den s průměrnou hodnotou 1,58.

V rybnících můžeme počítat jen se dvěma zdroji kyslíku – difuze ze vzduchu a fotosyntéza sinic, řas a vodních rostlin. U difuze ze vzduchu, kdy je rychlost přestupu ovlivněna především hodnotou deficitu kyslíku ve vodě a intenzitou větru (vlnobitím), vyšší deficit kyslíku a větší zčeření hladiny zvyšuje rychlost přestupu atmosférického kyslíku do vody. Naopak pokud je voda v průběhu dne v důsledku fotosyntézy přesycena kyslíkem, uniká kyslík z vody do atmosféry.

Difuze vody kyslíkem tak dosahuje od záporných hodnot (únik kyslíku zpět do atmosféry) až po hodnoty v jednotkách gramu kyslíku za den (Schladow a kol., 2002). Maximální množství saturace vody kyslíkem 14 $g O_2 \cdot m^{-2}$ za den, uvádí u malých rybníčků Torgersen a Branco (2008). V letních měsících, při vysoké teplotě vody a bezvětří je difuze kyslíku z atmosféry nízká. V nočním období je ale atmosférický kyslík jediným zdrojem vnosu kyslíku do vody, při respiraci všech živých i neživých složek rybníčního ekosystému.

Produkce kyslíku fytoplanktonem může být velmi rozdílná. Mimo celkové biomasy fytoplanktonu má na intenzitu fotosyntézy vliv především intenzita slunečního záření, intenzita větru, teplota vody a další. Udávaná produkce kyslíku je od jednotek $mg O_2 \cdot m^{-3}$ za den až po přibližně 100 $g O_2 \cdot m^{-3}$ za den (Robinson, 2000; Fott a kol., 1974; Cobelas a kol., 1992, Carpenter a Roenneberg, 1995). Pro jezera udává Kalff (2002) jednoduchý vzorec pro výpočet produkce kyslíku fotosyntézou [$mg O_2 \cdot m^{-3} \cdot h^{-1} = 1,06 \cdot \text{chlorofyl a} (\mu g \cdot l^{-1}) - 0,4$]. V eutrofních

rybnících můžeme počítat spíše s vyššími hodnotami produkce kyslíku. Fotosyntéza fytoplanktonu je tak stěžejním faktorem pro dostatek kyslíku v rybničním ekosystému

III. Srovnání novosti postupů

Metodika přináší nové postupy v souladu s §2, odst. 1, písm. a) bod 2 zákona č. 130/2002 Sb. o podpoře výzkumu a vývoje z veřejných prostředků a o změně některých souvisejících zákonů. 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 shrnuty poznatky dosažené při analýzách hodnot rozpuštěného kyslíku v různých typech rybníků určených pro chov ryb. Vlastní popis metodiky obsahuje možnosti měření hodnot kyslíku od jednoduché orientační metody až po využití sofistikovaných přístrojů. V metodice je uvedeno rozložení kyslíku v horizontální i vertikální rovině a jeho kolísání v průběhu dne a noci. Jsou uvedeny vlivy způsobující kolísání obsahu kyslíku. Popsány jsou reálné úhyny většího množství ryb v důsledku kyslíkových deficitů a možné příčiny tohoto stavu včetně faktorů prostředí, které lze považovat za rizikové. Metodika poskytuje základní informace z hlediska sledování koncentrace kyslíku pro chovatele ryb v rybnících se zřetelem k vlivu klimatické změny.

IV. Popis uplatnění metodiky

Metodika je určena pro chovatele ryb využívajících tradiční metody chovu ryb v rybnících, ale možnost využití je i u chovu ryb v nádržích (např. účelové hospodaření na vodárenských nádržích). Metodika bude uplatněna „Smlouvou o uplatnění certifikované metodiky“ uzavřenou mezi Mendelovou univerzitou v Brně a firmou Rybníkářství Pohořelice, a.s., se sídlem Vídeňská 717, 691 23 Pohořelice.

Rozsah uplatnění metodiky je široký a zahrnuje celé sladkovodní produkční rybářství. Sledování koncentrace rozpuštěného kyslíku je nedílnou součástí chovu ryb a metodické postupy sledování tohoto parametru umožňují pravidelný monitoring kvality rybničního prostředí, welfare chovaných ryb a zabránění úhynu ryb. Stále se zvyšující tlak veřejnosti na zlepšení kvality povrchových vod vede ke zpříšňování legislativy a norem environmentální kvality vodního prostředí. Pro dodržení požadované jakosti vod monitorují chovatelé ryb obsah rozpuštěného kyslíku mnohem intenzivněji než v minulosti a k tomu jim má dopomoci i tato metodika. Předpokládané využití je ve všech typech chovu ryb v podmínkách sladkovodní akvakultury.

V. Ekonomické aspekty:

Předpokládané ekonomické a další přínosy jsou v zefektivnění chovu především kaprovitých ryb v rybnících a zabránění úhynu ryb v důsledku kyslíkových deficitů. Monitoring koncentrace rozpuštěného kyslíku může predikovat možnost výskytu kyslíkových deficitů a včas přijmout ochranná opatření (předčasný výlov ryb, podpora rozvoje fytoplanktonu aplikací

superfosfátu aj.). Ekonomické přínosy lze vyjádřit ve zvýšené produkci ryb, kdy zabránění deficitů kyslíku nedojde k úhynům ryb nebo k omezení růstu, které při nedostatku kyslíku nastává v důsledku omezeného příjmu krmiva rybami. Při předpokládaném snížení úhynu ryb o 10 tun ročně a průměrné ceně 100 Kč za 1 kg kapra, lze dosáhnou úspory v hodnotě jednoho miliónu Kč. Další úspora je v nákladech, které by musely být vynaloženy na likvidaci uhynulých ryb.

Pravidelný monitoring koncentrace rozpuštěného kyslíku a tím i udržení optimálních hydrochemických a biologických podmínek odchovného prostředí se mohou pozitivně projevit i ve zlepšení využití předkládaného krmiva. Nízký obsah rozpuštěného kyslíku může významně zhoršit hodnoty krmného koeficientu. Zhoršení krmného koeficientu o jednu desetinu, při ceně krmiva na úrovni 40 – 50 Kč, odpovídá zvýšení ceny za jeden kg vyprodukovaných ryb o 4 až 5 Kč. Dalším již obtížněji kvantifikovatelným efektem je snížení stresové zátěže ryb působením zhoršených kyslíkových poměrů v rybničním prostředí. Celkově lze shrnout přínosy uplatnění metodiky jako zlepšení produkčních parametrů rybničních systémů a omezení úhynů ryb.

Poděkování

Metodika vznikla za finanční podpory Národní agentury pro zemědělský výzkum, projektu QK1810161 „Udržitelná produkce ryb v rybnících v podmínkách klimatických změn“ a projektu PROFISH (CZ.02.1.01/0.0/0.0/16_019/0000869) „Udržitelná produkce zdravých ryb v různých akvakulturních systémech“.

Seznam použité literatury:

- ADÁMEK, Z., HELEŠIC, J., MARŠÁLEK, B., RULÍK, M. (2010): Aplikovaná hydrobiologie. JU v Českých Budějovicích, FROV, 350 s.
- CARPENTER, E.J., ROENNEBERG, T. (1995): The marine planktonic cyanobacteria *Trichodesmium* spp.: photosynthetic rate measurements in the SW Atlantic Ocean. Mar. Ecol. Prog. Ser. 118: 267-273.
- COBELAS, M.A., HAERING, F.J., VELASCO, J.L., RUBIO, A. (1992): The seasonal productivity of phytoplankton in a hypertrophic, gravel-pit lake. Journal of Plankton Research, 14 (7): 979–996.
- CODDINGTON, D.T., GREEN, B. (1993): Comparison of two techniques for determining community respiration in tropical fish ponds. Aquaculture, 114: 41-50.
- DE BOECK, G., VLAEMINCK, A., VAN DER LINDEN, A., BLUST, R. (2000): The energy metabolism of common carp (*Cyprinus carpio*) when exposed to salt stress: an increase in energy expenditure or effects of starvation? Physiological and Biochemical Zoology 73, 102–111.
- EDWARDS R.W., ROLLEY H.L.J. (1965): Oxygen Consumption of River Muds. Journal of Ecology 53: 1-19.
- ELMORE, H.L., HAYES, T.W. (1960): Solubility of Atmospheric Oxygen in Water, Twenty-Ninth Progress Report of the Committee on Sanitary Engineering Research. Journal of the Sanitary Engineering Division, 86, 41-53.
- FOTT, J., KOŘÍNEK, V., PRAŘÁKOVÁ, M., VONDRUŠ, B., FOREJT, K. (1974): Seasonal Development of Phytoplankton in Fish Ponds. Int., Revue ges. Hydrobiol. 59 (5): 629-641.
- GANF, G.G. (1974): Rates of Oxygen Uptake by the Planktonic Community of a Shallow Equatorial Lake (Lake George, Uganda). Oecologia, 15, 1: 17-32
- HETEŠA, J., KOČKOVÁ, E. (1997): Hydrochemie. – Skriptum MZLU Brno, 106 s.
- JOHANSEN, P.H., A GOMERY, J. D. (1973): The oxygen consumption of goldfish (*Carassius auratus* L.) after removal or autotransplantation of the pituitary gland. Can J Zool. 51(12):1289-91.
- HETEŠA, J., SUKOP, I. (1985): Aplikovaná hydrobiologie II. Skriptum VŠZ Brno, 83 s
- KABEŠ, K.: Nové optické senzory množství rozpuštěného kyslíku. Automa, 2007, č. 12, s. 46
- KALFF, J. (2002): Limnology Inland Water Ecosystem. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey. 536 s.
- KOMENDOVÁ, J. (2011): Vliv teploty, velikosti a nakrmenosti ryb na spotřebu kyslíku a exkreci amoniaku u keříčkovce červenolemého (*Clarias gariepinus*). České Budějovice, diplomová práce, JU v Českých Budějovicích. Fakulta rybářství a ochrany vod
- LAMKEMEYER, T., ZEIS, B., RÜDIGER, J. P. (2003): Temperature acclimation influences temperature-related behaviour as well as oxygen-transport physiology and biochemistry in the water flea *Daphnia magna*. Canadian Journal of Zoology, 81, 2: 237-249
- LELLÁK, J., KUBÍČEK, F. (1991): Hydrobiologie. Univerzita Karlova Praha, 256 s.
- MACEINA, M. J., NORDLIE, F. G., SHIREMAN, J. V. (1980): The influence of salinity on oxygen-consumption and plasma electrolytes in Grass carp, *Ctenopharyngodon idella* Val. Journal of Fish Biology 16, 613–619

- McFEETERS, B. J., FROST, P. C. (2011): Temperature and the effects of elemental food quality on *Daphnia*. *Freshwater Biology* 56, 7: 1447-1455
- MACPHERSON, T.A. (2003): Sediment oxygen demand and biochemical oxygen demand: Patterns of oxygen depletion in Tidal Creek sites. Ph.D. Thesis, University of North Carolina at Wilmington. 55 s.
- MACPHERSON, T.A., CAHOON, L.B., MALLIN, A.M. (2007): Water Column Oxygen Demand and Sediment Oxygen Flux: Patterns of Oxygen Depletion in Tidal Creeks. *Hydrobiologia*, 586: 235–248
- Nařízení vlády č. 401/2015 Sb., o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových vod a odpadních vod, náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod povrchových a do kanalizací a o citlivých oblastech
- Nařízení vlády č. 71/2003 Sb., o stanovení povrchových vod vhodných pro život a reprodukci původních druhů ryb a dalších vodních živočichů a o zjišťování a hodnocení stavu jakosti těchto vod
- OTT, M.E., HEISLER, N., ULTSCH, G.R. (1980): A re-evaluation of the relationship between temperature and the critical oxygen tension in freshwater fishes. *Comp Biochem Physiol A Physiol* 67: 337–340.
- PALÍKOVÁ, M. (ed.) (2019): Nemoci a chorobné stavy ryb. JU v Č.h Budějovicích, 462 s.
- PARK, S.S., JAFFE, R.P. (1999): A Numerical Model to Estimate Sediment Oxygen Levels and Demand. *J. Environ. Qual.*, 28: 1216-1226
- PECHAR, L., PŘIKRYL, I., FAINA, R. (2002): Hydrobiological evaluation of Třeboň fishponds in the end of the nineteenth century. In: Květ, J., Jeník, J., Soukupová, L. (eds.): *Freshwater wetlands and their sustainable future*, Paris: 31-61
- PITTER, P. (2015): *Hydrochemie*. VŠCHT Praha. 792 s.
- ROBINSON, C. (2000): Plankton gross production and respiration in the shallow water hydrothermal systems of Milos, Aegean Sea. *Journal of Plankton Research*, 22 (5): 887–906.
- SHAPIRO, J., ZUR, O. (1981): A simple in situ method for measuring benthic respiration. *Water Research* 15: 283-285
- SCHINDLER, D. W. (1968): Feeding, Assimilation and Respiration Rates of *Daphnia magna* Under Various Environmental Conditions and their Relation to Production Estimates. *Journal of Animal Ecology*, 37, 2: 369-385
- SCHLADOW, S. G., LEE, M., HÜRZELER, B. E., KELLY, P. B. (2002): Oxygen transfer across the air-water interface by natural convection in lakes. *Limnology and Oceanography*, 47, 5: 1394-1404
- SVOBODOVÁ, Z. (ed.) (1987): *Toxikologie vodních živočichů*. MTZ Olomouc, 232 s.
- TILLICH, D. (2007): Optical Oxygen Measurement with Built-in Electronics in a 12 mm Format. *CHEManager Europe*, č. 5, s. 25.
- TORGERSEN, T., BRANCO, B. (2008): Carbon and oxygen fluxes from a small pond to the atmosphere: Temporal variability and the CO₂/O₂ imbalance. *Water Resources Research*, 44 (2): 1-14
- ZAKEŠ, Z., DEMSKA-ZAKEŠ, K., JAROCKI, P., STAWECKI, K. (2006): The effect of feeding on oxygen consumption and ammonia excretion of juvenile tench *Tinca tinca* (L.) reared in a water recirculating system. *Aquaculture International* 14(1):127-140

ZHOU, B. S., WU, R. S. S., RANDALL, D. J., LAM, P. K. S., IP, Y. K., CHEW S. F. (2005): Metabolic adjustments in the common carp during prolonged hypoxia *Journal of Fish Biology* 57, 1160–1171

Seznam předcházejících publikací:

HADAŠOVÁ, L., KOPP, R. (2012): The fluctuation of physicochemical parameters in hypertrophy fishponds during the day and night. In *MendelNet 2012 - Proceedings of International Ph.D. Students Conference*. Brno: Mendel University in Brno, Faculty of Agronomy, 412-417.

CHMELICKÝ, P., KOPP, R., MÜLLEROVÁ, B. (2020): Kvalita vody vybraných rybníků CHKO Český ráj. In *Rybníky 2020: sborník příspěvků odborné konference*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, s. 35-43.

KOPP, R., ORSÁG, M., RADOJIČIĆ, M., TRNKA, M., ŠORF, M., MAREŠ, J. (2022): Udržitelná produkce ryb v podmínkách změn klimatu. *CERTIFIKOVANÁ METODIKA* ze dne 25. 10. 2022, Mendelova univerzita v Brně, 33 s. ISBN 978-80-7509-849-8

KOPP, R., MÜLLEROVÁ, B., RADOJIČIĆ, M., GRMELA, J., ŠORF, M., CHMELICKÝ, P., TRNKA, M. (2020): Příčiny vzniku kyslíkových deficitů v rybnících. In *Rybníky 2020: sborník příspěvků odborné konference*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, s. 27-34. ISBN 978-80-01-06761-1.

KOPP, R. (2015): *HYDROCHEMIE nejen pro rybáře*. Mendelova univerzita v Brně, Astron studio CZ, a.s., 120 s. ISBN 978-80-7509-352-3

KOPP, R., HADAŠOVÁ, L., LANG, Š., BRABEC, T., MAREŠ, J., (2012): Diurnální změny hodnot rozpuštěného kyslíku a pH v intenzivně obhospodařovaných rybnících. In *Sborník referátů konference 2012 Chov ryb a kvalita vody*. České Budějovice, Rybářské sdružení ČR, 65-72

KOPP, R., LANG, Š., BRABEC, T., MAREŠ, J. (2014): Stanovení základních fyzikálně-chemických parametrů v akvakulturních chovech ryb. *Certifikovaná metodika* ISBN 978-80-7375-953-7

LANG, Š., KOPP, R., MAREŠ, J. (2008): Změny spotřeby kyslíku a exkrece amoniakálního dusíku u lína obecného (*Tinca tinca*) v závislosti na množství proteinu v krmivu, "60 let výuky rybářské specializace na MZLU v Brně, Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 111-116

Název: Metodika hodnocení kyslíkového režimu v rybnících

Autor: Kopp Radovan, Radojičič Marija, Kratochvílová Lenka, Grmela Jan, Lukas Vojtěch, Trnka Miroslav, Mareš Jan

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

Tisk: Vydavatelství Mendelovy univerzity v Brně, Zemědělská 1, 613 00 Brno

Počet stran: 30

Náklad: 100 ks

Vydání: první, 2023

ISBN 978-80-7509-918-1 (tisk)