Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta životního prostředí

Katedra ekologie

Diplomová práce

Časová a prostorová distribuce prokysličenosti hyporeálu v horním toku Malše

Vedoucí práce: Mgr. Michal Bílý, Ph.D.
Diplomant: Bc. Aleš Rybář

© 2020 ČZU v Praze

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Aleš Rybář

Krajinné inženýrství
Regionální environmentální správa

Název práce

Časová a prostorová distribuce prokysličenosti hyporeálu v horním toku Malše.

Název anglicky

Time and space distribution of hyporheal oxygenation in upper stretch of Malše river.

Cíle práce

Zanalyzovat stav prokysličenost hyporeálního prostředí v úseku horní Malše ve vztahu k životnímu prostředí juvenilních jedinců perlorodky říční.

Metodika

Terénní měření proběhnou ve stanovených termínech letní sezóny roku 2019.

Měření budou realizována na 9 studijních plochách, vytipovaných jako potenciálně vhodné pro reintrodukci malých perlorodek.

Měření budou provedena:

a) pomocí 9 záznamových sond měřících obsah kyslíku v hyporeální vodě po dobu 1 měsíce.

b) pomocí přenosného přístroje měřícího obsah kyslíku ve vzorcích hyporeální vody na 9 plochách, a to ve ve 4 termínech.

c) pomocí přístroje měřícího redox potenciál v hyporeální vodě, ve 4 termínech.

Doba expozice kontinuálních sond vzorkování hyporeální vody bude odpovídat měsíční expozici bioindikačních jednotek s juvenilními perlorodkami na daných plochách.

Prokysličenost hyporeálu na studijních plochách bude vyhodnocena jakožto jeden z faktorů ovlivňující růst a přežívání juvenilních perlorodek.

Doporučený rozsah práce

40 stran

Klíčová slova

hyporeál, kyslík, oligotrofní toky

Doporučené zdroje informací

LELLÁK, J. – KUBÍČEK, F. *Hydrobiologie*. Praha: Univerzita Karlova, 1992. ISBN 80-7066-530-0.

Štěrba O., Měkotová J., Bednář V., Rychnovská M., Šarapatka B., Kubíček F., Řehořek V., 2008: Říční krajina a její ekosystémy. Univerzita Palackého v Olomouci, Olomouc. S. 391. ISBN 978-80-244-2203-9

Vaníčková I., Simon P.O., Dort B., 2014: Omlazení populací perlorodky říční. Ochrana přírody. č. 6, s. 11-15

Předběžný termín obhajoby

2019/20 LS – FŽP

Vedoucí práce

Mgr. Michal Bílý, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra ekologie

Elektronicky schváleno dne 17. 3. 2020

doc. Ing. Jiří Vojar, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 17. 3. 2020

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.

Děkan

V Praze dne 17. 03. 2020

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "Časová a prostorová distribuce prokysličenosti hyporeálu v horním toku Malše" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a citoval jsem všechny informační zdroje, které jsem v práci použil a které jsem rovněž uvedl na konci práce v seznamu použitých informačních zdrojů. Jsem si vědom, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla. Jsem si vědom, že odevzdáním diplomové práce souhlasím s jejím zveřejněním podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby. Svým podpisem rovněž prohlašuji, že elektronická verze práce je totožná s verzi tištěnou a že s údaji uvedenými v práci bylo nakládáno v souvislosti s GDPR.

V Praze dne 29.6.2020 _____

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval Mgr. Michalu Bílému, Ph.D. za vedení mé diplomové práce a dále celému řešitelskému týmu projektu Malsemuschel z České zemědělské univerzity v Praze za poskytnutí důležitých rad.

Časová a prostorová distribuce prokysličenosti hyporeálu v horním toku Malše

Abstrakt

Předkládaná diplomová práce se zabývá měřením některých fyzikálně-chemických parametrů (obsahu rozpuštěného kyslíku a oxidačně-redukčního potenciálu) v mělkém hyporeálu hraničního úseku řeky Malše a jejich vyhodnocením ve vztahu k růstu a přežívání juvenilních jedinců perlorodky říční (*M. margaritifera*). Naměřené hodnoty budou použity pro vyhodnocení kvality hyporeálu vybraných lokalit ve vztahu k posílení populace perlorodky říční.

Sběr dat z hyporeálu probíhal v EVL a PP Horní Malše na devíti různých lokalitách o ploše 1 m^2 říčního dna, v horní části oligotrofní řeky Malše.

Byla zjištěna velká variabilita v rámci každé zkoumané plochy i mezi jednotlivými plochami navzájem. Místa s vyšším průměrným rozpuštěným kyslíkem a menším rozpětím hodnot vykazovala dle teplotních řad menší teplotní rozdíly mezi mělčím, a hlubším hyporeálem. Toto zjištění indikuje větší propojení volně tekoucí vody s dnovým substrátem. S vyšším obsahem rozpuštěného kyslíku také korelují výsledky průměrných přírůstků juvenilních jedinců na dané lokalitě v obou zkoumaných horizontech dna.

Na základě měření a výsledků byly vytipovány lokality s nejpříhodnějšími podmínkami pro reintrodukci juvenilních jedinců v rámci česko-rakouského programu Malsemuschel, jež pracuje na podpoření přirozeného prostředí a výskytu perlorodky.

Klíčová slova: hyporeál, kyslík, oligotrofní toky

Time and space distribution of hyporeal oxygenation in upper stretch of Malše river

Abstract

This diploma thesis deals with measurement of some physico-chemical parameters (dissolved oxygen and redox potential) in shallow hyporeal of the border Malše river and their evaluation in relation to growth and survival of juvenile pearl mussel (*M. margaritifera*) individuals. The measured values will be used to evaluate the quality of the hyporeal of selected localities in relation to the strengthening of the freshwater pearl mussel population.

Hyporeal data were collected in the SCI and Nature Monument Horní Malše at nine different sites with an area of 1 m^2 riverbed in the upper part of the oligotrophic Malše River.

A large variability was found within each investigated area and between individual areas. Places with higher average dissolved oxygen and smaller range of values showed smaller temperature differences between shallower and deeper hyporeal according to temperature series. This finding indicates greater interconnection of free-flowing water with the river substrate. The results of average increments of juvenile individuals at given locality in both investigated horizons also correlate with higher dissolved oxygen content.

Based of measurements and results, locations with the most favourable conditions for reintroduction of juvenile freshwater pearl mussels were identified as part of the Czech-Austrian Malsemuschel program working to promote the natural environment and the occurrence of pearl mussel.

Keywords: hyporeal, oxygen, oligotrophic streams

Obsah

1 Úvod 1

2 Cíl a plán práce 2

2.1 Cíl práce 2

2.2 Plán práce 2

3 Teoretická východiska 3

3.1 Vodní toky 3

3.2 Členění vodního toku a popis jeho částí 4

3.2.1 Hyporeál a výměna vody 4

3.2.2 Proudění řeky 8

3.3 Povodí Vltavy a řeka Malše 9

3.3.1 Malše 9

3.3.2 Malše a její ochrana 9

3.3.3 Problémy Malše 10

3.4 Perlorodka říční 10

3.4.1 Výskyt perlorodky 11

3.4.2 Vývoj perlorodky 11

3.4.3 Ochrana druhu 12

3.4.4 Posilování populace 13

3.5 Kyslík rozpuštěný ve vodě a jeho vztah k organismům 13

3.6 Oxidačně redukční potenciál 14

3.7 Teplota vody 15

3.8 Bioindikace 16

4 Metodika 18

4.1 Popis lokalit 20

4.2 Měření kyslíku v hyporeálu 21

4.2.1 Měření rozpuštěného kyslíku ve vzorcích odebraných hadičkami 21

4.2.2 Měření rozpuštěného kyslíku sondou 21

4.3 Měření redoxně-oxidačního potenciálu 22

5 Výsledky 23

5.1 Výsledky měření O_2 z kontinuálních sond 23

5.1.1 Výsledky letního měření 23

5.1.2 Výsledky zimního měření 25

5.2 Výsledky měření časoprostorové distribuce rozpuštěného kyslíku na devíti čtvercích 25

5.3 Výsledky měření oxidačně-redukčního potenciálu 29

5.3.1 Výsledky kontrolního měření před instalací bioindikačních destiček 29

5.3.2 Výsledky měření oxidačně-redukčního potenciálu po dobu instalace destiček 30
5.4 Vzájemné vztahy měřených parametrů 31
6 Diskuze 38
6.1 Doporučení vhodných lokalit a mikrohabitatů k výsadků juvenilů 39
7 Závěr 41
8 Seznam použitých zdrojů 42
9 Seznam obrázků 51
10 Seznam tabulek 53
11 Seznam příloh 54
12 Přílohy 55

1 Úvod

Perlorodka říční (*Margaritifera margaritifera,* Linné 1758) je sladkovodní mlž žijící na dně řek se štěrkovým či písečným dnem (Sousa *et al*. 2020, Varandas *et al*. 2013). Je citlivý a zcela závislý na kvalitě vody, sedimentu i na dalších složkách prostředí. Změny těchto složek mohou snížit jejich přežívání (Sousa *et al.* 2015). Jedná se o indikátorový druh sladkovodního mlže typického pro oligotrofní až ultraoligotrofní toky. Z toho důvodu je potřeba jej chránit a monitorovat (Lopes-Lima *et al.* 2018). Dále je důležitým druhem pro ukládání a recyklování živin ve vodě, přispívá ke snížení množství částic zanášející intersticiální prostory dna, a tím se účastní procesů čištění vod (Vaughn 2018).

Zájem o záchranu perlorodky říční v posledních letech rapidně stoupá, na základě enormního poklesu populace od Ruska po Portugalsko v posledních dekádách. Nyní je perlorodka vedena jako kriticky ohrožena dle IUCN (Sousa *et al*. 2020).

Současná populace *M. margaritifera* v České republice čítá zhruba 1 % původní populace. Ontogenetický vývoj jedinců je složitým procesem a vrcholí vývojem v hyporeálu řeky. Celý proces metamorfózy od vajíček po subadultní jedince trvá 5–10 let. Poté se jedinci postupně dostávají na povrch dna a začínají svůj dospělý život, jako přisedlí živočichové filtrující detrit (Simon *et al*. 2015), ideálně 20-40 (50) cm pod hladinou vody (Jung *et al*. 2013, Varandas *et al.* 2013). Typický vhodný dnový substrát pro perlorodku je s vysokým obsahem kyslíku a nízkým obsahem živin v proudící vodě (Sousa *et al*. 2019). Právě koncentrace kyslíku patří mezi základní požadavek na kvalitu prostředí (AOPK 2013).

Situace pro perlorodku v ČR, ale ani v okolních zemích, nevypadá nikterak dobře. Naštěstí se v řadě zemí formují týmy odborníků, kteří se snaží navrátit perlorodku zpět do přírody a vybudovat jí vhodné prostředí (AOPK 2013). Jednou z významných lokalit v České republice je jihočeská Malše s výskytem několika stovek jedinců (Bílý *et* Simon 2012), na které probíhají záchranné a podpůrné práce na zvýšení a ochranu její populace (AOPK 2013).

2 Cíl a plán práce

2.1 Cíl práce

Zanalyzovat stav prokysličenost hyporeálního prostředí v úseku horní Malše ve vztahu k životnímu prostředí juvenilních jedinců perlorodky říční.

2.2 Plán práce

Terénní měření proběhnou ve stanovených termínech letní sezóny roku 2019. Měření budou realizována na 9 studijních plochách, vytipovaných jako potenciálně vhodné pro reintrodukci malých perlorodek. Měření budou provedena:

a) pomocí 9 záznamových sond měřících obsah kyslíku v hyporeální vodě po dobu 1 měsíce

b) pomocí přenosného přístroje měřícího obsah kyslíku ve vzorcích hyporeální vody na 9 plochách, a to ve 4 termínech

c) pomocí přístroje měřícího redox potenciál v hyporeální vodě, ve 4 termínech

Doba expozice kontinuálních sond vzorkování hyporeální vody bude odpovídat měsíční expozici bioindikačních jednotek s juvenilními perlorodkami na daných plochách. Prokysličenost hyporeálu na studijních plochách bude vyhodnocena jakožto jeden z faktorů ovlivňující růst a přežívání juvenilních perlorodek.

3 Teoretická východiska

3.1 Vodní toky

Česká republika tvoří jako střecha Evropy důležitý prvek evropské významné říční sítě, ve které vzhledem ke geografické poloze si my sami ovlivňujeme její kvalitu (Němec *et al.* 2006). Řeky jsou využívány jako zdroje pitných vod, k závlahám, k vypouštění odpadních vod, produkci elektrické energie, jako dopravní cesty a také k rekreaci (Kleczek 2011). Odvádějí vodu z krajiny a zároveň jsou nasycovány povrchovým i podpovrchovým odtokem, kdy povrchový odtok nastává v případě, kdy se srážky nestíhají vsáknout do půdy (Němec *et al.* 2006). Povrchové toky jsou nezbytné pro velké množství rostlin a živočichů, pomáhají udržovat a zásobovat zásobárny vod (Kleczek 2011) a lze je rozdělit dle časového charakteru na:

- trvalé vodoteče (permanentní)
- periodické (občasné toky)
- episodické (nepravidelné toky) (Myslil 1999)

Základní hydrografickou síť v České republice tvoří asi 76 000 kilometrů (dále km) přirozených vodních toků a průměrná hustota vodních toků je přibližně 0,96 km/km^2. Celé území je rozděleno dle odtoku na úmoří Severního, Baltského a Černého moře. Vodní toky odvádějí vodu z nejvyšších oblastí do nížin, kdy voda projde od bystřin přes potoky až k velkým řekám. Taková rozmanitost se reflektuje v pestrosti životních podmínek pro vodní organismy. V bystřinách a potocích převládá rychlé turbulentní proudění (kap. 3.2.2) a značné členění dna. V korytech se střídají balvany a kameny s hrubozrnným štěrkem. Voda je silně nasycena kyslíkem. Ve středních tocích se proudění vody stabilizuje a toky začínají vytvářet zákruty. Dále jsou charakteristické střídáním erozních a akumulačních úseků doprovázených tvorbou tůní a brodů (Němec *et al.* 2006). Zajímavostí jistě je, že všechny sladkovodní toky v korytech na světě tvoří jen 0,0002 % z celkových zásob vody na světě (Kleczek 2011). Pro tuto práci je potřeba popsat rozdělení vod dle stupně úživnosti neboli trofie, např. dle Kočí *et al.* (2000) na dvě hlavní kategorie:

- oligotrofní (málo úživné)
- eutrofní až hypertrofní (hodně úživné, nutričně bohaté)

Vody oligotrofní jsou také typické pro vysoký obsah kyslíku a vysokou průhledností (Kopp 2015).

3.2 Členění vodního toku a popis jeho částí

Říční ekosystém je jeden z nejpestřejších biotopů na Zemi, jeho základem je říční proud (Kleczek 2011), který je jednosměrný a kde je přísun látek ovlivněn jejich přítokem a odtokem. Každý tok se tvoří po tisíciletí vlivem faktorů, jako je geologické podloží, chemické složení a teplota vody, nebo spád koryta. Podél řek je soustředěn nejčilejší život a v jejich blízkosti se nejvíce usídlovali lidé. Vodní toky jsou také ideálním migračním koridorem, jelikož málokterý útvar je tak souvislý jako řeka, která si navíc zachovává svou dynamiku a mnohotvárnost (Němec *et al.* 2006).

Rozdělení toku popisují například Cílek *et al*. (2017) na vody:

- Vody volné (pelagiál)
- prostředí dna (bentál)
- prostředí podříčního dna (hyporeál)

Celý provázaný suchozemský a vodní ekosystém rozdělují například Štěrba *et al.* (2008) na prameny, toky, hyporeál, *aluvium*, stojaté vody, suchozemskou nivu, ekosystémy břehů a agradačních valů a ostrovů.

V 19. století si všiml biolog Fryč toho, že organismy jsou v jednotlivých společenstvech podobné svým tvarem a vlastnostmi. Rozdělil proto toky na čtyři pásma: pstruhové, lipanové, parmové a cejnové (Kleczek 2011).

Pro tuto práci je stěžejní hlavně pásmo pstruhové, které se nachází v horském úseku řek, to je zpravidla 500 metrů nad mořem (dále m. n. m.) a výše. Převažuje zde turbulentní proudění, řeka výrazně eroduje své okolí, má obvykle nízké pH a málo rozpuštěných látek a díky prudkému proudění v zimě nezamrzá. Koryta jsou nepravidelná, plná kaskád a dna jsou písčitá, hlinitá s jemným štěrkem v tišinách až po balvany v pevných oblastech. Proudění působí na organismy velice agresivně, a proto právě zde jsou adaptovány proti stržení, ať jde o tvar těla či přichycovací orgány. Dno je vhodným stanovištěm pro *makrozoobentos*. Hyporeál je v podhorských řekách zpravidla dobře vyvinut a poskytuje skvělé prostředí pro běžné druhy *zoobentosu*, například se zde vyvíjejí glochidie perlorodek (Štěrba *et al*. 2008).

3.2.1 Hyporeál a výměna vody

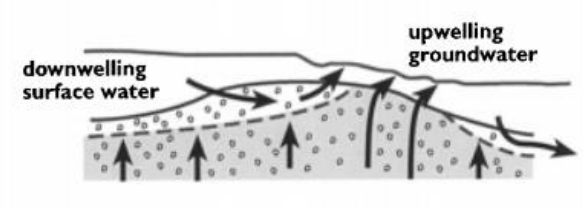
Hyporeál nebo také potamofreaton (Lellák *et* Kubíček 1991) je zvodnělý prostor hluboký od několika centimetrů až po metr pod dnem řek, míšení povrchové a podzemní vody, nebo lze hyporeál také vyjádřit jednodušeji jako podříční dno. Voda se neustále infiltruje hydrodynamickým tlakem do sedimentu, kde se zdrží a pomalu prochází a po čase opět vyvěrá

do říčního toku. Je to jakýsi filtr povrchových vod závislý na topografii a pórovitosti (Boulton *et al.* 1998, Cílek *et al.* 2017, Štěrba *et al*. 2008, Wetzel 2001), a také na hloubce zvodnění, či na délce zdržení, kdy z důvodu různého času zdržení je chemismus vnořené vody velmi rozdílný.

Přesněji se toto dá vyjádřit jako vnořování a vynořování vody. Mluví se o tzv. „downwellingu" a „upwellingu", kdy „downwelling" zásobuje hyporeál kyslíkem a organickou hmotou mikroorganismy, „upwelling" zásobuje vodní organismy živinami (Boulton *et al.* 1998). Tedy pokud je míchání povrchové vody do hyporeálu omezeno, dochází k snížení koncentrace O_2 ve dně (Jones *et al.* 2015). Kyslík, který vnáší do hyporeálu říční voda, vlivem metabolismu reducentů a konzumentů směrem dolů klesá, takže v běžném štěrkopískovém dně kolem 40–100 centimetrů (dále cm) je zcela vyčerpán. Vnořování je také výraznější při vysokých stavech řeky a vynořování naopak při nižších, doplňují tak řeky vodou (Štěrba *et al.* 2008).

Tento takzvaný malý dnový oběh přes hyporeál je velmi efektivní součást samočistících pochodů řek. Přesné množství procházející vody cirkulující mezi hyporeálem a tokem nebylo dosud měřeno (Štěrba *et al*. 2008), nicméně rychlejší proudění řeky koreluje s vyšším prokysličením hyporeálu (Kaufman *et al*. 2017).

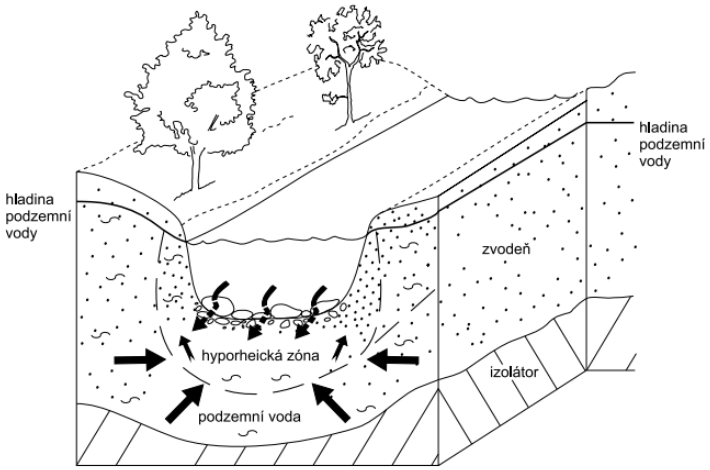
Nejvyšší pórovitost či propustnost má napřed štěrk, poté písek, bahno, jíl, a nakonec nejnižší kámen. U posledních dvou jmenovaných není na dně vznik hyporeálového pásma možný, jelikož v něm voda proudí velmi pomalu (Pennington *et* Cech 2010). Obecně lze usuzovat, že tam, kde jsou v horských tocích prostupné štěrkopíščiny, bude také hyporeál dobře rozvinut (Štěrba *et al*. 2008). Výše popsané výměny jsou zobrazeny na obrázku č. 1.



Obr. 1: Vnořování a vynořování povrchové vody (Sear et al. 1999)

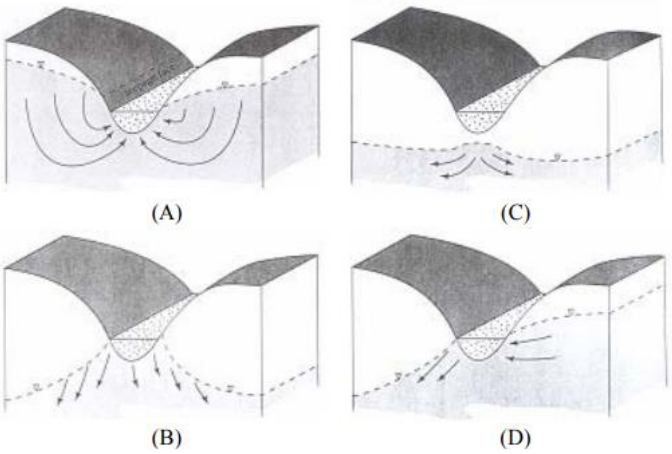
Dalším faktorem ovlivňující dynamiku výměny vody je rychlost a velikost odtoku podzemních vod (Muzikář 2014). Tento typ výměny vody je na úrovni koryta řeky a jedná se o vnik podzemní vody do říční vody. Tyto vody přinášejí jednak méně kyslíku do vody, tak i nižší teplotu (Quinlan *et al.* 2015, Sear *et al*. 1999). Teplota podzemní vody je v našich podmínkách kolem 2 až 9 stupňů Celsia (dále °C) v závislosti na hloubce (běžně 9,5 °C) (Krásný *et al.* 2012, Pitter 1999). Dalším faktorem ovlivňující tuto výměnu, je rychlost a

velikost odtoku podzemních vod. Zde je také zřejmá souvislost, že pokud je podzemní voda kontaminovaná, může se podílet na zhoršení povrchové vody a obráceně (Muzikář 2014, Pennington *et* Cech 2010). Tato výměna je znázorněna na obrázku 2. Mezřický (2005) upozorňuje, že kontaminované jsou často nejen podzemní vody, ale také prameniště vod. Důležité je zmínit, že v jižních Čechách jsou dvě velké sedimentační pánve – třeboňská a budějovická, které se před 66 až 145 mil. let vyplnily písky a dnes se do nich velmi snadno vsakuje voda. Vytvořily se tak významné oblasti zdrojů podzemní vody (Hrkal 2018). Dnes je problémem rychlý odtok vody z krajiny, který znamená nižší přítok vody do podzemních zásobáren (Mezřický 2005).



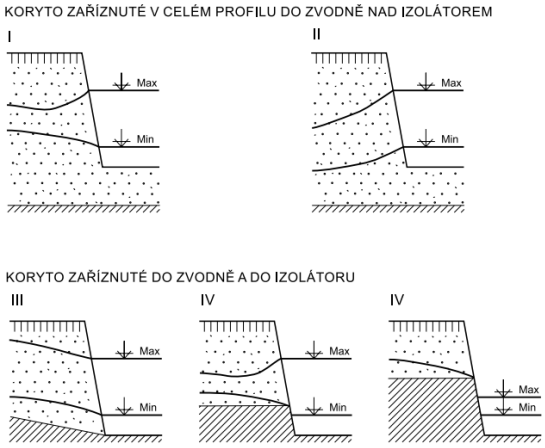
Obr. 2: Infiltrace podzemní vody do hyporeálu (Muzikář 2014)

Vlastnosti hyporeálu tedy ovlivňuje podzemní voda a je třeba popsat její proudění a stav ku povrchové vodě. Dle Veličkovič (2005) lze tuto interakci rozdělit na čtyři případy (obr. 3). A to na A) zásobování z podzemní vody, B) odtok ve zvodnělém prostoru, C) odtok nad zvodnělým protorem a D) průtok podzemní vody skrz vodoteč. Na druhou stranu, množství přítoku či odtoku závisí na rozdílu mezi povrchovou a podzemní vodou, tloušťce vrstvy sedimentů, propustností zvodnělé vrstvy, geometrických vlastností vodoteče a dna koryta. Autoři Pennington *et* Cech (2010) upozorňují, že směr proudění podzemní vody nemusí korelovat se směrem proudění vody povrchové.



Obr. 3: Proudění podzemní vody (Veličkovič 2005) (A) Infiltrace podzemní vody do povrchové, (B) Dotace povrchovou vodou podzemní, (C) Ztráta nad zvodní, (D) Protékání podzemní vody skrz tok

Obrázek je převážně platný, pokud je koryto plně zařízнuté do zvodně (Situace I, II, III) (obr. 4). V tomto případě dochází k ovlivňování povrchové vody vodou podzemní a obráceně. Další možností je koryto ve zvodnělém prostoru a v nepropustném izolátoru, kdy při nízkých průtocích nedochází k míchání vod (Situace IV), a další možností je koryto zcela zapuštěné do izolátoru, zde už nedochází k ovlivňování za žádného stavu (Druhá situace IV) (Muzikář 2014).



Obr. 4: Typy koryta vzhledem ke zvodni a izolátoru (Muzikář 2014)

Je potřeba dodat, že hladina podzemních vod je dynamickým, v prostoru i čase proměnlivým prvkem. Kolísá v závislosti na infiltraci srážkových vod (srážky a geologická propustnost), teplotě, kdy v jarním období jsou podzemní vody obohacovány, a také na stavu povrchových vod, kdy povrchové vody mohou doplňovat podzemní, a obráceně. Celkově je tento pohyb velice komplikovaným a těžce pozorovatelným jevem (Krásný *et al.* 2012).

Poslední jev, který ovlivňuje hydraulickou spojitost je kolmatace dna, snižující propustnost koryta, která je způsobena pohybem plavenin a splavenin, a to jak na dně řeky, tak vně (Muzikář 2014) a celkově zamezuje vstupu povrchové vody do hyporeálu.

Za antropogenní vlivy na zvyšování zanášení těchto pórů lze uvést nevhodné hospodaření na přilehlých pozemcích, odlesňování, stavbu přehrad na řekách a silnic v jejím okolí nebo narovnání toků (Sophocleous 2002). Zanášení také umocňuje špatné, či zcela chybějící čištění odpadní vod, které kontaminují řeky organickými částicemi. To také snižuje bohatost a různorodost diverzity (Morales-Sanchéz *et al.* 2018).

Druhové složení společenstva organismů obývající hyporeál, tzv. *hyporeos,* je omezeno možnostmi organismů aktivně pronikat či pasivně se infiltrovat do podříčního materiálu. Vyskytují se zde řasy, sinice, prvoci, buchanky, plazivky, jepice, pošvatky, pijavice, ploštěnky, různé larvy a řada dalších (Cílek *et al.* 2017, Lellák *et* Kubíček 1991). Ze všech subsystémů je hyporeál nejkonzervativnější a zásahy do jeho struktury vyžadují dlouhodobou stabilizaci. Jeho ekologický význam narůstá u toků s extrémními podmínkami nebo u toků vystavených negativním vlivům antropické aktivity (Lellák *et* Kubíček 1991).

Jakýkoliv teplotní či kyslíkový režim popsaný výše, je značně omezen v korytech řek, které jsou buď opevněny, či dokonce zatrubněny. Takto zcela ekologicky nevhodnou úpravou bohužel prošlo v minulosti až na 80 % drobných toků, a to zcela nesmyslně i v podhorských oblastech a na vysočinách (Adámek *et al*. 2010). Momentálně s následnou revitalizací hyporeálu zkušenosti doposud zcela chybějí (Štěrba *et al.* 2008).

3.2.2 Proudění řeky

V tocích existují dva druhy proudění:

- laminární
- turbulentní

Během laminárního proudění se částice pohybují v navzájem rovnoměrných drahách, kdežto v turbulentním se částice pohybují po nepravidelných drahách a rychlost je proměnná jak co do velikosti, tak do směru (Mattas 2014). Turbulentní proudění, má pro organismy oproti laminárnímu spoustu výhod. Voda lépe přijímá vzdušný kyslík a tím pádem je také méně kontaminovaná živinami (Bagdžinuaté-Litvinaitiené *et* Litvinaitis 2017). Turbulentní proudění prokysličuje anoxické sedimenty v hyporeálu (Atapaththu *et al.* 2017), a proto je i jednou z podmínek pro život perlorodky (Thielen 2011). Ideální rychlost pro život p. říční je 0,3-0,6 (0,7) $m.s.^{-1}$ (Jung *et al*. 2013, Moorkens *et* Killeen 2014).

3.3 Povodí Vltavy a řeka Malše

Povodí Vltavy odvodňuje velkou část jihozápadních a částečně i centrálních oblastí České vysočiny. Jeho správu zajišťuje Povodí Vltavy státní podnik (s. p.) se sídlem v Praze, a dále se dělí na další tři závody – Horní Vltava, Dolní Vltava a Berounka. Povodí má celkovou plochu 27 580 km^2 s délkou toků 4 881 km. Nejvyšší vrchol povodí je Plechý s výškou 1 378 m.n.m.. Z hlediska správního členění leží povodí na území pěti krajů. Pro Povodí Vltavy je charakteristické málo propustné podloží a velká hustota říční sítě, proto se zde vytváří prostor pro velký průtok v době extrémních srážek (Němec *et al.* 2006).

3.3.1 Malše

Malše pramení v Rakousku na svazích hory Vienberg, pod názvem Maltsch. Její tok v horní části meandruje v údolí přírodního charakteru (obr.6) (Němec *et al.* 2006, Němec *et al.* 2009), dále mezi Dolním Dvořištěm po Rychnov nad Malší proudí rychle úzkým korytem se zarostlými břehy, s mnoha prudkými zákrutami. Řeka v této oblasti teče přes četné peřeje a až později se tok zklidňuje. Dno koryta je na horním toku kamenité s balvany, v tišinách s klidnou vodou. Krajina v oblasti Cetvin je pestrá a členitá, s mozaikou lesů a luk. Šíře koryta je k Marešovu jezu 2–5 metrů (dále m), u obce Výheň se rozšiřuje na 8 m, za hrází Římov na 20 m. Dále Malše teče údolím se strmými a zalesněnými stráněmi, které se otevírají do otevřené zemědělské krajiny (Štefáček 2008). Poté Malše protéká osídlenou krajinou upraveným korytem až do Českých Budějovic, kde z pravé strany vtéká do Vltavy (Němec *et al.* 2006, Němec *et al.* 2009). Dle Culka *et al.* (2013) se okolí zájmového území řadí do oblasti v mírně teplých podmínkách s nepůvodní smrkovou a borovou kulturou s příměsí buku, dubu a jedle. Potenciální vegetací jsou však doubravy s příměsí jedlí s luhy podél řek.

Jejími největšími přítoky jsou toky Černá a Stropnice. Odtok je významně ovlivněn vodárenskou nádrží Římov, vybudovanou v letech 1971–1978, s hrází vysokou 47,5 m, sloužící jako vodní zdroj pro České Budějovice (Němec *et al.* 2006, Němec *et al.* 2009). Plocha povodí Malše je 979 km^2 a délka 94 km s dlouhodobým průměrným ročním průtokem 6,92 m/s. (Němec *et al.* 2006).

Podrobný chemismus toku byl zpracován například v rámci projektu v roce 2015 Simonem, Kladivovou a členy VÚV TGM (Anonym 2015).

3.3.2 Malše a její ochrana

Řeka protéká Přírodním parkem Novohradské hory, vyhlášeným v roce 1999. V údolní nivě se nachází Přírodní památka Úval Dolní Přibrání, vyhlášená v roce 1992, ležící

u pravého břehu Malše. Dále se zde nachází Evropsky významná lokalita Horní Malše. V lokalitách je významný výskyt populace perlorodky říční (Albrecht 2003, Nařízení vlády č. 318/2013 Sb.), z tohoto důvodu byla EVL vyhlášena (Bílý *et* Simon 2012).

3.3.3 Problémy Malše

Obecně se dá říci, že horní část je v méně narušeném stavu, oproti části spodní. I zde však bohužel proběhlo několik nevhodných úprav toku i přítoků a během těžby dřeva došlo k poškození a přebudování pramenišť a kapilár, které mění splaveninový režim toku, jelikož jsou náchylné k erozi. Niva Malše nad Kabelským potokem je zcela nevhodně zalesněna smrkem, který negativně ovlivňuje teplotní režim. Některé části jsou zcela zavaleny písčinami, které nedovolují kolonizaci perlorodek a střední a dolní tok je velice negativně ovlivněn hospodařením a vypouštěním odpadních vod (AOPK 2013). Obecně lze konstatovat, že okolní konvenční zemědělství a lesní těžba zvyšují zanášení vodního dna a negativně tak přispívají k ucpávání intersticiálních prostor, a tak celkově dochází k degradaci vhodných stanovišť pro perlorodku (Wilson *et al.* 2011).

3.4 Perlorodka říční

Perlorodka říční je sladkovodní dlouhověký mlž a významný přirozený indikátor stavu oligotrofních vod, jež patří mezi jedny z nejohroženější v naší přírodě (Němec *et al.* 2006). Tento druh je enormně náročný na čistotu vody (Bílý *et* Simon 2012). Adultní jedinec osidluje písčitá dna (Varandas *et al.* 2013), ze kterých svou nepatrnou částí vyčnívá nad dno (Cílek *et al.* 2017, Dyk *et* Podubský 1956). Obývá prostředí horských řek chudých na anorganický vápník (tedy vápník rozpuštěný z horninového prostředí), ale bohaté na organický vápník (rozpuštěný z rostlinného materiálu) (Slezáková 2016). Z tohoto důvodu má starší části lastury od vrchu zkorodované (Hartman *et al.* 1998, Lampert *et* Sommer 2007, Smrž 2013). V okolí ideálního prostředí perlorodky se nachází vlhké louky nebo řídké lesy s bylinným podrostem (Příloha 2) (Patzenhauerová *et al.* 2011). Pokud najdou dospělí jedinci příhodné stanoviště, vydrží dlouho na jednom místě a jen výjimečně se z něho vzdalují. Přirozeně se vyskytují v početnějších koloniích (Dyk *et* Podubský 1956). Dospělí jedinci vytváří silnostěnné, tmavohnědé, ve stáří černé lastury ledvinového tvaru, spojené pružným kožovitým vazem, dlouhé 80–120 milimetrů, ve které se v plášťové dutině mohou výjimečně tvořit perly. Jejich vývoj trvá 5–7 let, kdy je cizorodé tělísko, například písek, obalováno vrstvami perleti (Anděra *et al.* 2010, Dyk *et* Podubský 1956, Pfleger 1988). Perlorodka má vysoké nároky na dlouhodobou stabilitu chemických a fyzikálních vlastností vodního prostředí, na vhodnou

strukturu dna a složení ichtyofauny (Němec *et al*. 2006). Nejcitlivější na tyto vlastnosti jsou mladá stádia opouštějící hostitelské ryby (Horsák *et al*. 2013). V závislosti na úživnosti prostředí lze rozlišit různé formy perlorodek dle délky života na krátkověké, středněvěké a dlouhověké, a to od jihu na sever, kdy na jihu žijí nejméně, na severu nejdéle (Patzenhauerová *et al.* 2011).

3.4.1 Výskyt perlorodky

M. margaritifera byla původně rozšířena po celé severní polokouli, ale dnes zbývají jen malé ostrůvky, kde tento vzácný mlž přežívá (Kholová 2019). Právě velikost a různorodost biotopů ovlivňuje diverzitu druhů (Sklenička 2003). Nejvýznamnějšími oblastmi rozšíření perlorodky byly Skotsko, Skandinávie, Německo, Polsko, Litva, Estonsko, Bělorusko, severozápadní Rusko a část severní Ameriky. Do centrální Evropy pronikla po tahových cestách lososa obecného a pstruha potočního, kteří jsou dočasnými nositeli jejich larev (kap. 3.4.2). Perlorodka byla u nás více rozšířená (Dyk *et* Podubský 1956, Pfleger 1988), její populace začala klesat v 19., a rapidně pak klesla ve 20. století (Bílý *et* Simon 2012). Dnes je její hlavní výskyt v České republice pouze v povodí Vltavy (Němec *et al.* 2006), vzácně na Českomoravské vrchovině, Jeseníkách (Hartmann *et al.* 1998), v řece Otavě (Smrž 2013), a ve dvou řekách v Ašském výběžku (Patzenhauerová *et al.* 2011). Historicky žila také na Vidnavsku na Moravě (Horsák *et al.* 2013). Dnes se odhaduje, že početnost druhu klesla asi na 1 % z původní populace (Simon *et al*. 2015, Slezáková 2012). Podle Bílého (ústní sdělení) je v současné době známo 7 lokalit výskytu a je typickým zástupcem bentosu pstruhového pásma řek (Kleczek 2011).

3.4.2 Vývoj perlorodky

Perlorodka říční má složitý cyklus. V nenarušeném prostředí se může dožívat až 130 let věku, pohlavní dospělost nastává mezi 15. až 20. rokem a končí zhruba ve věku devadesáti let. Oplodněná samička produkuje asi 3 miliony vajíček, které v jejích žaberních vacích dozrávají a po oplození se mění na glochidie (larvy), vypouštěné samičkou ve shlucích do proudící vody. Larvy vydrží být v této fázi naživu jen několik desítek hodin, a proto musí být zaneseny pasivně do žaberního aparátu ryb, bez kterých by nemohl probíhat další vývoj larev. Tento vývoj larev může trvat 3 až 11 měsíců. Kromě ryb, konkrétně lososa a pstruha, je také žádoucí výskyt dravce, jenž přirozeně udržuje mladou populaci ryb a různých bezobratlých živočichů, kteří napomáhají rozkladu rostlinné hmoty, kterou se perlorodky živí. Ryba, která perlorodky už jednou přijala, si proti nim vytvoří imunitu a při příštím kontaktu je nepřijme. Perlorodka

následně opouští žábry hostitele na dno toku, kde se pomocí nohy zahrabává do substrátu a stává se juvenilním jedincem. V této době je pro juvenily nejdůležitější kvalita substrátu dna, jako jsou teplota, rozpuštěný kyslík a typ dna, jinak jedinci hynou. Ve dně zůstávají do 5–10 let věku (AOPK 2013, Němec *et al.* 2006). Přesné rozmezí hloubky, do kterých se juvenilní jedinci zahrabávají, ještě nebyla stanovena (Quinlan *et al.* 2015). Buddensiek *et al.* (1990) při svých studiích používali horizont hluboký 2-10 cm, Geist *et* Auerswald (2007) 10-15 cm.

3.4.3 Ochrana druhu

Perlorodka říční je chráněna už od dob Rakouska-Uherska (Vaníčková *et al.* 2015), v České republice je dnes chráněna zákonem č. 114/1992 o ochraně přírody a krajiny, evropskou Směrnicí o stanovištích 92/43/EEC v rámci soustavy Natura 2000 (AOPK 2013) a Bernskou úmluvou (Araujo *et* Ramos 2000). Úbytek populace není jen problémem ČR, ale celé Evropy. V praxi ochrana perlorodky zahrnuje nejen opatření podporující populaci druhu a jeho hostitelů, ale také postupy zlepšující kvalitativní parametry obývaného vodního prostředí, včetně okolních terestrických biotopů s vazbou na toto prostředí (AOPK 2013), a také záchranné přenášení jedinců v době sucha do prostředí s větším počtem vody.

Současná generace perlorodek jsou staří jedinci, jelikož je zde posledních 40 až 50 let velmi omezená reprodukce. Pro její zdárný průběh potřebujeme zlepšit stav zemědělské a lesní půdy, snížit úroveň eroze, upravit skladbu lesních porostů a zvýšit kvalitu vody. Počty mlžů se snižují také v důsledku nevhodných úprav řek, jako hrází, jež snižují obsah rozpuštěného O_2 a zvyšují vznos jemných částic (Sousa *et al.* 2020), dna vodních toků i vysazování nepůvodních druhů ryb (Anděra *et al.* 2010, AOPK 2013). Lovením perlorodek ondatrou (*Ondatra zibethicus*, Link 1795) v zimním období (Araujo *et* Ramos 2000, Dyk *et* Podubský 1956), situaci nezlepšuje ani introdukce nepůvodních druhů organismů, jako příklad může být uveden výskyt raka signálního (*Pacifastasus lenisculus*, Dana 1852) na horním toku Malše (Simon *et al.* 2015). Dokladem je fotografie z léta 2019 v příloze 5. Raci obecně konzumují vodní bezobratlé živočichy (Nentwig 2014). Výzkum Sousa *et al.* (2019) prokázal predaci raka signálního na perlorodkách a možné ohrožení jejich populace. V ČR přirozeným predátorem perlorodky a ostatních mlžů je podle Cosgrove *et al.* (2007) i vydra říční (*L. lutra*, Linneaus 1758) vyskytující se také v jižních Čechách (Anděra *et* Gaisler 2012).

Přestože se kvalita vod v posledních dobách zlepšuje, kvůli pomalému růstu perlorodek je jejich navrácení do přírody obtížné (Lampert *et* Sommer 2007), a celá budoucnost populace *M. margaritifera* nejistá (Hastie *et al*. 2010). Bohužel lidé nedoceňují kvalitu čistých řek a často vůbec nemají informace o lokalitách, perlorodce,

o vhodných zemědělských a lesnických opatřeních a o záchranném programu obecně (Slezáková 2019).

3.4.4 Posilování populace

Posilování populace s nízkou početností probíhá vypouštěním dalších jedinců z chovu. Tím se zvyšuje populační hustota i genetická variabilita ohrožené populace (Kolář *et al.* 2012). U *M. margaritifera* jsou v zásadě dvě možnosti. Buď vypouštěním invadovaných ryb nesoucích larvální stádia perlorodek nebo výsadba odchovaných mladých perlorodek (tzv. introdukční program). První způsob byl uplatňován mezi lety 1984–2003 na lokalitách Blanice a Teplé Vltavy, následně se přešlo k druhému způsobu, a to do většiny lokalit s domovem starších jedinců, tzn. včetně Malše. Dále byly vybudovány na třech různých povodích odchovné a reprodukční prvky, které stimulují vhodný habitat pro juvenilní jedince. Tato výchova a odchov nicméně požaduje rekonstrukci jejího prostředí, a to hlavně revitalizace povodí. Bez tohoto trvalého opatření perlorodky v dlouhodobém horizontu nepřežijí (Vaníčková *et al*. 2014).

3.5 Kyslík rozpuštěný ve vodě a jeho vztah k organismům

Kyslíkový režim je jeden z nejdůležitějších faktorů všech vodních systémů, je nezbytný pro řadu důležitých chemických a biochemických reakcí a procesů (Lellák *et* Kubíček 1991). Obsah rozpuštěného kyslíku ve vodě se udává hmotnostní koncentrací (mg/l^{-1}) (Kopp 2015).

Kyslík se dostává do povrchových stojatých vod fotosyntetickou asimilací vodních sinic, řas a rostlin, u tekoucích vod z difúzí z atmosféry (Kopp 2015, Pitter 1999). Spotřebovává se zejména při nitrifikaci, aerobním biologickém rozkladu a při oxidaci železa. Rozpustnost kyslíku ve vodách závisí na teplotě (Příloha 7) a na koncentraci rozpuštěných látek, s jejichž vzrůstem klesá. Krom teploty ovlivňuje rozpustnost kyslíku i tlak a při větších výškových rozdílech může být tento vliv podstatný. V řekách, vzhledem k neustálému promíchávání vrstev, není vertikální zonace rozpuštěného kyslíku výrazná. Nasycení se obvykle pohybuje mezi 85-95 % (Pitter 1999), a obecně lze říci, že v tekoucích řekách je rozpuštěného kyslíku dostatečné množství, a to vlivem proudění a malé hloubky (Štěrba *et al.* 2008). Maximální koncentrace O_2 obvykle dosahuje v pozdním odpoledni a během noci opět dochází k poklesu, mj. i vlivem dýchání rostlin a živočichů. Během roku roste koncentrace rozpuštěného kyslíku v období od srpna do prosince, pak opět klesá (Liu *et al.* 2015). Přítomnost či nepřítomnost O_2 značí stav jakosti vod a je nezbytný pro zajištění samočištění povrchových vod. Je zřejmé, že koncentrace rozpuštěného kyslíku je důležitým indikátorem čistoty a kvality povrchových vod

(Pitter 1999, Polášková 2011). V rychle proudícím toku se voda okysličuje a molekuly nežádoucích látek se častěji dostávají do styku s čistícími mikroorganismy na dně toku, a dochází tak k velmi efektivnímu čištění (Chmelová *et* Frajer 2013). Obsah kyslíku je také důležitý ukazatel z hlediska agresivity vody vůči kovům (Pitter 1999).

S kyslíkem se setkáváme jako s hlavním faktorem, který ovlivňuje stav vodních společenstev i osud chemických látek. Jeho koncentrace ovlivňuje nejen jeho přístup ze vzduchu, ale je ovlivněn také producenty, konzumenty a destruenty, kteří při dýchání kyslík spotřebovávají (Anděl 2011). 100% nasycenost vody kyslíkem je při teplotě 0 °C, v případě asimilace může nasycenost vzrůst na 200 % - 250 %. Když naopak dojde k 0 % kyslíku ve vodě, jedná se o kyslíkový deficit. Dochází k němu v případě přemnožení zooplanktonu konzumující fytoplankton, velkému úhynu vodních organismů, zákalem, přítokem odpadních vod s organickými látkami nebo při rozkladných procesech a respiraci (Sukop 2006), či smyvem živin (fosfor a dusík) z polí (Mezřický 2005).

Co se ryb týče, koncentrace nárokované na rozpuštěný kyslík se liší podle druhu a podmínek, například velmi náročné jsou lososovité (v létě min. 5,5 mg/l) (Kopp 2015, Pitter 1999). Obecně lze říct, že možnosti života pro ryby jsou větší ve vodě studené, než teplé (Dyk *et* Podubský 1953).

Kyslík je jeden z limitujících ekologických faktorů pro sladkovodní organismy spolu s teplotou a průhledností, a tvoří základní charakteristiky bioindikace ve vodním prostředí (Anděl 2011). V tocích je koncentrace vyrovnanější než ve vodách stojatých a nevytvářejí stratifikační gradienty ani anoxické situace. Výjimku tvoří dolní, lentické (stojaté) a hluboké úseky řek s bahnitým dnem, kde k takovým situacím může přechodně docházet. Koncentrace kyslíku v tekoucích vodách je vlivem proudění a malé hloubky většinou dostatečná, a to i v případě, že není dotována činností zelených rostlin (Štěrba *et al.* 2008).

Perlorodka říční má potřebu velice vysokého nasycení kyslíkem – okolo 100 % (AOPK 2013), což ve standardním tlaku (0 m.n.m.) 760 torr a při teplotě 0 °C je 14,7 mg/l O_2. V 500 m.n.m. a při 20 °C je hodnota O_2 8,8 mg/l, při 15 °C 9,4 mg/l (Vymazal, ústní sdělení). Dle Geist *et* Auerswald (2007) vydrží *M. margaritifera* i krátkodobé deficity rozpuštěného kyslíku. Thielen (2011) uvádí jako vhodné prostředí při rozpětí 7,6 – 16,2 mg/l O_2.

3.6 Oxidačně redukční potenciál

Redox vyjadřuje potenciál, na který se nabíjí kovová, nejčastěji platinová elektroda, ponořená do roztoku s rozpuštěnými látkami v redukované nebo oxidované podobě. Potenciál se vztahuje vůči potenciálu vodíkové elektrody, hodnota potenciálového rozdílu je úměrná

logaritmu poměru redukované a oxidované látky (Lellák *et* Kubíček 1991). Díky redoxu lze určit, zda prostředí je aerobní či anaerobní (Vepraskas 2002). Schlesinger (1991) uvádí rozpětí hodnot, a to pro hůře prokysličené prostředí pod 300 mV, a lépe prokysličené nad 300 mV.

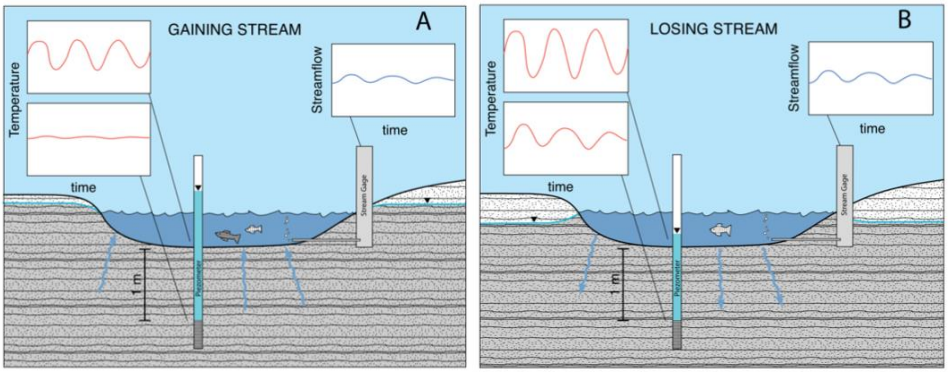
3.7 Teplota vody

Teplota vody patří spolu s barvou, zákalem, pachem a chutí mezi organoleptické vlastnosti vody, to znamená, že jsou zjistitelné smyslovými orgány. Teplota vody je významný ukazatel jakosti a kvality vody, která výrazně ovlivňuje chemickou a biochemickou aktivitu, a tím i proces samočištění (Pitter 1999). Hlavní zdroj tepla pro vodní prostředí jsou infračervené záření a geotermální zdroje (Kopp 2015).

Průměrné teploty vod povrchových jsou kolem 10 °C (Pitter 1999), teplota povrchové vody vzrůstá směrem dolů po proudu a mění se v závislosti na roční i denní době (Gordon *et al*. 2010). Pro příklad, teplotní rozmezí ve Vltavě u Pěkné na Šumavě je 1,0 – 17,0 °C s průměrnou teplotou 7,1 °C, ovšem například ve Hřensku na řece Labi je rozmezí 4,0–21,8 °C s ročním průměrem 11,6 °C (Pitter 1999).

Teplota podzemních vod byť bývá konstantní, většinou kolem 9 °C, ve vyšších polohách může tato hodnota klesat až k 2 °C (Pitter 1999).

Na následujícím obrázku 5 jsou zobrazeny teplotní výkyvy (červené křivky nalevo) při downwellingu a upwellingu v říčním toku ve zvodni. Ukazuje, že při upwellingu (A) dochází ve vrchních vrstvách ke kolísání teplot během dne, kdežto v hyporeálu řeky je kolísání velmi malé. Je způsobeno dotací podzemní vody, která jak již bylo uvedeno o dva odstavce výše, má stálou teplotu. U varianty B dochází k prosakování povrchové vody, nedochází tedy ke vzlínání podzemní vody. Voda v hyporeálu je více ovlivněna denními fluktuacemi a křivka teplot má větší výkyvy nežli v předchozím případě (Constantz 2008).



Obr. 5: Průběh teplot u dna a ve dně toku během vynořování (A) a vnořování (B) vody (Constantz 2008)

Pro perlorodku říční jsou zásadní nízké letní teploty bránící úspěšnému reprodukčnímu cyklu a snižující se úživnost detritu. Nejkritičtější okamžik ovlivněný teplotou je vývoj glochidií v žábrách ryby, kdy pro úspěšnou přeměnu je potřeba dosáhnout součtu denních teplot 1300 °C. Je žádoucí, aby teplota vody překročila po určitou část roku 15 °C, aby docházelo k úspěšnému vývoji glochidií u samic a jejich vypouštění. Maximální vhodné teploty během roku musí být do 20 °C (AOPK 2013), což pstruhová pásma v našich šířkách průměrně stejně nedosahují (Angelier 2003).

Zde se jistě nabízí otázka klimatické změny. Dle Boon *et* Raven (2012) zvyšování teploty může pomoci vývoji juvenilních jedinců v perlorodkových řekách. Autoři Sousa et al. (2018) se však obávají častějšího výskytu extrémního sucha, který by negativně ovlivnil ekosystémy velmi čistých vod a populace *M.margaritifera*.

3.8 Bioindikace

Makrozoobentos je považován za nejvhodnější společenstvo pro bioindikaci. Výhody jeho použití jsou dány velkou rozmanitostí téměř ve všech sladkovodních biotopech, způsobem života, který je vázán na určitou lokalitu a prostředí a délkou života druhů, umožňující zachycení situace po několik měsíců až let. Saprobní index je u nás nejrozšířenější metoda hodnocení kvality vod s důrazem na organické znečištění. Tento index je založen na systému tolerance jednotlivých indikačních druhů ke stupni znečištění vody lehce odbouratelnými organickými látkami, u bezobratlých je to především vztah ke koncentraci rozpuštěného kyslíku. Saprobní systém jakosti lze rozdělit na:

- katarosaprobita (velmi čistá voda bez oživení)
- limnosaprobita (přírodní vody s oživením, aerobní stavy až makroaerobie)
- eusaprobita (odpadní vody znečištěné biochemicky odbouratelnými látkami)
- transsaprobita (odpadní vody znečištěné neodbouratelnými látkami)

Limnosaprobita lze dále dělit na stupně:

- xenosaprobita (nejčistší oživená voda)
- oligosaprobita
- betamezosaprobita
- alfamezosaprobita
- polysaprobita (teoreticky nejhorší kvalita přírodních vod)

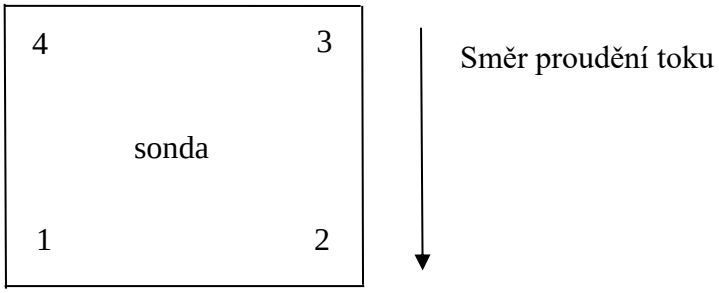
Řeky a říčky s výskytem perlorodky jsou hraniční s úrovní xenosaprobity, lze jí proto určit jako vhodný indikátor pro zcela čisté, či téměř neznečištěné toky (Bílý *et* Simon 2012).

Bioindikace umožňuje odchování, případně hodnocení kvality prostředí na základě mortality a přírůstků juvenilních jedinců *in situ*. Bioindikace jsou v současnosti jedinou metodou získávání dat o přírůstcích perlorodky v dané lokalitě za danou dobu a jedná se o standardní postup spolu s kontrolováním chemismu vody při obnově a ochraně perlorodky. Metodou lze také sledovat efektivitu opatření prováděných za účelem zlepšení stavu prostředí (AOPK 2013).

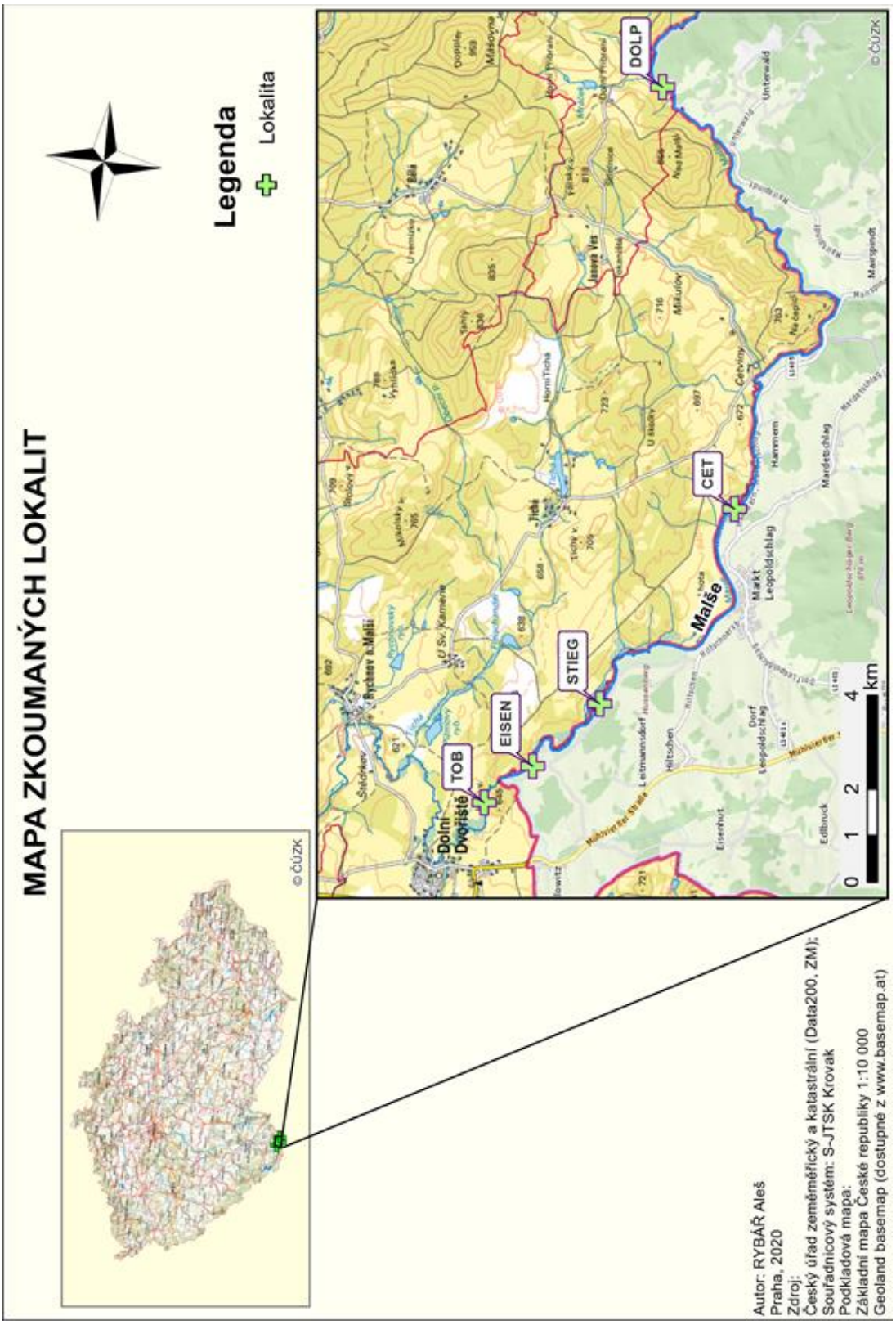
4 Metodika

Na jaře roku 2019 bylo vytipováno s pomocí měření redox potenciálu (viz kap. 4.3) pět lokalit na horním toku Malše tak, aby zahrnovaly různé spektrum typů dna v různých úsecích toku. Na některých lokalitách hrála při výběru i skutečnost stávajícího výskytu jedinců perlorodky (lokalita Tobau). Na některých lokalitách bylo nalezeno více vhodných míst, proto bylo vytyčeno celkem 9 testovaných ploch. Plochy byly umístěny na místech hlubokých asi 10-30 cm při běžném stavu hladiny vody. Všechny plochy měly tvar čtverce o straně 1 m. Čtverce byly vytyčeny s cílem umístit na ně bioindikační jednotky s juvenilními perlorodkami pro stanovení optimálního prostředí pro budoucí reintrodukci, a to ve 4 mikrohabitatech každého čtverce (obr.6.). Během celé doby přípravných měření byl každý čtverec označen čtyřmi dlouhými hřebíky zatlučenými do dna v rozích tak, aby jejich vrchní část byla vidět nade dnem. Hřebíky byly vytaženy během instalace bioindikačních jednotek (obdoba Buddensiekových destiček pro instalaci v hyporeálu (Černá *et al*. 2017)). Po instalaci jednotek do dna v rozích každého čtverce, vyčnívaly nade dno hadičky, jež byly spojeny s destičkami a sloužily k nasávání intersticiální vody z hloubek 3 a 7 cm. Dále byla do středu čtverce do 3 cm hlubokého horizontu nainstalována kontinuální kyslíková sonda, která zaznamenávala hodnoty rozpuštěného kyslíku ve dnech 28.7. – 3.9.2019. Na jednotlivých lokalitách probíhaly kontrolní měření ve dnech 3.8., 10.8., 28.8. a 4.9., během kterých se v okolí sondy a každé z destiček měřil na sedmi bodech redoxní potenciál a odebíraly se vzorky vody z hadiček ke stanovení obsahu rozpuštěného kyslíku.

Pro hodnocení výsledků byla využita i data z bioindikace (Bílý *et* Jahelková 2020) (příloha 13) a kontinuálních sond měřící teplotní data (Rojtová, nepubl.), získávaná po celou dobu experimentu.



Obr. 6: Schéma uložení sondy a číslování mikrohabitatů ve čtverci



Obr. 7: Umístění zkoumaných lokalit na Malši. Zdroj mapových podkladů: ČÚZK

Tabulka 1: Souhrn měření vhodných lokalit, včetně GPS souřadnic

Pořadí lokality	Pracovní označení lokality	Kód (bioindikace 2019)	Označení čtverců na dané lokalitě	GPS souřadnice lokality
1	Dolní Přibrání	**DOLP**	DOP_A	48.62691, 14.60310
2	Cetviny	**CET**	CET_B	48.61737; 14.52199
3	Bifurkace	**STIEG** (Stiegersdorf)	STIEG_C STIEG_D STIEG_E	48.63528; 14.48448
4	Velká pláž	**EISEN** (Eisenhuterbach)	EISEN_F EISEN_G	48.64416; 14.47250
5	Smrčák	**TOB** (Tobau)	TOB_H TOB_I	48.65060, 14.46548

4.1 Popis lokalit

DOLP (Dolní Přibrání)

Jedná se o nejvýše položenou lokalitu s nejnižší průměrnou teplotou vody, jež se může jevit jako limitující faktor pro přežívání perlorodek. Povrch dna je štěrkový, se značnou variabilitou příčného profilu. Pravý břeh je obklopen smíšenými lesy, levý břeh je svažující se obhospodařovaná louka.

CET (Cetviny)

Lokalita Cetviny leží pod znečišťujícím přítokem Felberbach, po obou březích jsou doprovodné listnaté dřeviny a obhospodařované louky. Typ substrátu dna je hrubý štěrk. Foto dokumentace v příloze 2.

STIEG (Stiegersdorf)

Tato lokalita je nejvíce skrytá a nejhůře dostupná. Dno je spíše písčité, či štěrkopísčité, s písčitými lavicemi nahromaděnými u kořenů stromů, nejčastěji vrby, které rostou přímo v toku. Koryto je velmi široké, nestabilní a během letního měření došlo k výraznému poklesu hladiny a obnažení části břehů.

EISEN (Eisenhuterbach)

Na obou březích se nacházejí vzrostlé vrbové porosty, na levé straně jsou sečené, přechodně zamokřené louky. Dno je štěrkopísčité a místy přesýpavé, částice jsou zde rychle unášeny silným proudem, místy je naopak stabilní.

TOB (Tobau)

Lokalita se pracovně nazývá Smrčák, z důvodu umístění ve vzrostlém smrkovém lese. Dno je tvořeno nepříliš stabilním a jemným štěrkopískem s častým výskytem vodních rostlin s převahou hvězdoše (*Callitriche sp.*). Foto dokumentace v příloze 4.

4.2 Měření kyslíku v hyporeálu

K našemu měření kyslíku v hyporeálové vodě byly použity dvě *in situ* metody.

4.2.1 Měření rozpuštěného kyslíku ve vzorcích odebraných hadičkami

Při odběru vzorků kyslíku v první metodě jsme použili cca 30 cm dlouhé PVC hadičky, barevně označené, zavedené po dvou bioindikačních destiček, a to v horní a spodní části destičky v hloubce 3 a 7 cm. Tyto dvojice hadiček jsme měli čtyři na každé z devíti čtvercových ploch (v bodech 1–4), a navíc jednu hadičku vedoucí od kontinuální sondy (viz kap.4.2.2), jež ležela uprostřed čtverce v hloubce 3 cm (bod 5). K odběru vody jsme použili injekční stříkačku o objemu 10 ml. Kvůli propláchnutí hadičky a odebrání intersticiální vody aktuálně proudící v místě odběru, jsme nejprve nabrali dva objemy stříkačky, pokaždé vyprázdnili a rozpuštěný kyslík měřili až u třetí várky, a to pomocí multimetru WTW, který je vyfocen v příloze 6. Měření bylo prováděno takovým způsobem, aby do vzorku vniklo co nejméně okolního kyslíku tak, že na měřící kyslíkové sondě byl navlečen gumový kroužek, jež utěsnil prostor mezi sondou, a stříkačkou. Spodní část stříkačky po odebrání vody byla ucpána rukou a vyndána pístní tyč. Následně jsme zaznamenali jak kyslík, tak i teplotu. Všechny naměřené hodnoty byly zaznamenány po ustálení.

Z důvodu, kdy při měření v letních měsících dosahovala teplota vzduchu 20 až 25 °C, docházelo ve vzorku k rychlému nárůstu teploty a poklesu koncentrace O_2, mohlo zde dojít k jisté nepřesnosti měření. Mohlo tudíž docházet k odchylkám při měření kyslíku z důvodu vzrůstající teploty či kontaminace kyslíku při manipulaci se vzorkem.

4.2.2 Měření rozpuštěného kyslíku sondou

Proto ověřenější kyslíková data pochází z kontinuální sondy HOBO U26-001, která byla ve středu daných čtverců zahrabána do hloubky 3 cm. Sonda zaznamenávala hodnotu rozpuštěného O_2 každou hodinu po dobu instalace s přesností měření 0,2 mg/l, to ve dnech 28.7. – 3.9.2019. Druhá sada dat ze sond pochází ze zimního období, instalace probíhala ve dnech

3.2. – 11.3.2020. Na zimní instalaci sond jsem se nepodílel fyzicky. Sondy v zimně již byly umístěny do dvou čtverců, které se po zhodnocení letních dat zdály jako perspektivní. Ze sondy také vedla cca 30 cm dlouhá PVC hadička pro nasávání hyporeálové vody. Na tyto sondy bylo z důvodu zamezení zanášení hadičky hrubým sedimentem instalováno jemné pletivo (lze vidět v příloze 1). Následně byla data vyjmuta a konvertována pomocí softwaru do tabulek csv a analyzována v Excelu 2016. Fotografie sondy k nahlédnutí v příloze 1. Každý čtverec obsahoval jednu tuto sondu převážně z důvodu vysoké pořizovací ceny, která činí 30 000,- Kč za kus.

4.3 Měření redoxně-oxidačního potenciálu

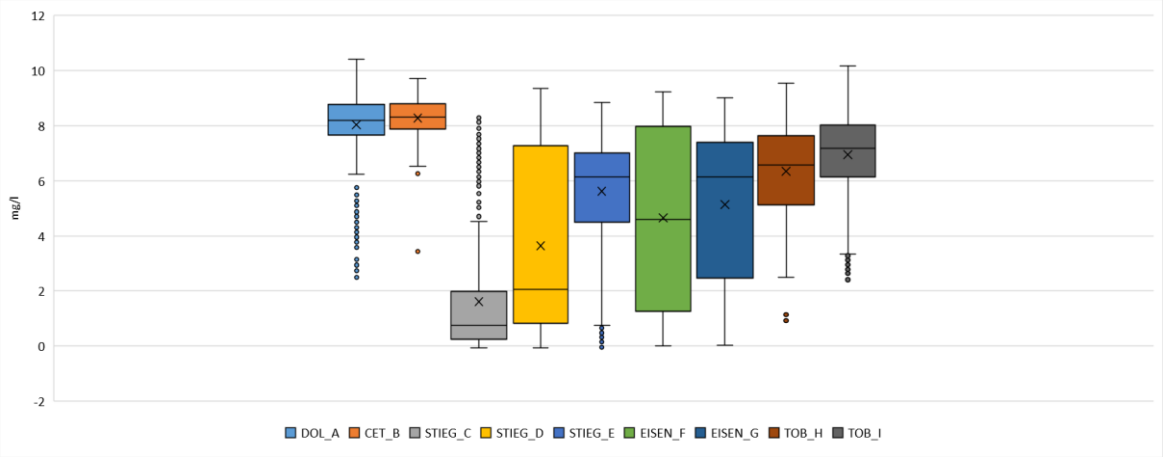
K měření redoxně-oxidačního potenciálu je zapotřebí zapichovací platinová sonda, voltmetr a referenční sonda. Část měření publikovaná v kap. 5 pochází z kontrolního měření prováděného před instalací destiček, sond a teploměrů 26.7.2019, která z důvodu časových možností a nevhodného počasí byla měřena spíše orientačně. Bylo zjišťováno, zda se lokalita nachází z oxidačně-redukčního potenciálu nad či pod hranicí 300 mV, teda jako spíše či méně vhodná pro juvenilní perlorodky. Kompletní sada dat byla naměřena na čtyřech lokalitách. Druhá část sbírání dat probíhala ve dnech 3.8., 10.8., 28.8. a 4.9. Měření redoxu v hyporeálu po instalaci probíhala v okolí bioindikačních destiček během kontrolních dní spolu s kyslíkem z hadiček. Měření probíhalo zapíchnutím platinové sondy do 3 cm, hloubku zápichu jsme poznali díky označení sondy červeným proužkem. Hodnoty mezi Pt sondou a argentchloridovou elektrodou (Ag/AgCl) byly zaznamenány WTW multimetrem a zapsány po ustálení. Před instalací jsme měřili redox na devíti místech ve čtverci. V místě sondy, v místě čtyř rohů, pak uprostřed mezi rohy. Po instalaci destiček jsme měřili sedm hodnot kolem každého rohu čtverce čili 28 hodnot na jedné lokalitě. Během měření se zaznamenávala také hodnota volné vody, jež se do vyhodnocování a zobrazení výsledků nepromítla.

5 Výsledky

Výsledky jsou zde hodnoceny na 3 úrovních, a to 1) na úrovni celého sledovaného úseku řeky, 2) jednotlivých 9 čtverců a 3) vnitřní heterogenity každého čtverce (úroveň mikrohabitatů).

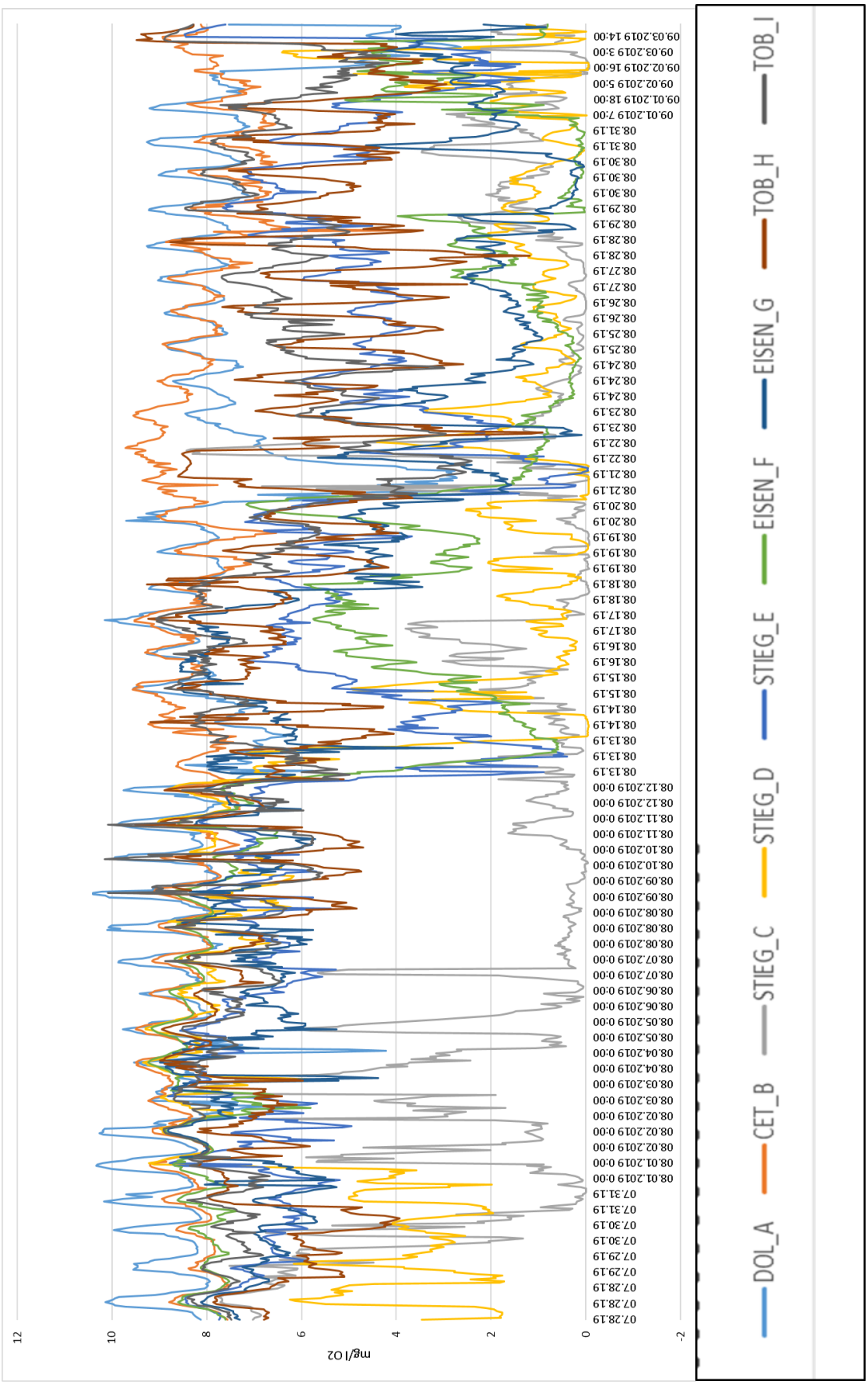
5.1 Výsledky měření O_2 z kontinuálních sond

5.1.1 Výsledky letního měření



Obr. 8: Boxplotový graf výsledků z kontinuálních kyslíkových sond na devíti lokalitách. Měření probíhalo ve dnech 28.7. – 3.9.2019 a každý boxplot obsahuje cca 900 hodnot. Okrajové čárky značí minimální a maximální hodnotu, hrany obdélníku první a třetí kvartil, čára je medián a křížek průměr.

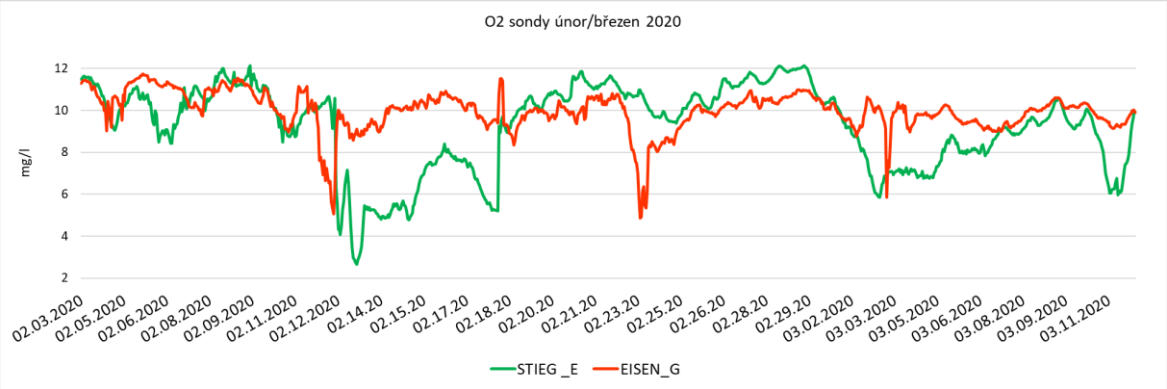
Obr. 9 zobrazuje průběh hodnot koncentrací kyslíku z kontinuálních sond ze středu čtverců. Je zde vidět, že lokality v horní části sledovaného území Dolní Přibrání (DOLP_A) a Cetviny (CET_B) dosahují stabilní křivky a vysokých hodnot. V lokalitách STIEG dochází k velkému propadu hodnot až k nule, to zejména v C lokalitě, průměrná hodnota je zde tudíž nejnižší, a to 1,6 mg/l (obr. 8). Ve čtvercích D a E je patrný propad k velice nízkým hodnotám až v polovině srpna, podobný propad je poté totožný na obou lokalitách EISEN. Na lokalitě Tobau (TOB) se hodnoty opět lehce stabilizují, jejich průběh hodnot je v lokalitě H v rozmezí 4 – 8 mg/l, v lokalitě I 6 – 8 mg/l.



Obr. 9: Průběhy hodnot kyslíku naměřených jednotlivými sondami ve dnech 28.7. – 3.9.2019

5.1.2 Výsledky zimního měření

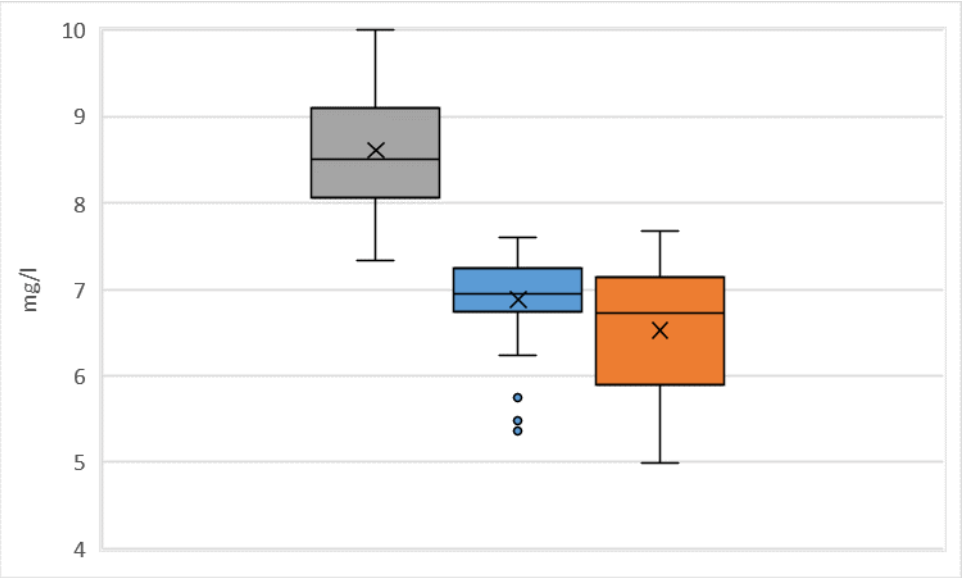
Obr. 10 zobrazuje průběh hodnot v období 3.2. – 11.3.2020 ve čtvercích STIEG_E a EISEN_G. Průměrný obsah rozpuštěného kyslíku na lokalitě STIEG_E činila 9,24 mg/l, ve čtverci EISEN_G 9,95 mg/l. Jedná se tak zhruba o 4 mg/l vyšší koncentraci na těchto čtvercích než při letním měření.



Obr. 10: Průběhy hodnot rozpuštěného kyslíku naměřeného sondami ve dnech 3.2.-11.3.2020

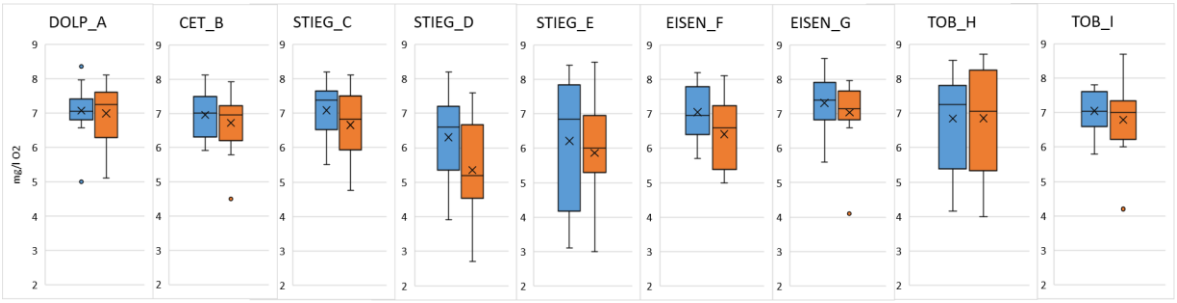
5.2 Výsledky měření časoprostorové distribuce rozpuštěného kyslíku na devíti čtvercích

Průměrná hodnota rozpuštěného kyslíku na všech devíti sledovaných čtvercích dosahovala ve 3 cm horizontu vyšší hodnoty než v 7 cm hlubokém horizontu (obr.11). Ve 3 cm také dosahovala menší variability. Lze z toho usuzovat, že některé lokality jsou ovlivněné spíše vnořováním podpovrchové vody přinášející menší koncentraci kyslíku. Průměrný naměřený O_2 ve volné vodě měl o poznání (cca 1,5 mg/l) vyšší hodnotu, než v 3 cm (obr.11).



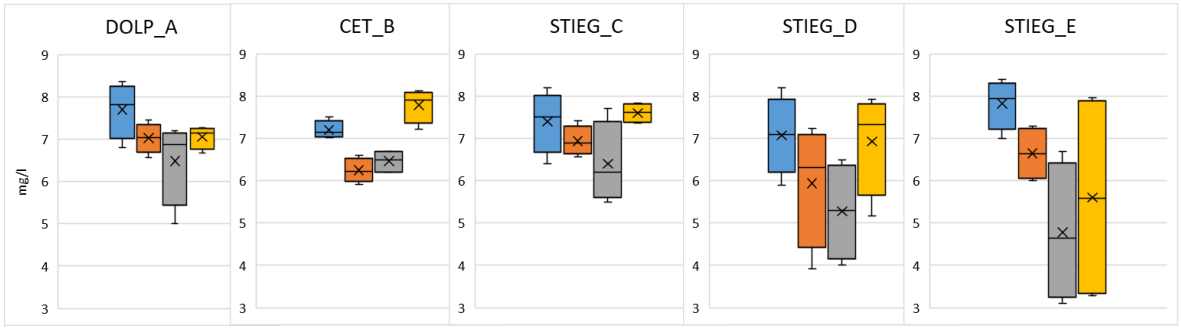
Obr. 11: Boxplotový graf hodnot rozpuštěného kyslíku ve volné vodě (šedě) a dvou hloubkách (3 cm modře a 7 cm oranžově) na devíti lokalitách (ruční měření oximetrem). Druhý a třetí box obsahuje 4 měření na 4 destičkách na devíti čtvercích, tj. 144 hodnot, první

Nejvyšší průměrná hodnota ve 3 cm byla naměřena ve čtverci EISEN_G, nejnižší ve čtvercích STIEG_D a STIEG_E (obr. 12). Zajímavostí je jistě velký rozdíl mezi samotnými lokalitami EISEN a TOB, a také velké rozdíly v samotném čtverci TOB_H a STIEG_E, svědčící o velké heterogenitě v rámci čtverců. Malý rozptyl a rozdíl mezi 3 a 7 cm hlubokým horizontem na lokalitách DOLP_A, CET_B, EISEN_G a TOB_I značí stálý O_2, tedy pravděpodobně i stálost dalších podmínek, třeba teplotu. Proto se můžeme domnívat, že se zde projevuje downwelling, což potvrzuje předchozí měření z kontinuální sondy.

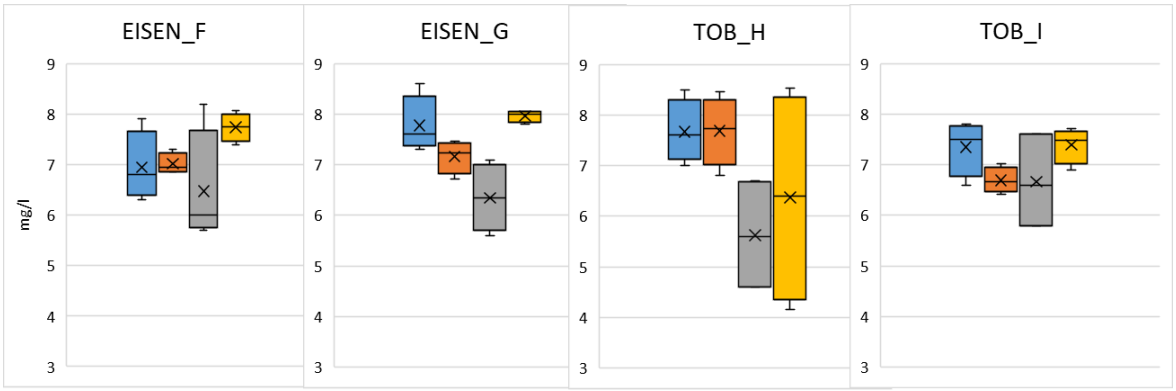


Obr. 12: Boxplotový graf hodnot rozpuštěného kyslíku ve dvou hloubkách (3 cm modře a 7 cm oranžově) na devíti čtvercích. Každý box obsahuje 4 měření na 4 destičkách. Měření probíhaly ve dnech 3.8., 10.8., 28.8. a 4.9. Okrajové čárky značí minimální a maximální

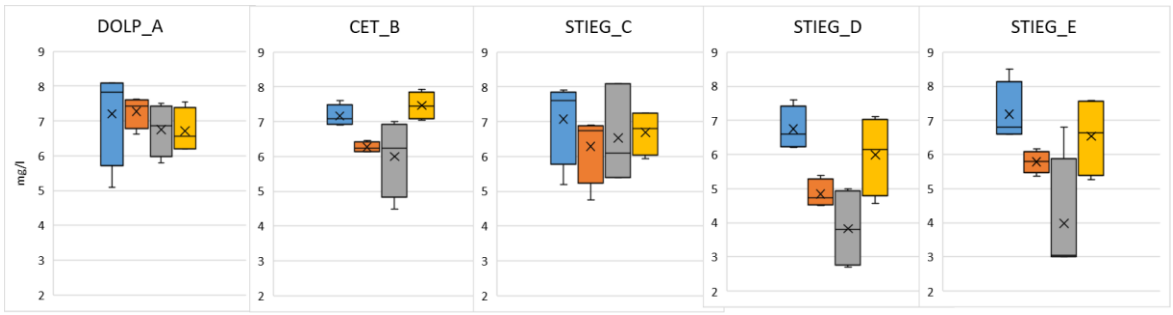
Zobrazení hodnot rozpuštěného kyslíku na jednotlivých mikrohabitatech (rozích čtverců) ve 3 cm hlubokém horizontu lze vidět v následujícím boxplotových grafech na obrázcích 13 a 14, v 7 cm hlubokém horizontu na obrázcích 15 a 16.



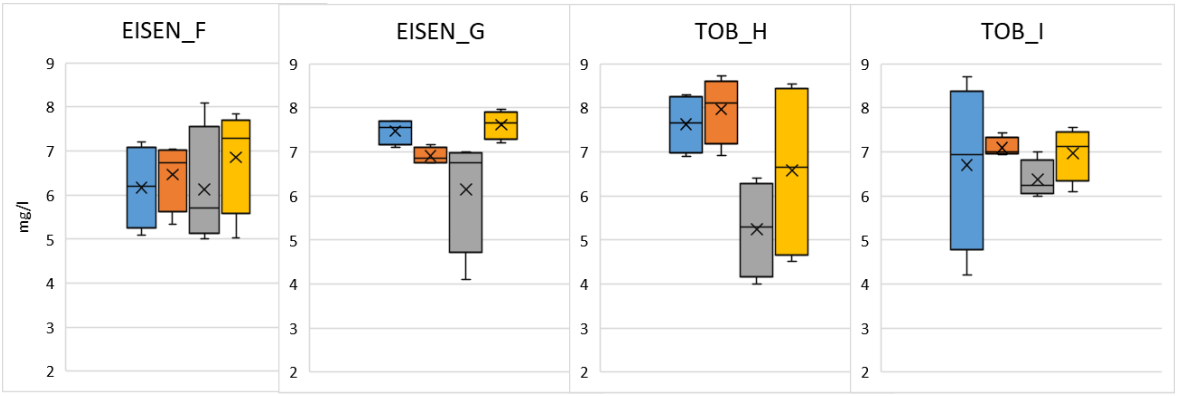
Obr. 13: Rozptyl hodnot rozpuštěného kyslíku na jednotlivých mikrohabitatech A-E (1. modrý. 2. oranžový, 3. šedý, 4. žlutý) ve 3 cm horizontu. Každý boxplot obsahuje 4 měření. Okrajové čárky značí minimální a maximální hodnotu, hrany obdélníku první a třetí kvartil, čára je medián a křížek průměr



Obr. 14: Rozptyl hodnot rozpuštěného kyslíku na jednotlivých mikrohabitatech F-I (1. modrý. 2. oranžový, 3. šedý, 4. žlutý) v 3 cm horizontu. Každý boxplot obsahuje 4 měření. Okrajové čárky značí minimální a maximální hodnotu, hrany obdélníku první a třetí kvartil, čára je medián a křížek průměr

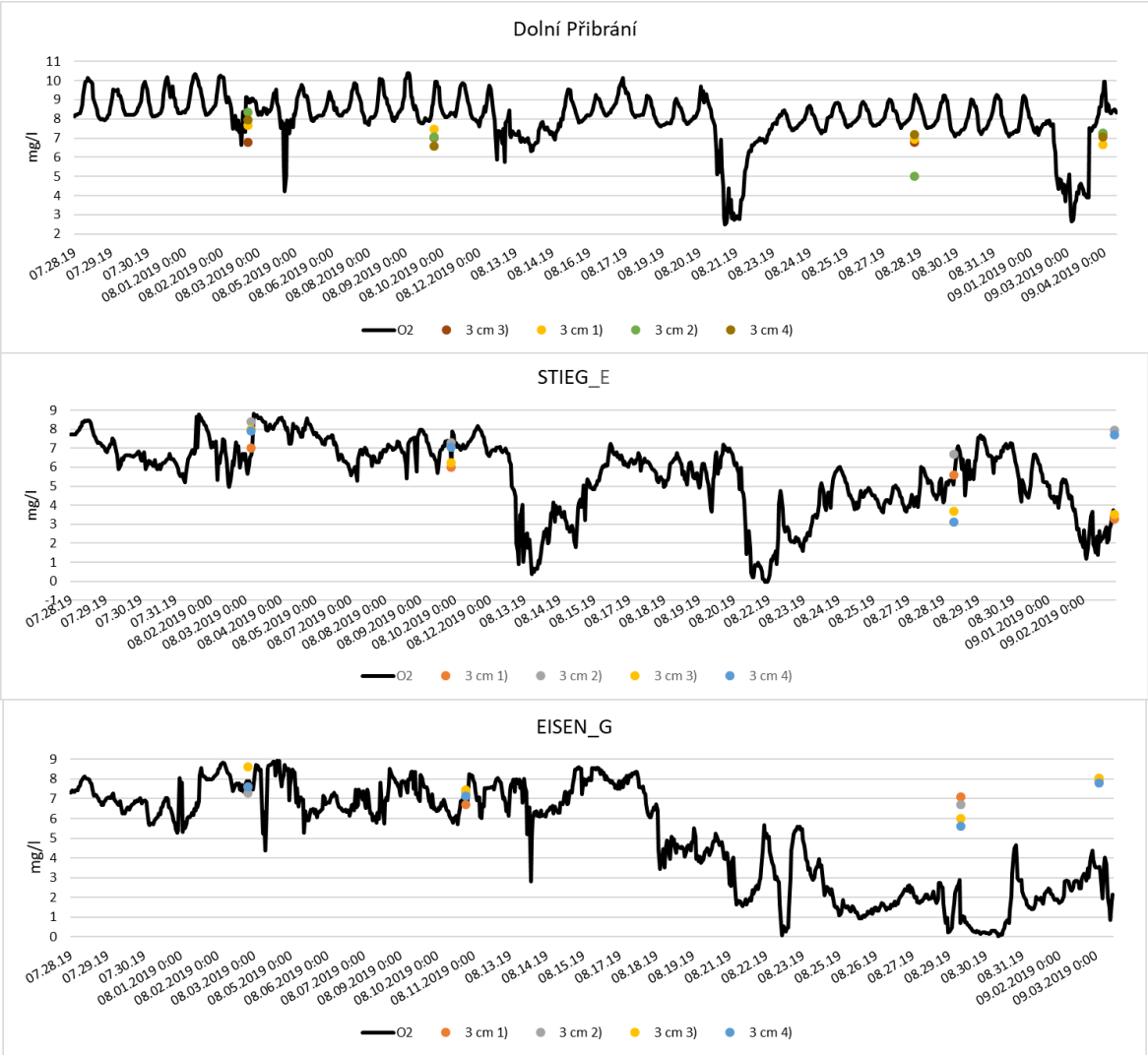


Obr. 15: Rozptyl hodnot rozpuštěného kyslíku na jednotlivých mikrohabitatech A-E (1. modrý. 2. oranžový, 3. šedý, 4. žlutý) v 7 cm horizontu. Každý boxplot obsahuje 4 měření. Okrajové čárky značí minimální a maximální hodnotu, hrany obdélníku první a třetí kvartil, čára je medián a křížek průměr



Obr. 16: Rozptyl hodnot rozpuštěného kyslíku na jednotlivých mikrohabitatech F-I (1. modrý. 2. oranžový, 3. šedý, 4. žlutý) v 7 cm horizontu. Každý boxplot obsahuje 4 měření. Okrajové čárky značí minimální a maximální hodnotu, hrany obdélníku první a třetí kvartil, čára je medián a křížek průměr

Na obr. 17 jsou znázorněny průběhy teplot zaznamené kontinuálními sondami s hodnotami z hadičkového měření O_2. Je na nich patrné, jak hodnoty měřené oximetrem například ve čtvercích STIEG_E a EISEN_G ve dnech 3.8., 10.8 (první a druhé měření) korespondují se sondou. Během třetího a čtvrtého měření na všech třech čtvercích se hodnoty rozcházejí.

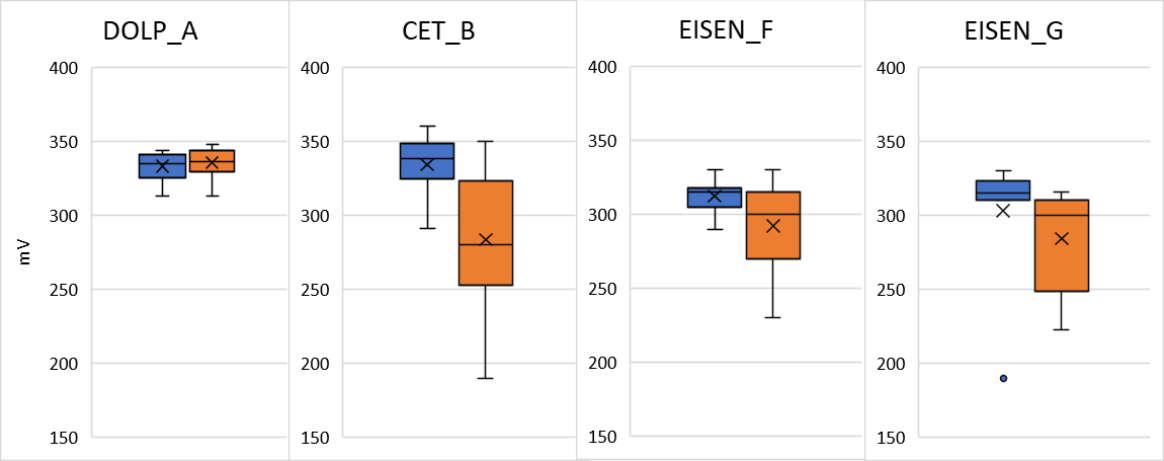


Obr. 17: Průběh hodnot rozpuštěného kyslíku měřených kontinuální sondou ve dnech 28.7. – 3.9.2019 a hodnot měřených hadičkami v dnech 3.8., 10.8., 28.8. a 4.9 na čtvercích DOLP_A, STIEG_E a EISEN_G

5.3 Výsledky měření oxidačně-redukčního potenciálu

5.3.1 Výsledky kontrolního měření před instalací bioindikačních destiček

Na obr. 18 jsou znázorněny hodnoty naměřené 26.7.2019 při kontrolním měření před instalací inkubačních destiček a sond. Dokazují vyšší prokysličenost na nejhornější lokalitě DOLP_A oproti ostatním lokalitám. U 7 cm hlubokého horizontu obsah kyslíku u ostatních lokalit vykazuje vyšší proměnlivost, a v průměru tedy nižší prokysličenost, pravděpodobně díky upwellingu či vyšší kolmataci dna, avšak ve 3 cm horizontu všechny lokality v průměru dosahují hodnoty <300 mV.

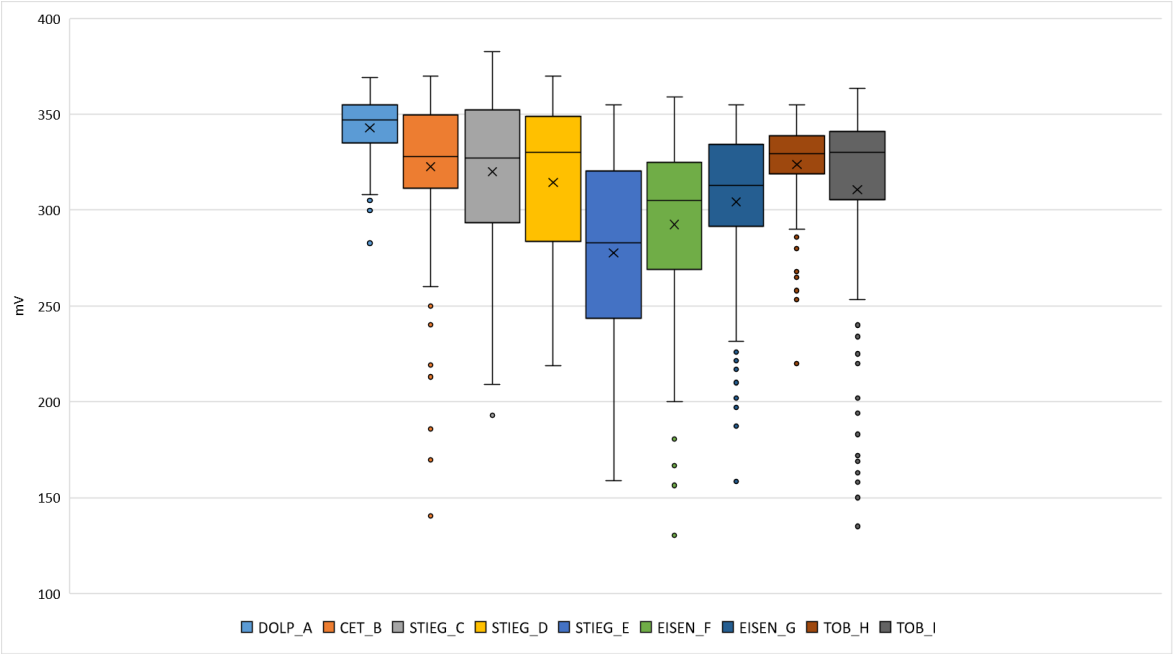


Obr. 18: Boxplotový graf znázorňující hodnoty redox potenciálu v mV na čtyřech čtvercích. Každý boxplot reprezentuje 9 měření během dne 26.7.2019. Modrý box značí redox v mělčím, 3 cm horizontu, oranžový 7 cm horizont. Okrajové čárky značí minimální a maximální hodnotu, hrany obdélníku první a třetí kvartil, čára je medián a křížek průměr

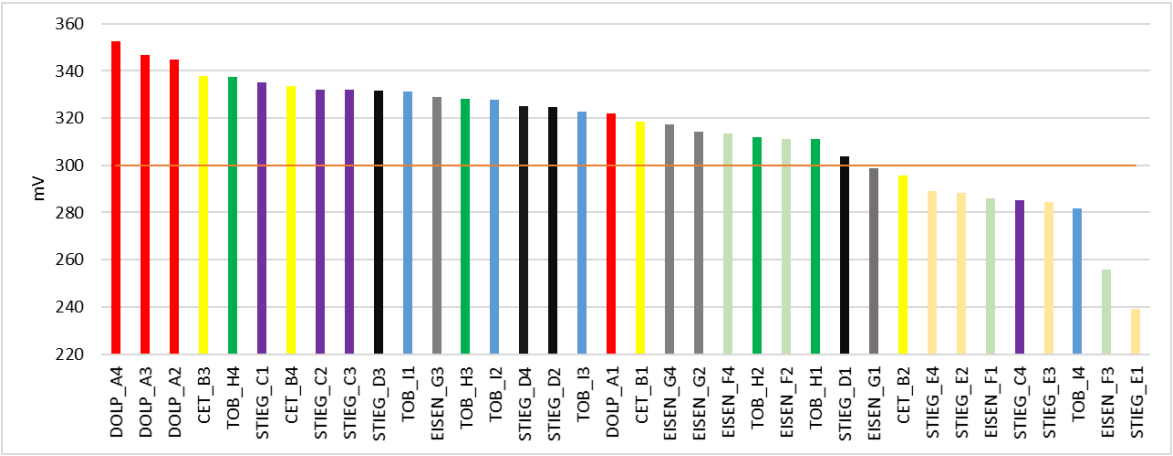
5.3.2 Výsledky měření oxidačně-redukčního potenciálu po dobu instalace destiček

Pokud bychom hodnotili jednotlivé čtverce podle redoxního potenciálu (obr. 19), trend je obdobný, jako u hodnot O_2. Opět vychází klesající hodnoty od nejhořejší lokality DOLP k lokalitám STIEG a poté vzrůstající k lokalitám TOB. Průměrný redoxní potenciál vyšel nejlépe v oblasti DOLP_A, TOB_I a TOB_H, nejnižší byl na čtvercích STIEG_E a EISEN_F. Čtverec TOB_H lze celkově hodnotit nejlépe a to z důvodů jednak malého rozptylu, a jednak menších extrémních naměřených hodnotám, svědčících o minimálních výkyvech v prokysličenosti. Podrobné boxplotové grafy zobrazující rozložení hodnot na jednotlivých mikrohabitatech jsou umístěny v příloze 8 a 9.

Průměrné naměřené hodnoty na každém mikrohabitatu jsou zobrazeny na obr. 20 s vyznačením hranice 300 mV. Přehledná tabulka naměřených průměrných hodnot redoxu a O_2 je umístěna v příloze 11.



Obr. 19: Rozložení hodnot redoxního potenciálu (mV) v horizontu 3 cm během experimentu. Každý boxplot čítá kolem 140 hodnot - 4 kontroly x 45 mikrohabitatů – (5-7 měření okolí destičky a 1 u kysl. sondy). Kontroly probíhaly ve dnech 3.8., 10.8., 28.8. a 4.9. Okrajové čárky značí minimální a maximální hodnotu, hrany obdélníku první a třetí kvartil, čára je medián a křížek průměr

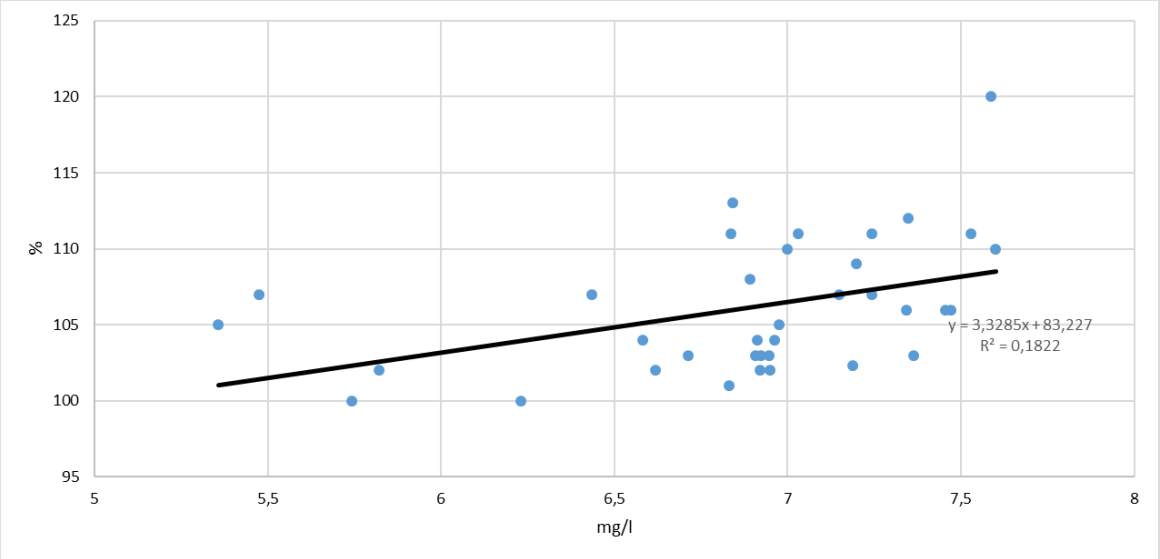


Obr. 20: Průměrné hodnoty redoxních potenciálů z 36 mikrohabitatů. Sloupce představují průměr z 24-28 hodnot (4 kontoly po 6-7 hodnotách), které jsou seřazeny sestupně, barevně rozlišené jsou jednotlivé čtverce. Oranžová linka značí hodnotu 300, tedy hranici lepšího a horšího prokysličení. Měření probíhaly ve dnech 3.8., 10.8., 28.8. a 4.9.

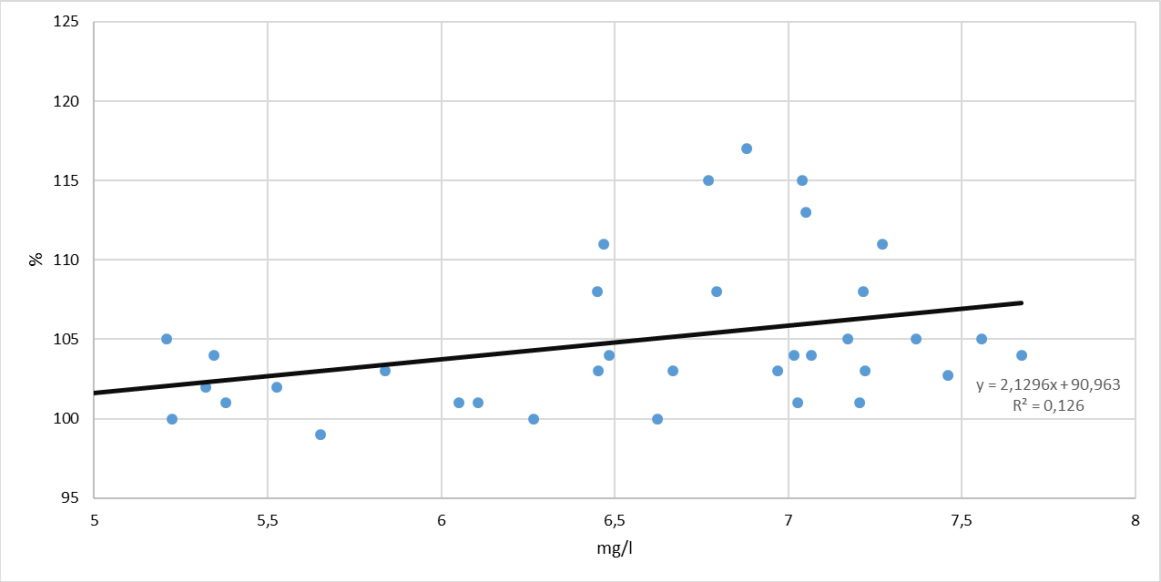
5.4 Vzájemné vztahy měřených parametrů

Na níže uvedených grafech je názorně zobrazeno, že pro úspěšný růst perlorodky v hyporeálové vodě měl větší vliv naměřený obsah kyslíku (obr. 21 a 22), než teplota (obr. 23 a 24) a redoxní potenciál (obr. 25). Dále je zřejmé, že přírůstky a teplota, tedy parametry prostředí i jejich vliv na juvenilní perlorodky spolu v horizontu 3 a 7 cm souvisí (obr. 26, 27 a

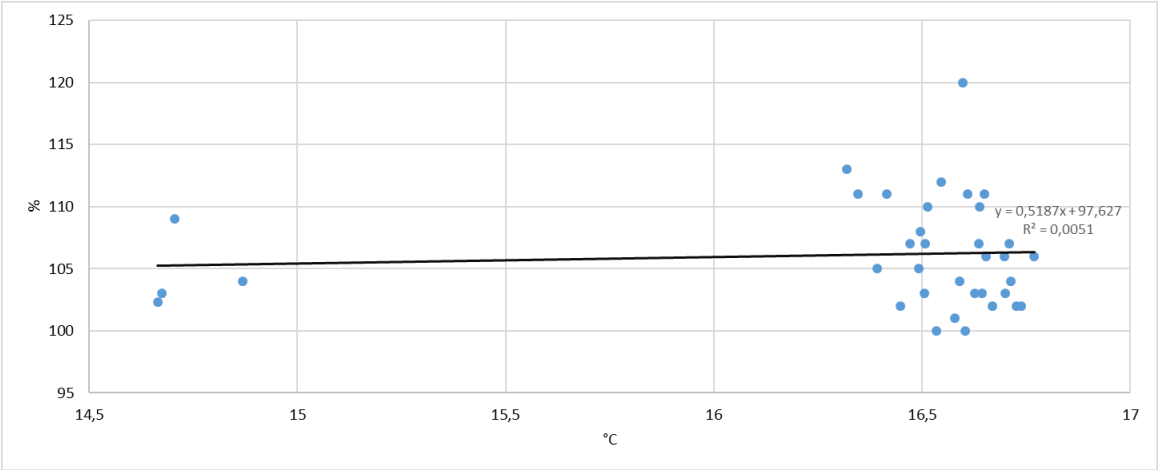
28). Pokud byl například zjištěn nízký/vysoký obsah kyslíku v jednom horizontu, nejspíš bude i nízký/vysoký i ve druhém horizontu, totéž platí i u teplot a obsahu rozpuštěného kyslíku. Teplotní data a vyhodnocení bioindikačního experimentu jsou čerpány se svolením od členů týmu Malsemuschel (Bílý *et* Jahelková 2020, Rojtová, nepubl.)



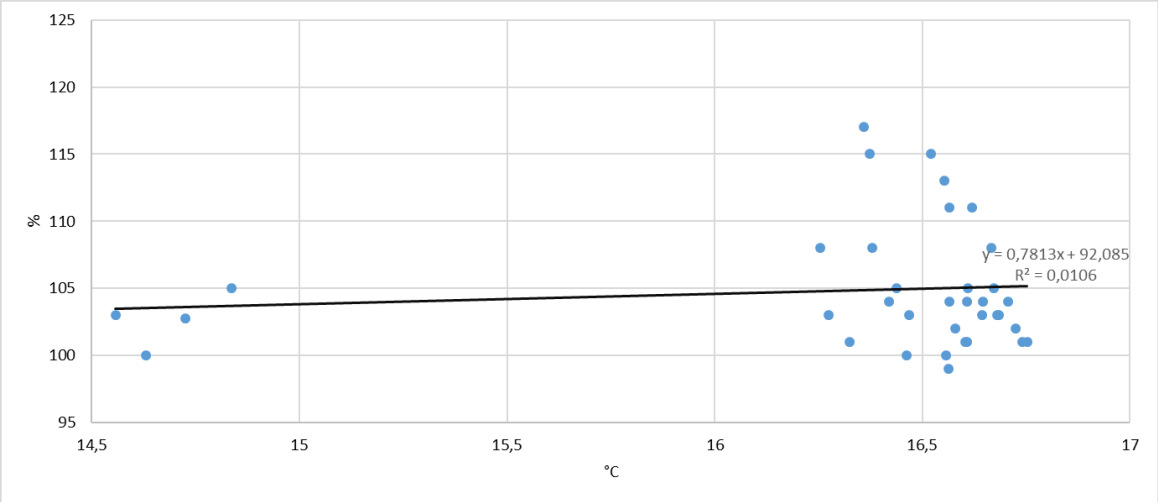
Obr. 21: Korelace průměrných přírůstků perlorodky a obsahu kyslíku v hloubce 3 cm na jednotlivých mikrohabitatech



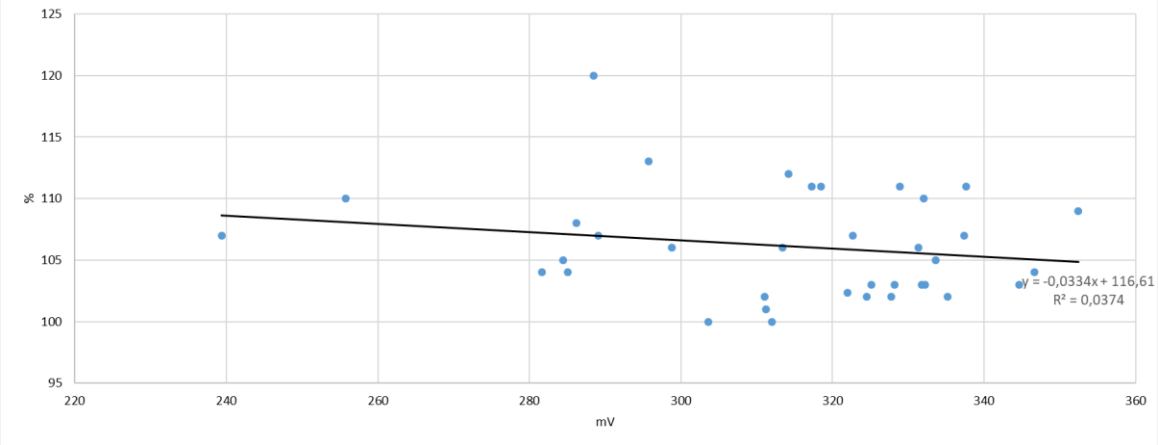
Obr. 22: Korelace průměrných přírůstků perlorodky a obsahu kyslíku v hloubce 7 cm na jednotlivých mikrohabitatech



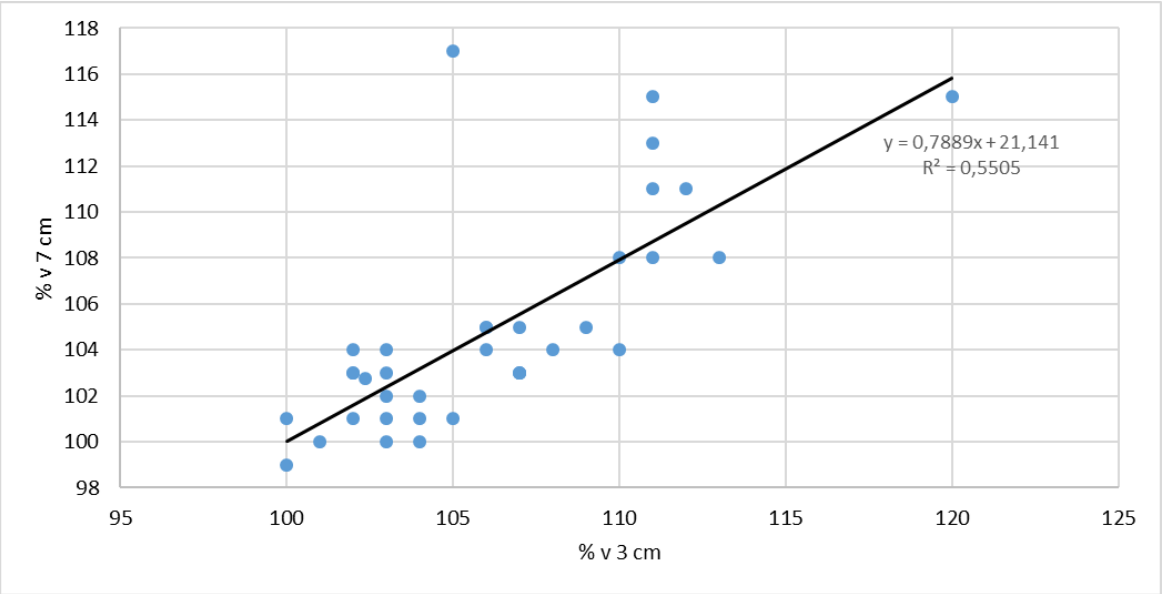
Obr. 23: Korelace průměrných přírůstků perlorodky a průměrné teploty v hloubce 3 cm na jednotlivých mikrohabitatech



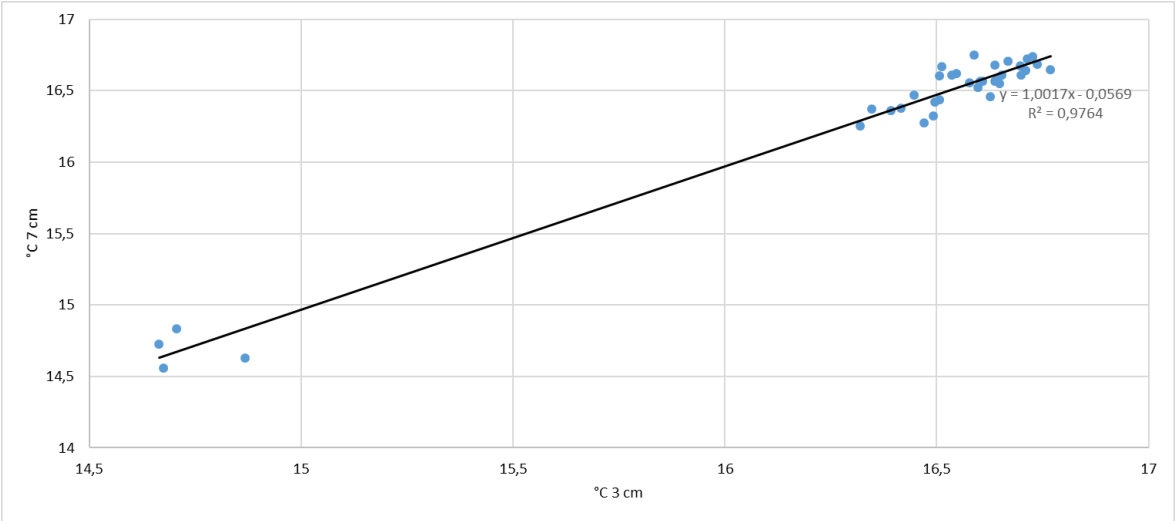
Obr. 24: Korelace průměrných přírůstků perlorodky a průměrné teploty v hloubce 7 cm na jednotlivých mikrohabitatech



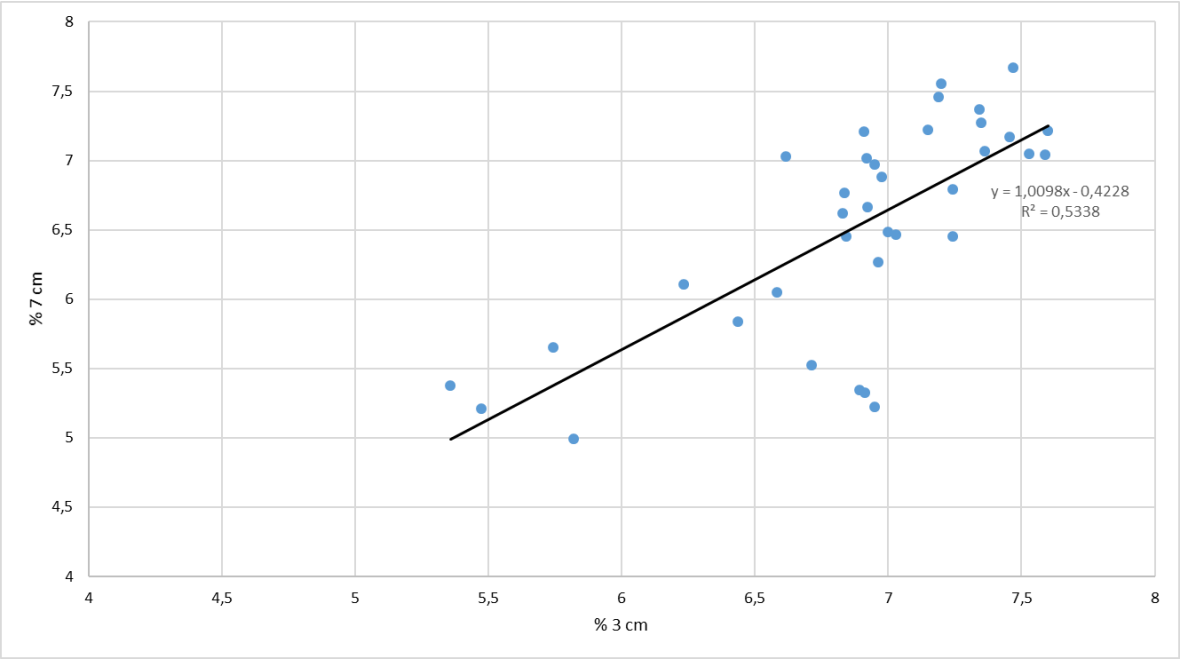
Obr. 25: Korelace průměrných přírůstků perlorodky a redoxního potenciálu v hloubce 3 cm na jednotlivých mikrohabitatech



Obr. 26: Korelace přírůstků ve 3 a 7 cm hlubokém horizontu na jednotlivých mikrohabitatech

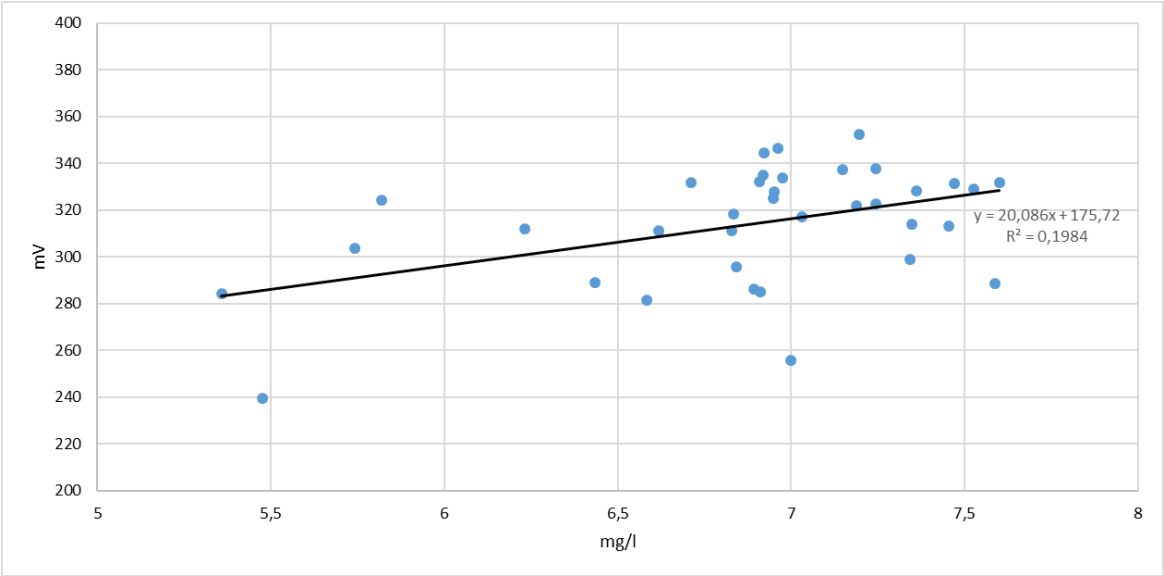


Obr. 27: Korelace průměrných teplot ve 3 a 7 cm hlubokém horizontu na jednotlivých mikrohabitatech



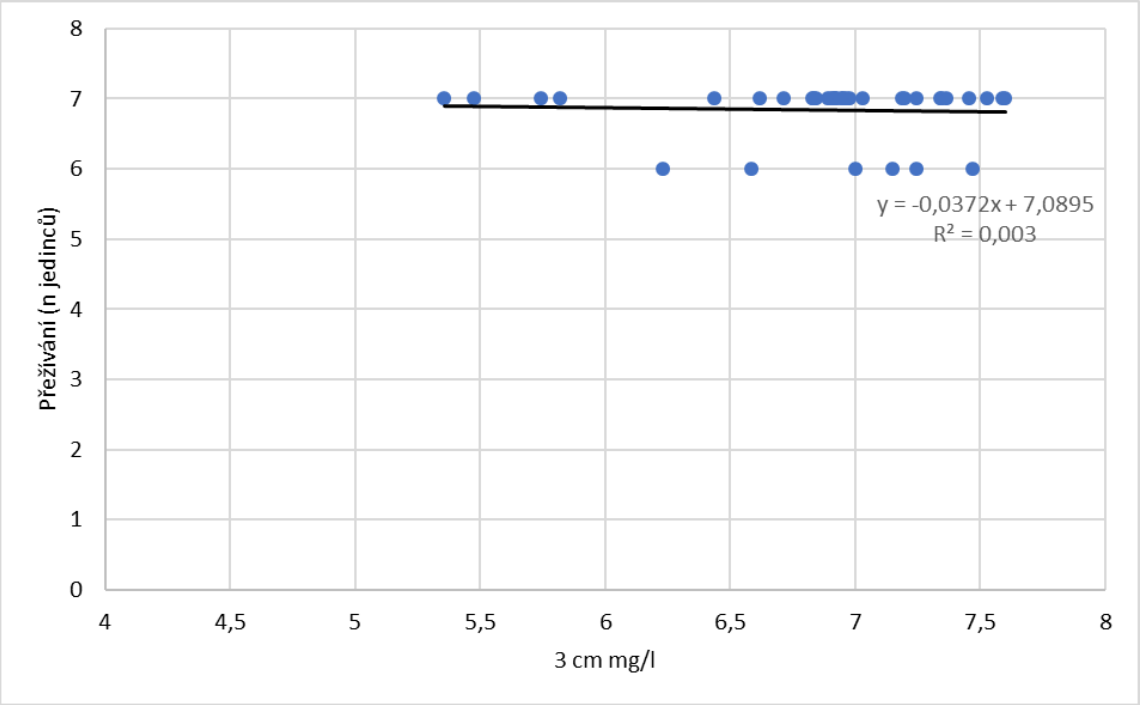
Obr. 28: Korelace průměrného rozpuštěného kyslíku ve 3 a 7 cm hlubokém horizontu na jednotlivých mikrohabitatech

Na obr. 29 je graf závislost kyslíku na redoxu. Byť průměrné hodnoty redoxního potenciálu nekoreluji s přírůstky juvenilů, s rozpuštěným kyslíkem ano.

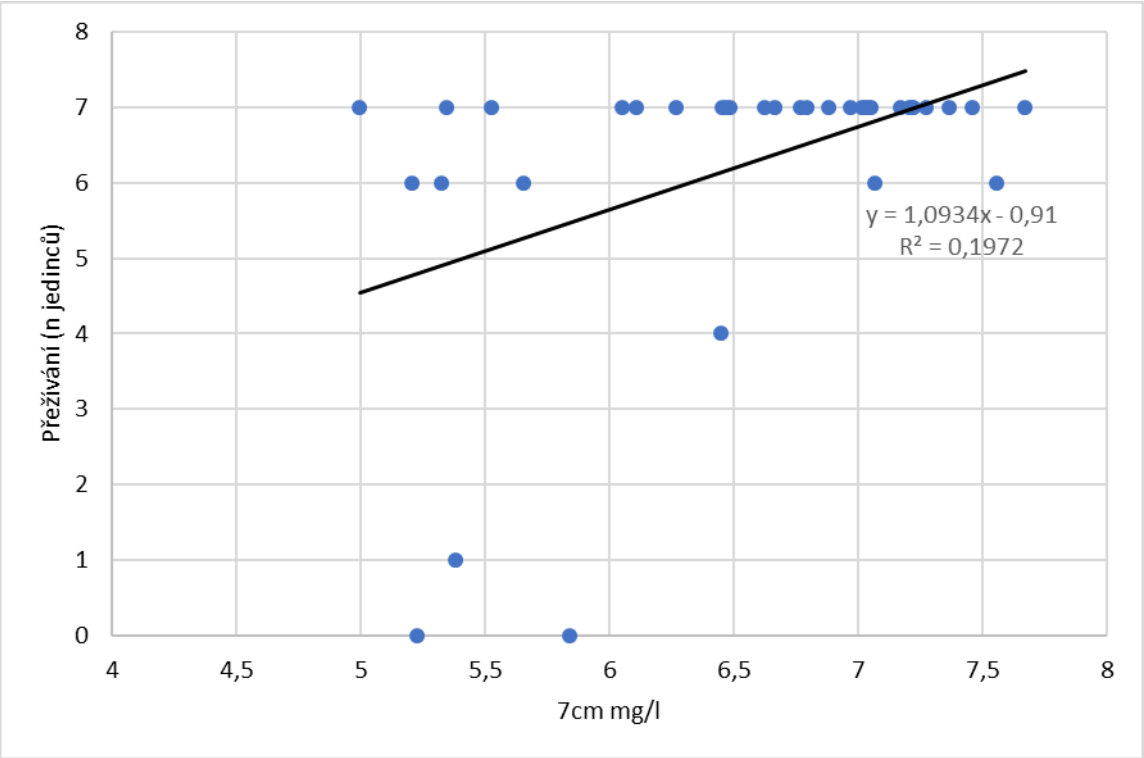


Obr. 29: Korelace průměrného rozpuštěného kyslíku ve 3 cm hlubokém horizontu a redoxního potenciálu na jednotlivých mikrohabitatech

Z obr. 30 a 31 je patrná korelace přežívání juvenilů a obsahu rozpuštěného O_2 v 7 cm horizontu hyporeálu. Ve 3 cm hlubokém horizontu došlo k úhynu maximálně jednoho jedince v řadě, a korelační diagram tak není úplně rozhodující. V horizontu 7 cm došlo k většímu množství úhynů. Třebaže mikrohabitaty s nižším obsahem kyslíku zvýšenou mortalitu nevykazovaly vždy, nejvíce úhynů bylo přesto zaznamenáno právě v nich. Zvýšená mortalita tak s nízkým obsahem kyslíku evidentně souvisí.



Obr. 30: Korelace přežívání jedinců ve 3 cm hlubokém horizontu a průměrném rozpuštěném kyslíku na jednotlivých mikrohabitatech



Obr. 31: Korelace přežívání jedinců v 7 cm hlubokém horizontu a průměrném rozpuštěném kyslíku na jednotlivých mikrohabitatech

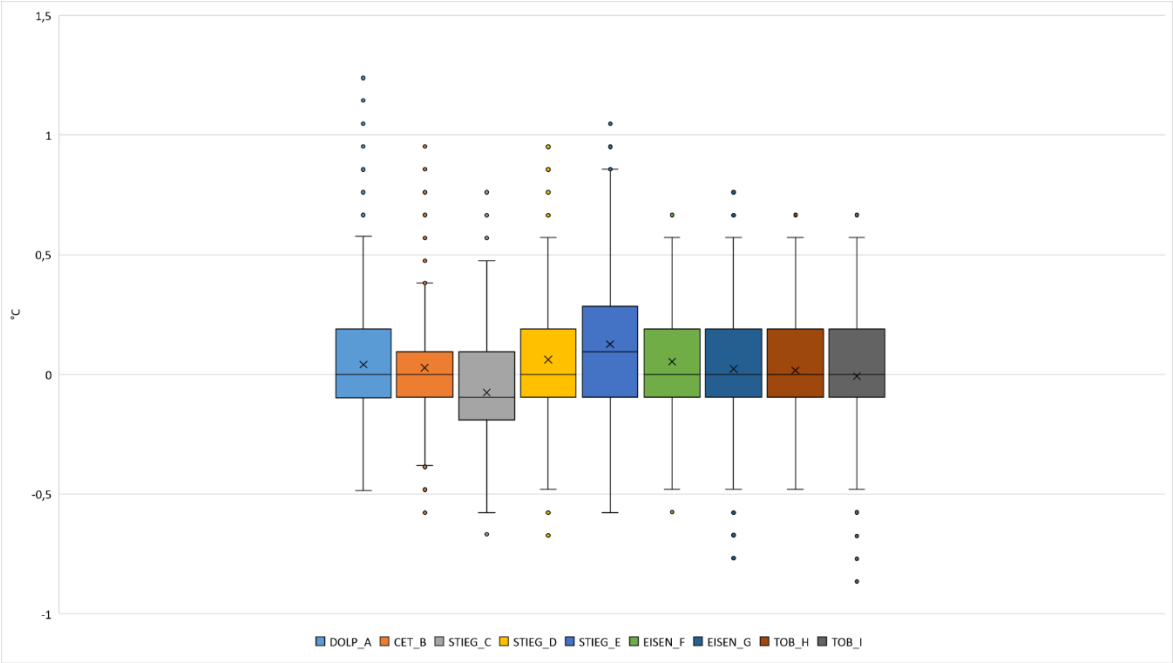
6 Diskuze

V této práci potvrzujeme předchozí výzkum provedený Geist *et* Auerswald (2007), tedy že propojení povrchové vody s intersticiálními prostory v hyporeálu stojí za prokysličením a celkovou kvalitou prostředí hyporeálu. Tito autoři poukazují na fakt, že vlastnosti povrchové vody se od hyporeálové v kvalitním prostředí liší minimálně. Dále uvádějí, že podmínky ve volné vodě nejsou dostatečným ukazatelem kvality hyporeálu, proto se jejich práce věnovala pouze prostoru dna řeky. Jako nejlepší sediment pro přežívání jedinců *M. margaritifera* se dle jejich práce jeví hrubý štěrk prostoupený většími kameny, to odpovídá s nižším přírůstkům na našich spodních lokalitách s písčitým dnem, byť lokality dosahovaly průměrných koncentrací O_2 kolem 7 mg/l, pravděpodobně z důvodů zanášení destiček jemnými částicemi. Černá *et al.* (2017) prováděli taktéž výzkum přírůstků a mortality v hyporeálu, a také došli k závěru, že v písčitém sedimentu se jedincům dařilo nejméně.

Námi prováděná měření rozpuštěného kyslíku z hadiček korelují s přírůstky juvenilních jedinců. Tato metoda má však svá úskalí. Jako jedna z nevýhod je stanovování samotné koncentraci O_2 *ex situ* čili může docházet ke zkreslení hodnot vlivem vyšší teploty vyjmutím vzorku na vzduch (Bílý *et* Simon, ústní sdělení). Další z nevýhod může být určitá šance nasátí povrchové vody u dobře prostupných sedimentů. Tato možnost však klesá u písčitých sedimentů s upwellingem.

Jako spolehlivější varianta dle Geist *et* Auerswald (2007) na určování kvality prostředí je měření redoxní sondou. Jedná se o měření rychlejší a snadnější, vhodné pro vytipování vhodných oblastí ve sledovaní oblasti. Porovnání s přírůstky nám neukázalo jasnou souvislost, která mohla vzniknout rozdíly během měření, jelikož redox byl odebíraný na více místech kolem destiček, kdežto O_2 z hadiček byl vytahován přímo z míst, kde byli juvenilní jedinci. Výsledky měření redoxu ovšem korelují s výsledky měření rozpuštěného O_2 z hadiček i z kontinuálních sond.

Co se týče vztahu prokysličenosti a teplotních dat, měření (Rojtová, nepubl.) kontinuálními teploměry potvrdilo tvrzení Olsen *et* Townsend (2003), kteří naměřili při downwellingu vyšší teplotu vody v hyporeálu než při upwellingu, taktéž vyšší koncentraci rozpuštěného O_2 při downwellingu než při upwellingu. Lepší kvalitu prostředí po teplotní stránce vykazovali lokality B, G, H, I, díky menším rozdílům teplot mezi 3 a 7 cm hlubokým horizontem (obr.32), jelikož při downwellingu je rozdíl teplot menší, než při upwellingu. Potvrzuje nám to výsledky z měření redoxu a hadičkového měření O_2.



Obr. 32: Zobrazení teplotních rozdílů v °C mezi 3 cm a 7 cm horizontem během období 1.8.-4.9 2019 na jednotlivých lokalitách. Okrajové čárky značí minimální a maximální hodnotu, hrany obdélníku první a třetí kvartil, čára je medián a křížek průměr. Nezanesená data do čárek jsou zobrazeny body (Rojtová nepubl., zpracování vlastní)

Bioindikační testy vyšly nejlépe na lokalitách s vyššími hodnotami rozpuštěného kyslíku, čímž povrzujeme výzkum z Rakouska autorů Scheder *et al.* (2015), že za zdárným vývojem juvenilů kromě stabilního dna stojí koncetrace rozpuštěného O_2. Musíme však počítat, že při zahrabávání bioindikačních destiček mohlo dojít k promíchání dna v hyporeálu a tím mohlo dojít ke změně struktury hyporeálu. Také se destičky mohly ucpat jemnými částicemi a zhoršit tak kyslíkové poměry pro juvenily. Je také potřeba mít na paměti, že jedinci jsou ukotveni v otvorech destičky, a nemohou se přemístit na vhodnější stanoviště.

Předmětem k diskuzi je i samotné poškození habitatu juvenilních perlorodek při sbírání výše uvedených dat. Jelikož juvenilové potřebují stabilní prostředí a žijí v sedimentu řeky, jsou jistě vystaveni poškozením fyzické činnosti v habitatu, např. pošlapáním, poškozením redoxní sondou, či promícháním sedimentu a uvolnění juvenilních jedinců mimo sediment (Horáčková, ústní sdělení).

6.1 Doporučení vhodných lokalit a mikrohabitatů k výsadků juvenilů

Pokud bychom hodnotili jednotlivé lokality, jako pravděpodobně nejvhodnější pro přežívání juvenilů perlorodky, a to čistě z hlediska prokysličenosti substrátu, pak z výsledků vyplývá čtverec EISEN_G díky nejlepším výsledkům bioindikačního testu, downwellingu a

průměrných hodnot rozpuštěného kyslíku z hadiček. Tato lokalita se zdá jako perpektivní také z důvodu existence populace perlorodky. Dále lze uvažovat nad čtvercem CET_B, opět s vysokým přírůstkem (ve 3 i 7 cm), vysokou průměrnou hodnotou redoxu, hodnotou obsahu kyslíku měřenou sondou a downwellingem. Jako třetí lokalitu lze vybrat TOB_I, nejteplejší, ale s nižšími honotami redoxu a místy s upwellingem. U lokality DOLP_A s nejlepším redoxem a vysokými hodnotami rozpuštěného kyslíku je problém nízká teplota – pod 15 °C. Čtverce STIEG_D a STIEG_E se jeví z měření jako nevhodné, byť STIEG_E dosahoval nejvyšších přírůstků při bioindikaci a downwellingu z teplotního měření.

Z naměřených výsledků se lze nyní soustředit na jednotlivé mikrohabitaty. Hlavní lokalitou je čtverec EISEN_G, konkrétně EISEN_G3 a G4 mají nejvyšší redoxní potenciál z daného čtverce se zdá být jako velice perspektivní oblast pro zdárný vývoj juvenilů perlorodky v substrátu dna. Můžeme považovat za velice perspektivní i mikrohabitaty CET_B3 a CET_B4. Na tomto místě byl naměřený nejvyšší průměrný redox, průměrný rozpuštěný O_2 a průměrná teplota z lokality CET_B. Příznivou roli může hrát i prokázaný downwelling a štěrkopískový substrát dna.

7 Závěr

1) Cílem této práce bylo zmonitorovat prokysličenost hyporeálu experimentálního úseku řeky Malše, a popsat její příčiny a limity.
2) Prokysličenost daného území mezi lokalitami vykazovala velkou prostorovou kolísavost a nejednotnost. Významné prostorové variability dosahují i hodnoty v rámci jednotlivých studijních ploch. Na dolních i horních lokalitách ze studovaného území dosahují hodnoty rozpuštěného kyslíku a oxidačně-redukčního potenciálu dostatečných hodnot pro život a vývoj juvenilních jedinců perlorodky říční (*M.margaritifera*).
3) U lokalit s vyšším obsahem rozpuštěného kyslíku lze vysledovat obecně nízké rozdíly mezi mělčím a hlubším dnovým horizontem. Lze tedy říci, že se zde jednalo o downwelling vnášející do dna teplejší a prokysličenější vodu. Dále na těchto habitatech korelují výsledky naměřených teplot opět z obou měřených horizontů. Z našeho měření také vyplívá, že na zdárný růst juvenilů perlorodky v substrátu má vyšší vliv naměřený obsah rozpuštěného O_2 než samotná zaznamenaná teplota. Toto tvrzení také ukazuje úměrnost mezi přežíváním jedinců v bioindikačních destičkách a obsahem O_2 v 7 cm hlubokém horizontu.
4) Z hodnocených ploch byl jako nejvhodnější pro juvenilní perlorodky z hlediska prokysličenosti vyhodnocen čtverec EISEN_G, ležící na začátku nejspodnější oblasti experimentálního úseku řeky Malše
5) Výsledky potvrdily to, že kvalita podmínek prostředí hyporeálu je úzce spjata s tekoucí povrchovou vodou a vzájemném propojení se dnem řeky. Tyto souvislosti lze hodnotit na základě kombinací několika fyzikálně chemických a bioindikačních testů a měřeních, které lze praktikovat při ochraně či výzkumu druhů žijících v sedimentu řek.

8 Seznam použitých zdrojů

Adámek Z., Helešic J., Maršálek B., Rulík M., 2010: Aplikovaná hydrobiologie. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Fakulta rybářství a ochrany vod, České Budějovice. S. 350. ISBN 978-80-87437-09-4

Albrecht J. ed., 2003: Českobudějovicko*:* Chráněná území ČR. Agentura ochrany přírody a krajiny ČR, Praha. S. 807. ISBN 80-86064-65-4

Anděl P., 2011: Ekotoxikologie, bioindikace a biomonitoring. Evernia, Liberec. S. 243. ISBN 978-80-903787-9-7

Anděra M., Gaisler J., 2012: Savci České republiky: popis, rozšíření, ekologie, ochrana. Academica, Praha. S. 285. ISBN 978-80-200-2185-4

Anděra M., Zavřel P., ed., 2010: Šumava: příroda, historie, život. Baset, Praha. S. 800. ISBN 80-7340-021-9

Angelier E., 2003: Ecology of Streams and Rivers. Oxfrodshire:Taylor & Francis. S. 228. ISBN 978-1-57808-256-8

Anonym,2015.(online) [cit. 3.11.2019], dostupné z https://heis.vuv.cz/data/webmap/datovesady/projekty/eeamargaritiferamalse2015/docstazeni/vyhodnoceni_profilu.pdf

AOPK ČR, 2013. Záchranný program perlorodky říční *Margaritifera margaritifera* v České republice. Agentura ochrany přírody České republiky. S. 77

Araujo R., Ramos M.A., 2000: Action plan for *Margaritifera margaritifera* in Europe. Council of Europe. S. 40

Atapaththu K.S.S., Asaeda T., Yanamuro M., Kamiya H., 2017: Effects of water turbulence on plant, sediment and water quality in reed (*Phragmites australis*) community. Ekológia(Bratislava). Vol. 36, No.1. S. 1-9

Bagdžinuaté-Litvinaitiené L., Litvinaitis A., 2017: Assessing the impact of the turbulence of river flow on variations in the concentrations of nutrients. Environment Protection Engineering. Vol. 43. S. 81-91

Bílý M., Jahelková V., 2020: Výsledná zpráva o studiu mikrohabitatů říčního dna v povodí horní Malše za rok 2019 - Provedené činnosti jsou součástí veřejné zakázky s názvem "Studium mikrohabitatů říčního dna: vyhledání a monitoring optimálních stanovišť pro vypuštění odchovaných mladých perlorodek na území přírodní památky Horní Malše"

Bílý M., Simon O., 2012: O stavu perlorodky říční na českých tocích. Limnologické noviny. Č.4. S. 1-9

Boon J. B., Raven J.R., 2012: River Conservation and Management. John Willey and Sons, West Sussex. S. 432. ISBN 978-0-470-68208-1

Boulton A.J., FIndlay S., Marmonier P., Stanley E.H., Valett H.M., 1998: The funcitonal significance of the hyporheic zone in streams and rivers. Annual Reviews. Vol 29. S. 59-81

Buddensiek V., Engel H., Fleischauer-Rossing S., Wachtler K.,1990: Studies on the chemistry of interstitial water taken from defined horizons in the fine sediments of bivalve habitats in several Northern German lowland waters: 1 sampling techniques. Archiv fur Hydrobiologie Vol. 119, S. 55-64

Cílek V., Just T., Sůvová Z., Mudra P., Rohovec J., Zajíc J., Dostál I., Havel P., Storch D., Mikuláš R., Nováková T., Moravec P., 2017: Voda a krajina: kniha o životě s vodou a návratu k přirozené krajině. Dokořán, Praha. S. 200. ISBN 978-80-7376-837-5

Constantz J., 2008: Heat as a tracer to determine streambed water exchanges. Water resources research. Vol.44

Culek M., Grulich V., Laštůvka Z., Divíšek J., 2013: Biogeografické regiony České republiky. Masarykova univerzita, Brno. S. 447. ISBN 978-80-210-6693-9

Cosgrove P., Hastie L., Sime I., 2007: Recorded natural predation of freshwater pearl mussel *Margaritifera margaritifera* in Scotland. Journal of Conchology. Vol. 39, No. 4. S. 469-472

Černá M., Simon O., Bílý M., Douda K., Dort B., Galová M., Volfová M., 2017: Within-river variation in growth and survival of juvenile freshwater pearl mussels assessed by in situ exposure methods. Hydrobiologia. Vol. 810, No. 1. S. 393-414

Dyk V., Podubský E., 1956: Základy našeho rybářství. SZN, Praha. S. 48

Geist J., Auerswald K., 2007: Physicochemical stream bed characteristics and recruitmen of the freshwater pearl mussel (*Margaritifera margaritifera*). Freshwater biology. Vol. 57. S. 2299-2316

Gordon N. D., Thomas A. M., Finlayson B. L., Gippel Ch. J., Rory J. N., 2010: Stream Hydrology: An Introduction for Ecologists. 2nd ed. Wiley,Hoboken. S. 429. ISBN 978-0-470-843581

Hartman P., Přikryl I., Štědronský E., 1998: Hydrobiologie. Informatorium, Praha. S. 335. ISBN 80-86073-27-0

Hastie L.C., Tarr E.C., al-Mousawi B., Young M.R., 2010: Medium-term recruitment patterns in Scottish freshwater pearl mussel *Margaritifera margaritifera* populations. Endang. Species Res. Vol. 10. S. 21-33

Horsák M., Juřičková L., Picka J., 2013: Měkkýši České a Slovenské republiky: Mollucs of the Czech and Slovak Republics. Kabourek, Zlín. S.264. ISBN 978-80-86447-15-5

Hrkal Z., 2018: Voda včera, dnes a zítra. Mladá fronta, Praha. S. 218. ISBN 978-80-204-4989-4

Chmelová P. R., Frajer J., 2013: Základy hydrologie. Univerzita Palackého v Olomouci, Olomouc. S. 141. ISBN 978-80-244-3843-6

Jung M., Scheder Ch., Gumpinger C., Waringer J., 2013: Habitat traits, population structure and host specificity of the freshwater pearl mussel *Margaritifera margaritifera* in the Waldaist River (Upper Austria). Biologia. Vol. 68. Iss. 5. S. 922-931

Jones I., Grows I., Arnold A., McCall S., Bowes M., 2015: The effects of increased flow and fine sediment on hyporheic invertebrates and nutrients in stream mesocosms. Freshwater biology. Vol. 60 Iss. 4

Kaufman M.H., Cardenas M.B., Buttles J., Kessler A.J., Cook P.L.M., 2017: Hyporheic hot moments: Dissolved oxygen dynamics in the hyporheic zone in response to surface flow pertubations. Water Resources esearch. Vol. 53. Iss. 8. S. 6642-6662

Kholová H., 2019: Putování českou přírodou. Euromedia Group, Praha. S. 208. ISBN 978-80-7617-710-9

Kleczek J. ed, 2011: Voda ve vesmíru, na zemi, v životě a v kultuře. Radioservis, Praha. S. 665. ISBN 978-80-86212-98-2

Kolář F., Matějů J., Lučanová M., Chlumská Z., Černá K., 2012: Ochrana přírody z pohledu biologa: *Proč a jak chránit českou přírodu*. Dokořán, Praha. S. 213. ISBN 978-80-7363-414-8

Kopp R., 2015: Hydrochemie nejen pro rybáře. Mendelova univerzita v Brně, Brno. S. 120. ISBN 978-80-7509-352-3

Krásný J., Císlerová M., Čurda S., Datel J.V., Dvořák J., Grmela A., Hrkal Z., Kříž H., Marszalek H., Šantrůček J., Šilar J., 2012: Podzemní vody České republiky: regionální hydrogeologie prostých a minerálních vod. Česká geologická služba, Praha. S. 1143. ISBN 978-80-7075-797-0

Kočí V., Burkhard J., Maršálek B., 2000: Eutrofizace na přelomu tisíciletí. Eutrofizace s. 3-13

Lampert W., Sommer U., 2007: Limnoecology. Oxford University Press, New York. S. 324. ISBN 978-0-19-921393-1

Liu F., Song X., Yang L. Zhang Y., Han D., Ma Y., Bu H., 2015: Identifying the origin and geochemical evolution of groundwater using hydrochemistry and stable isotopes in the Subei Lake basin, Ordos energy base, Northwestern China. Hydrology and Earth System Sciences Vol. 19. S. 551-565

Lopes-Lima M., Burlakova L.E., Karatayev A.Y., Seddon M., Sousa R., 2018: Conservation of freswater bivalves at the global scale: diverstiy, threats and research needs. Hydrobiologia Vol. 910. S. 1-14

Mattas D., 2014: Výpočet průtoku v otevřených korytech:Práce a studie, sešit 205. Výzkumný ústav vodohospodářský T.G.Masaryka, v.v.i., Praha. S. 110

Mezřický V.ed, 2005: Environmentální politika a udržitelný rozvoj. Portál, Praha. S. 207 ISBN 80-7367-003-8

Moorkens E.A, Killeen I.J., 2014: Assessing near bed velocity in a recruiting population of the endangered freshwater pearl mussel (*Margaritifera margaritifera*) in Ireland. Aqua.Cons.: Marine and Freshwater Ecos. Vol. 24 Iss. 6. S. 853-862

Morales-Sánchez M., Sabater F., Muňoz Isabel., 2018: Effects of urban wastewater on hyporheic habitat and invertebrates in Mediterranean streams. Science of The Total Environment. Vol. 642. S. 937-945

Muzikář R., 2014: Interakce podzemní vody. Vodní hospodářství. Č. 8, S. 18-21

Myslil V., 1999: Voda, země, život. Ministerstvo životního prostředí ČR, Praha. S. 85. ISBN 80-7212-072-7

Nařízení vlády č. 318/2013 Sb., o stanovení národního seznamu evropsky významných lokalit, v platném znění

Nentwig W. ed. 2014: Nevítaní vetřelci: *invazivní rostliny a živočichové v Evropě*. Academica, Praha. S. 247. ISBN 978-80-200-2316-2

Němec J., Blažek V., Hladný J., ed., 2006: Voda v České republice. Praha: Ministerstvo zemědělství. Consult. ISBN 80-903482-1-1

Němec J., Bartoš M., Kopp J., ed., 2009: Vodstvo a podnebí v České republice. Pro Ministerstvo zemědělství vydal Consult, Praha. S. 255. ISBN 80-903482-7-0

Olsen D.A., Townsend C.R., 2003: Hyporheic community composition in a gravel-bed stream: influence of vertical hydrological Exchange, sediment structure and physicochemistry. Freshwater Biology Vol. 48. S. 1363-1378

Patzenhauerová H., Spisar O., Bryja J., 2011: Perlorodka říční – mlž na rozcestí. Živa. Č. 2 S.80-81

Pennington K. L., Cech V. T., 2010: Introduction to Water Resources and Environmemtal Issues. Camridge university press, New York. S. 468. ISBN 978-0-521-86988-1

Pitter P., 1999: Hydrochemie. Vysoká škola chemicko-technologický v Praze, Praha. S. 568. ISBN 80-03-00525-6

Pfleger V., 1988: Měkkýši:*Barevný průvodce.*Atria, Praha. S. 191

Polášková A., 2011: Úvod do ekologie a ochrany životního prostředí Praha:Univerzita Karlova v Praze. S.283 ISBN 978-80-246-1927-9

Quinlan E., Gibbins Ch., Malcolm I., Batalla R., Vericat D., Hastie L., 2015: A review of the physical habitat requirements and research priorities needed of uderpin conservation of the endangered freshwater pearl mussel *Margaritifera margaritifera*. Aquatic conservation: *Marine and freshwater ecosystems*. Vol. 25. S. 107-124

Rojtová M., nepubl: Časová a prostorová heterogenita teploty hyporeálu na horním toku Malše. Česká zemědělská univerzita, Fakulta životního prostředí , Praha S. 95

Sear D. A., Armitage P.D., Dawson F.H., 1999: Groundwater dominated rivers. Hydrological Processes. 13 S. 255-276

Scheder Ch., Lerchegger B., Flödl P., Csar D., Gumpinger C., Hauer Ch., 2015: River bed stability versus clogged interstitial: Depth-dependent accumulation of substances in freshwtaer mussel (*Margaritifera margaritifera* L.) habitats in Austrian streams as a function of hydromorphological parameters. Limnologica. Vol 50. S. 29-39

Schlesinger W.H., 1991: Biogeochemistry. Academic Press, San Diego S.688. ISBN 978-0-123-8587-57

Simon O., Vaníčková I., Bílý M., Douda K., Patzenhauerová H., Hruška J., Peltánová A., 2015: The status of freshwater pearl mussel in the Czech Republic: Several successfully rejuvenated populations but the absence of natural reproduction. Vol. 50. S. 11-20

Sklenička P., 2003: Základy krajinného plánování. Naděžda Skleničková, Praha. S. 321. ISBN 80-90-32-06-1-9

Slezáková J., 2019: Na cestě informace. Fórum ochrany přírody. Č. 02. S. 38-39

Slezáková J., 2016: Perlorodka říční: Stále na ústupu. Fórum ochrany přírody. Č. 01, S. 39-41

Smrž J., 2013: Základy biologie, ekologie a systému bezobratlých živočichů. Karolinum, Praha. S. 192. ISBN 978-80-246-2258-3

Sousa R., Amorim A., Froufe E., Varandas S., Teixeira A., Lopes-Lima M., 2015: A conservation status of the freshwater pearl mussel *Margaritifera margaritifera* in Portugal. Limnologica. Vol. 50. S. 4-10

Sousa R., Ferrira A., Carvalho F., Lopes-Lima M., Varandas S., Teixeira A., 2018: Die-offs of the endangered pearl mussel *Margaritifera margaritifera* during an extreme drought.Aquatic Conserv: Mar. Freshw. Ecosyst. Vol. 28. S. 1244-1248

Sousa R., Ferrira A., Carvalho F., Lopes-Lima M., Varandas S., Teixeira A., Gallardo B., 2020: Small hydropower plants as a threat to the endangered pearl mussel *Margaritifera margaritifera.* Science of the Total Environment. Vol. 719.

Sousa R., Nogueira N. G., Ferreira A., Carvalho F., Lopes-Lima M., Varandas S., Teixeira A., 2019: A tale of shells and claws: The signal crayfish as a threat to the pearl mussel *Margaritifera margaritifera* in Europe. Science of The Total Environment. S. 329-337.

Sousa R., Nogueira N. G., Lopes-Lima M., Varandas S., Teixeira A., 2018: Water mill canals as habitat for *Margaritifera margaritifera:* Stable refuge o ran ecological trap? Ecological Indicators. Vol 106.

Sophocleous M., 2002: Interactions between groundwater and surface water: the state of the science. Hydrogeology Journal. Vol. 10 S. 52-67

Sukop I., 2006: Ekologie vodního prostředí. Mendelova zemědělská a lesnická fakulta, Brno. S. 198. ISBN 80-7157-923-8

Štefáček S., 2008: Encyklopedie vodních toků Čech, Moravy a Slezska. Baset, Praha. S. 744. ISBN 978-80-7340-105-4

Štěrba O., Měkotová J., Bednář V., Rychnovská M., Šarapatka B., Kubíček F., Řehořek V., 2008: Říční krajina a její ekosystémy. Univerzita Palackého v Olomouci, Olomouc. S. 391. ISBN 978-80-244-2203-9

Thielen F., 2011: Rearing of unionoid mussels with special emphasis on the Freshwater Pearl Mussel (*Margaritifera margaritifera*). Ferrantia 64. S.76

Vaníčková I., Simon P.O., Dort B., 2014: Omlazení populací perlorodky říční. Ochrana přírody. Č. 6, S. 11-15

Varandas S., Lopes-Lima M., Teixeira A., Hinzmann M., Reis J., Cortes R., Machado J., Sousa R., 2013: Ecology of southern European pearl mussels (*Margaritifera margaritifera*): first record of two new populations on the rivers Terva and Beca (Portugal). Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems. Vol. 23, Iss. 3, S. 374-389

Vaughn C.C., 2018: Ecosystem services provided by freshwater mussel. Hydrobiologica. Vol. 810. S. 15-27

Veličkovič B., 2005: Colimation as one of the processes in interaction between the groundwater and surface water. Facta universitatis: Series Architecture and Cicil Engineering. Vol.3, S. 165-172

Vepraskas M. J., 2002: Redox Potential Measurements. NC State University (online) [cit. 11.12.2019], dostupné z https://water-research.net/course/RedoxWriteup.pdf

Wetzel R.G., 2001: Limnology: Lake and River Ecosystems. Academic Press, San Diego. S. 1006. ISBN 978-0-12-744760-5

Wilson C.D., Roberts D., Reid N., 2011: Applying species distribution modelling to identify areas of high conservation value for endangered species: A case study using *Margaritifera margaritifera*, Biological Conservation, Vol. 144, S. 821-829

9 Seznam obrázků

Obr. 1: Vnořování a vynořování povrchové vody (Sear et al. 1999).....5
Obr. 2: Infiltrace podzemní vody do hyporeálu (Muzikář 2014) 6
Obr. 3: Proudění podzemní vody (Veličkovič 2005) (A) Infiltrace podzemní vody do povrchové, (B) Dotace povrchovou vodou podzemní, (C) Ztráta nad zvodní, (D) Protékání podzemní vody skrz tok.....7
Obr. 4: Typy koryta vzhledem ke zvodni a izolátoru (Muzikář 2014).....7
Obr. 5: Průběh teplot u dna a ve dně toku během vynořování (A) a vnořování (B) vody (Constantz 2008).....15
Obr. 6: Schéma uložení sondy a číslování mikrohabitatů ve čtverci.....18
Obr. 7: Umístění zkoumaných lokalit na Malši. Zdroj mapových podkladů: ČÚZK 19
Obr. 8: Boxplotový graf výsledků z kontinuálních kyslíkových sond na devíti lokalitách. Měření probíhalo ve dnech 28.7. – 3.9.2019 a každý boxplot obsahuje cca 900 hodnot. Okrajové čárky značí minimální a maximální hodnotu, hrany obdélníku první a třetí kvartil, čára je medián a křížek průměr. 23
Obr. 9: Průběhy hodnot kyslíku naměřených jednotlivými sondami ve dnech 28.7. – 3.9.2019 24
Obr. 10: Průběhy hodnot rozpuštěného kyslíku naměřeného sondami ve dnech 3.2.-11.3.2020 25
Obr. 11: Boxplotový graf hodnot rozpuštěného kyslíku ve volné vodě (šedě) a dvou hloubkách (3 cm modře a 7 cm oranžově) na devíti lokalitách (ruční měření oximetrem). Druhý a třetí box obsahuje 4 měření na 4 destičkách na devíti čtvercích, tj. 144 hodnot, první 26
Obr. 12: Boxplotový graf hodnot rozpuštěného kyslíku ve dvou hloubkách (3 cm modře a 7 cm oranžově) na devíti čtvercích. Každý box obsahuje 4 měření na 4 destičkách. Měření probíhaly ve dnech 3.8., 10.8., 28.8. a 4.9. Okrajové čárky značí minimální a maximální.....26
Obr. 13: Rozptyl hodnot rozpuštěného kyslíku na jednotlivých mikrohabitatech A-E (1. modrý. 2. oranžový, 3. šedý, 4. žlutý) ve 3 cm horizontu. Každý boxplot obsahuje 4 měření. Okrajové čárky značí minimální a maximální hodnotu, hrany obdélníku první a třetí kvartil, čára je medián a křížek průměr 27
Obr. 14: Rozptyl hodnot rozpuštěného kyslíku na jednotlivých mikrohabitatech F-I (1. modrý. 2. oranžový, 3. šedý, 4. žlutý) v 3 cm horizontu. Každý boxplot obsahuje 4 měření. Okrajové čárky značí minimální a maximální hodnotu, hrany obdélníku první a třetí kvartil, čára je medián a křížek průměr 27

Obr. 15: Rozptyl hodnot rozpuštěného kyslíku na jednotlivých mikrohabitatech A-E (1. modrý. 2. oranžový, 3. šedý, 4. žlutý) v 7 cm horizontu. Každý boxplot obsahuje 4 měření. Okrajové čárky značí minimální a maximální hodnotu, hrany obdélníku první a třetí kvartil, čára je medián a křížek průměr 27
Obr. 16: Rozptyl hodnot rozpuštěného kyslíku na jednotlivých mikrohabitatech F-I (1. modrý. 2. oranžový, 3. šedý, 4. žlutý) v 7 cm horizontu. Každý boxplot obsahuje 4 měření. Okrajové čárky značí minimální a maximální hodnotu, hrany obdélníku první a třetí kvartil, čára je medián a křížek průměr 28
Obr. 17: Průběh hodnot rozpuštěného kyslíku měřených kontinuální sondou ve dnech 28.7. – 3.9.2019 a hodnot měřených hadičkami v dnech 3.8., 10.8., 28.8. a 4.9 na čtvercích DOLP_A, STIEG_E a EISEN_G.....29
Obr. 18: Boxplotový graf znázorňující hodnoty redox potenciálu v mV na čtyřech čtvercích. Každý boxplot reprezentuje 9 měření během dne 26.7.2019. Modrý box značí redox v mělčím, 3 cm horizontu, oranžový 7 cm horizont. Okrajové čárky značí minimální a maximální hodnotu, hrany obdélníku první a třetí kvartil, čára je medián a křížek průměr.....30
Obr. 19: Rozložení hodnot redoxního potenciálu (mV) v horizontu 3 cm během experimentu. Každý boxplot čítá kolem 140 hodnot - 4 kontroly x 45 mikrohabitatů – (5-7 měření okolí destičky a 1 u kysl. sondy). Kontroly probíhaly ve dnech 3.8., 10.8., 28.8. a 4.9. Okrajové čárky značí minimální a maximální hodnotu, hrany obdélníku první a třetí kvartil, čára je medián a křížek průměr.....31
Obr. 20: Průměrné hodnoty redoxních potenciálů z 36 mikrohabitatů. Sloupce představují průměr z 24-28 hodnot (4 kontoly po po 6 - 7 hodnotách), které jsou seřazeny sestupně, barevně rozlišené jsou jednotlivé čtverce. Oranžová linka značí hodnotu 300, tedy hranici lepšího a horšího prokysličení. Měření probíhaly ve dnech 3.8., 10.8., 28.8. a 4.9.....31
Obr. 21: Korelace průměrných přírůstků perlorodky a obsahu kyslíku v hloubce 3 cm na jednotlivých mikrohabitatech 32
Obr. 22: Korelace průměrných přírůstků perlorodky a obsahu kyslíku v hloubce 7 cm na jednotlivých mikrohabitatech 32
Obr. 23: Korelace průměrných přírůstků perlorodky a průměrné teploty v hloubce 3 cm na jednotlivých mikrohabitatech 33
Obr. 24: Korelace průměrných přírůstků perlorodky a průměrné teploty v hloubce 7 cm na jednotlivých mikrohabitatech 33
Obr. 25: Korelace průměrných přírůstků perlorodky a redoxního potenciálu v hloubce 3 cm na jednotlivých mikrohabitatech 33

Obr. 26: Korelace přírůstků ve 3 a 7 cm hlubokém horizontu na jednotlivých mikrohabitatech 34
Obr. 27: Korelace průměrných teplot ve 3 a 7 cm hlubokém horizontu na jednotlivých mikrohabitatech 34
Obr. 28: Korelace průměrného rozpuštěného kyslíku ve 3 a 7 cm hlubokém horizontu na jednotlivých mikrohabitatech 35
Obr. 29: Korelace průměrného rozpuštěného kyslíku ve 3 cm hlubokém horizontu a redoxního potenciálu na jednotlivých mikrohabitatech 35
Obr. 30: Korelace přežívání jedinců ve 3 cm hlubokém horizontu a průměrném rozpuštěném kyslíku na jednotlivých mikrohabitatech 36
Obr. 31: Korelace přežívání jedinců v 7 cm hlubokém horizontu a průměrném rozpuštěném kyslíku na jednotlivých mikrohabitatech 37
Obr. 32: Zobrazení teplotních rozdílů v °C mezi 3 cm a 7 cm horizontem během období 1.8.-4.9 2019 na jednotlivých lokalitách. Okrajové čárky značí minimální a maximální hodnotu, hrany obdélníku první a třetí kvartil, čára je medián a křížek průměr. Nezanesená data do čárek jsou zobrazeny body (Rojtová nepubl., zpracování vlastní) 39
Obr. 33: Výsledky bioindikačních testů ze 36 mikrohabitatů, který každý obsahoval 7 jedinců, v horizontu 3 cm. Osa y (přírůstky v %) zobrazuje procentuální rozdíl délky lastury mezi stavem po experimentu a před experimentem. Např.: hodnota 100 % značí nulový přírůstek, hodnota 120 značí 20%-ní přírůstek. Osa x (přežívání n jedinců) zobrazuje počet přeživších jedinců na každém mikrohabitatu (Bílý et Jahelková 2020, zpracování vlastní) 62
Obr. 34: Výsledky bioindikačních testů ze 36 mikrohabitatů, který každý obsahoval 7 jedinců, v horizontu 7 cm. Osa y (přírůstky v %) zobrazuje procentuální rozdíl délky lastury mezi stavem po experimentu a před experimentem. Např.: hodnota 100 % značí nulový přírůstek, hodnota 120 značí 20%-ní přírůstek. Osa x (přežívání n jedinců) zobrazuje počet přeživších jedinců na každém mikrohabitatu (Bílý et Jahelková 2020, zpracování vlastní) 62

10 Seznam tabulek

Tabulka 1: Souhrn měření vhodných lokalit, včetně GPS souřadnic 20

11 Seznam příloh

Příloha 1: Kontinuální kyslíková sonda, foto vlastní.....55
Příloha 2: Květnaté louky sousedící s Malší důležité pro perlorodku - EISEN, foto vlastní ...55
Příloha 3: Detail lokality CET, lze zpozorovat dno s největším zrnem ze všech lokalit, foto V.Barák.....56
Příloha 4: Detail lokality TOB s jemným písčitým dnem, foto V.Barák.....56
Příloha 5: Výskyt raka signálního na Malši, odchycen v létě 2019, foto vlastní.....57
Příloha 6: Multimetr WTW použit k měření rozpuštěného kyslíku, foto vlastní 57
Příloha 7: Závislost chladnější vody na vyšším obsahu rozpuštěného kyslíku, lokalita CET..58
Příloha 8: Krabicové grafy redoxního potenciálu měřeného ve dnech 3.8., 10.8., 28.8. a 4.9. 59
Příloha 9: Krabicové grafy redoxního potenciálu měřeného ve dnech 3.8., 10.8., 28.8. a 4.9. 59
Příloha 10: Průměrné hodnoty teplot ve °C naměřené sondami ve 3 (vyznačeno tučně) a 7 (vyznačeno slabě) cm na každé destičce v každém čtverci. Zaokrouhleno na desetiny (Rojtová nepubl., zpracování vlastní).....60
Příloha 11: Průměrné hodnoty naměřeného rozpuštěného O2 z kontinuálních sond z období 28.7. – 3.9.2019, z hadičkového a redox měření 3.8., 10.8., 28.8. a 4.9. ve 3 cm hlubokém horizontu 60
Příloha 12: Grafické znázornění teplot na jednotlivých lokalitách. Každý box obsahuje přibližně 3200 hodnot z kontinuálních teploměrů z období 1.8.-4.9 2019. 3 cm hluboký horizont je vyznačen modrou, 7 cm oranžovou barvou. Okrajové čárky značí minimální a maximální hodnotu, hrany obdélníku první a třetí kvartil, čára je medián a křížek průměr (Rojtová nepubl., zpracování vlastní).....61
Příloha 13: Metodika a výsledky bioindikačního experimentu 61

12 Přílohy

Příloha 1: Kontinuální kyslíková sonda, foto vlastní

Příloha 2: Květnaté louky sousedící s Malší důležité pro perlorodku - EISEN, foto vlastní

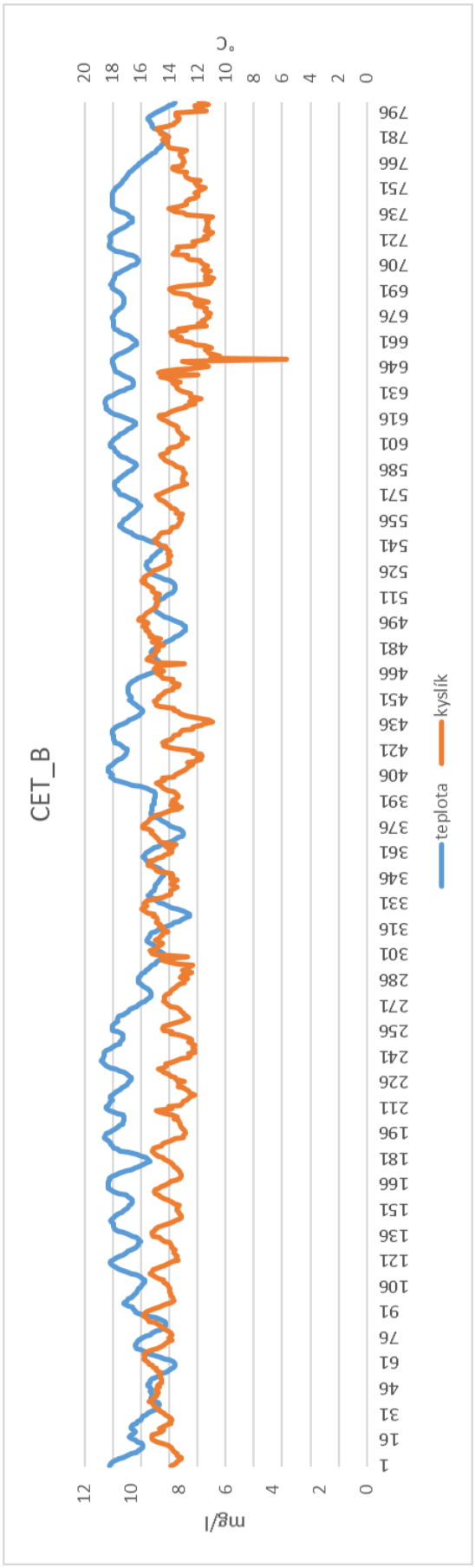
Příloha 3: Detail lokality CET, lze zpozorovat dno s největším zrnem ze všech lokalit, foto V.Barák

Příloha 4: Detail lokality TOB s jemným písčitým dnem, foto V.Barák

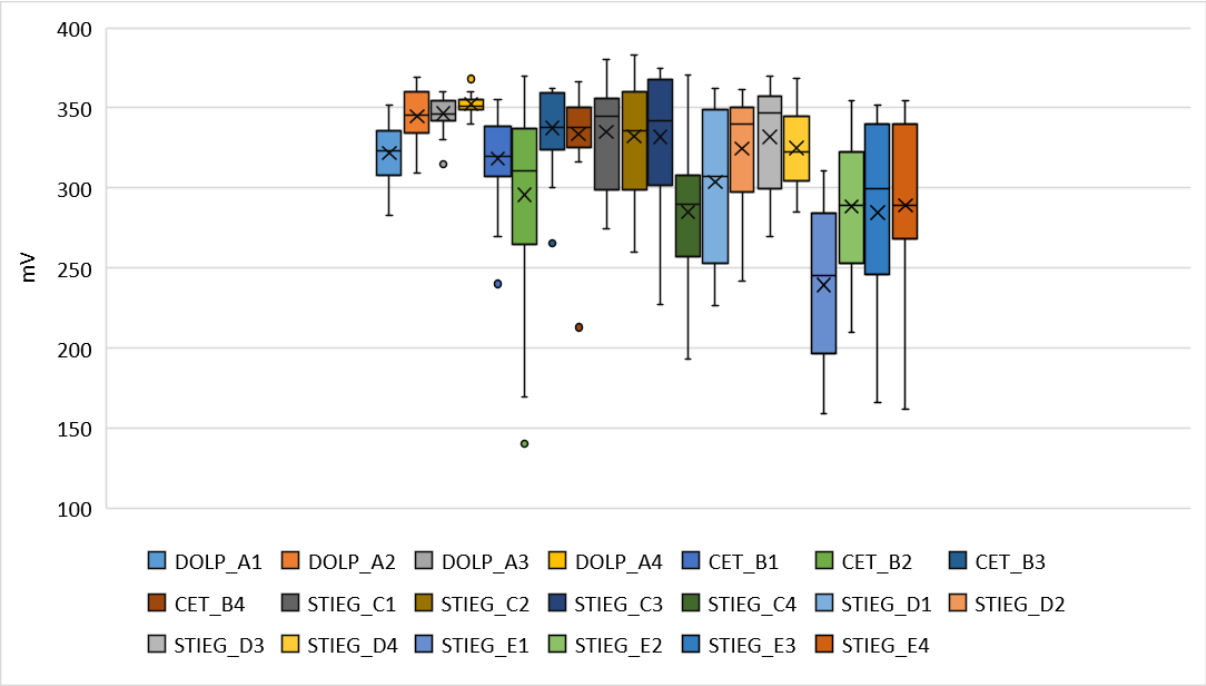
Příloha 5: Výskyt raka signálního na Malši, odchycen v létě 2019, foto vlastní

Příloha 6: Multimetr WTW použit k měření rozpuštěného kyslíku, foto vlastní

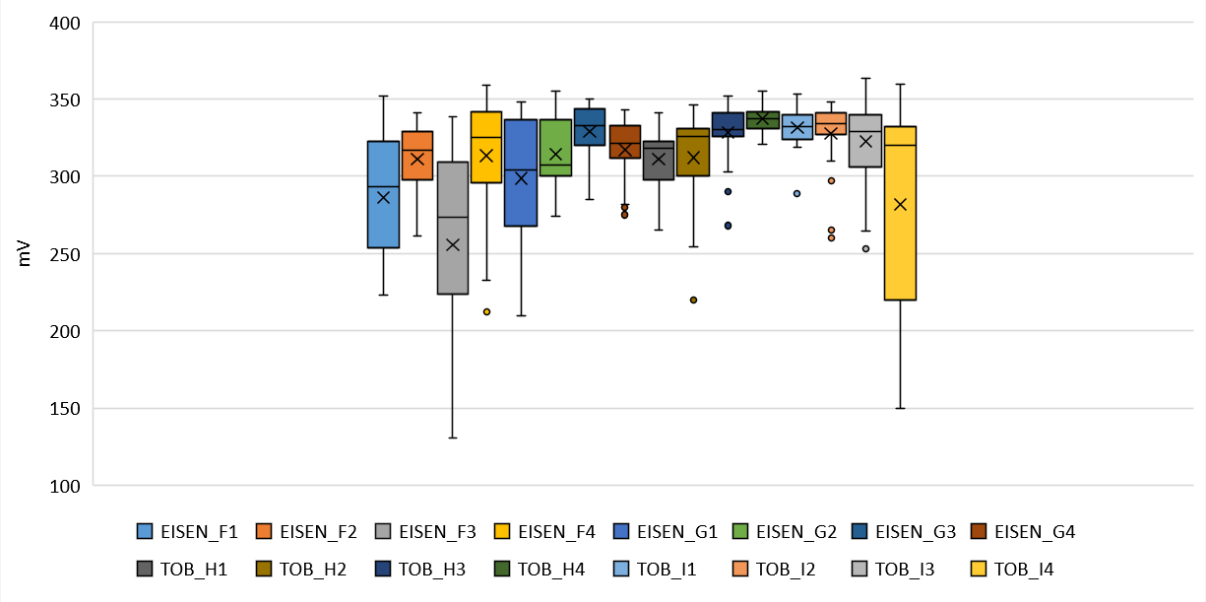
Příloha 7: Závislost chladnější vody na vyšším obsahu rozpuštěného kyslíku, lokalita CET



Příloha 8: Krabicové grafy redoxního potenciálu měřeného ve dnech 3.8., 10.8., 28.8. a 4.9.



Příloha 9: Krabicové grafy redoxního potenciálu měřeného ve dnech 3.8., 10.8., 28.8. a 4.9.



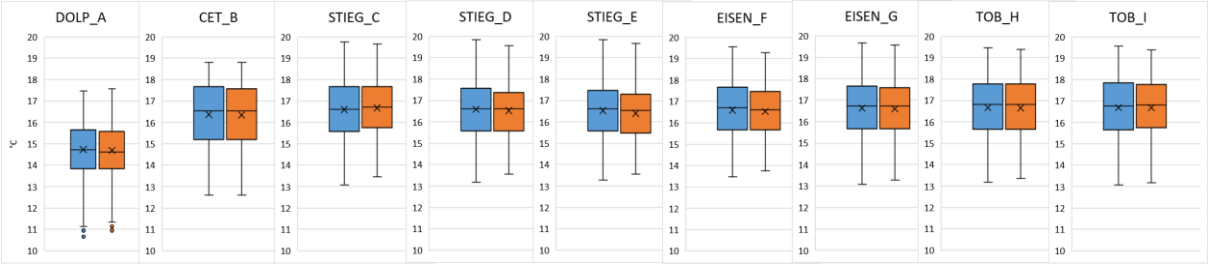
Příloha 10: Průměrné hodnoty teplot ve °C naměřené sondami ve 3 (vyznačeno tučně) a 7 (vyznačeno slabě) cm na každé destičce v každém čtverci. Zaokrouhleno na desetiny (Rojtová nepubl., zpracování vlastní)

Lokality 3 a 7 cm	Destička 1	Destička 2	Destička 3	Destička 4
DOL_A	**14,7**	**14,7**	**14,9**	**14,7**
	14,7	14,6	14,6	14,8
CET_B	**16,4**	**16,3**	**16,4**	**16,4**
	16,4	16,3	16,4	16,4
STIEG_C	**16,7**	**16,5**	**16,5**	**16,7**
	16,7	16,6	16,7	16,7
STIEG_D	**16,6**	**16,5**	**16,6**	**16,6**
	16,6	16,5	16,6	16,5
STIEG_E	**16,5**	**16,6**	**16,5**	**16,5**
	16,5	16,5	16,3	16,3
EISEN_F	**16,5**	**16,6**	**16,6**	**16,7**
	16,4	16,6	16,6	16,6
EISEN_G	**16,7**	**16,6**	**16,7**	**16,6**
	16,7	16,6	16,6	16,6
TOB_H	**16,7**	**16,5**	**16,7**	**16,7**
	16,7	16,6	16,6	16,6
TOB_I	**16,8**	**16,7**	**16,6**	**16,6**
	16,7	16,7	16,7	16,7

Příloha 11: Průměrné hodnoty naměřeného rozpuštěného O2 z kontinuálních sond z období 28.7. – 3.9.2019, z hadičkového a redox měření 3.8., 10.8., 28.8. a 4.9. ve 3 cm hlubokém horizontu

Název lokality	O2 sonda (mg/l)	O2 hadičky (mg/l)	Redox (mV)
DOL_A	8,0	7,1	342,8
CET_B	8,3	7,0	322,6
STIEG_C	1,6	7,1	319,9
STIEG_D	3,6	6,3	314,4
STIEG_E	5,6	6,2	277,6
EISEN_F	4,7	7,0	292,5
EISEN_G	5,1	7,3	304,3
TOB_H	6,3	6,8	323,8
TOB_I	6,9	7,0	310,6

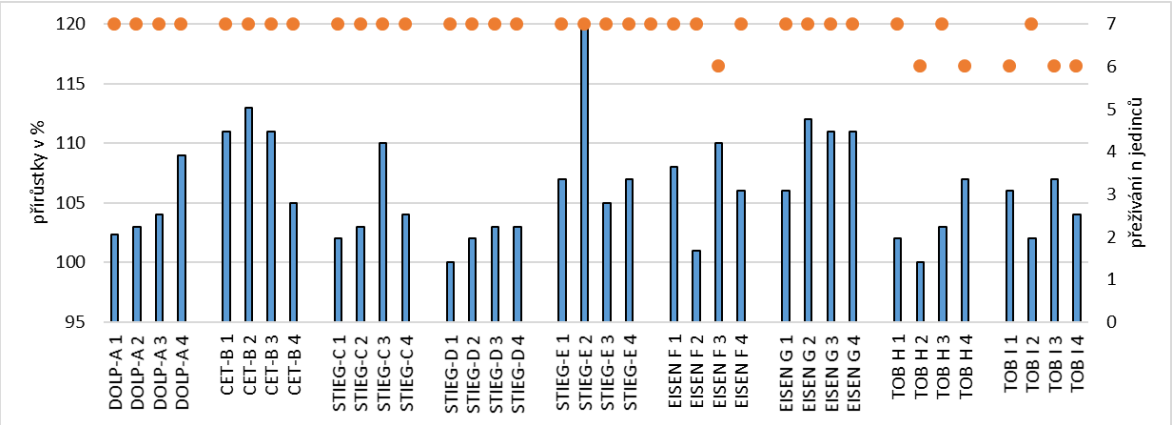
Příloha 12: Grafické znázornění teplot na jednotlivých lokalitách. Každý box obsahuje přibližně 3200 hodnot z kontinuálních teploměrů z období 1.8.-4.9 2019. 3 cm hluboký horizont je vyznačen modrou, 7 cm oranžovou barvou. Okrajové čárky značí minimální a maximální hodnotu, hrany obdélníku první a třetí kvartil, čára je medián a křížek průměr (Rojtová nepubl., zpracování vlastní)



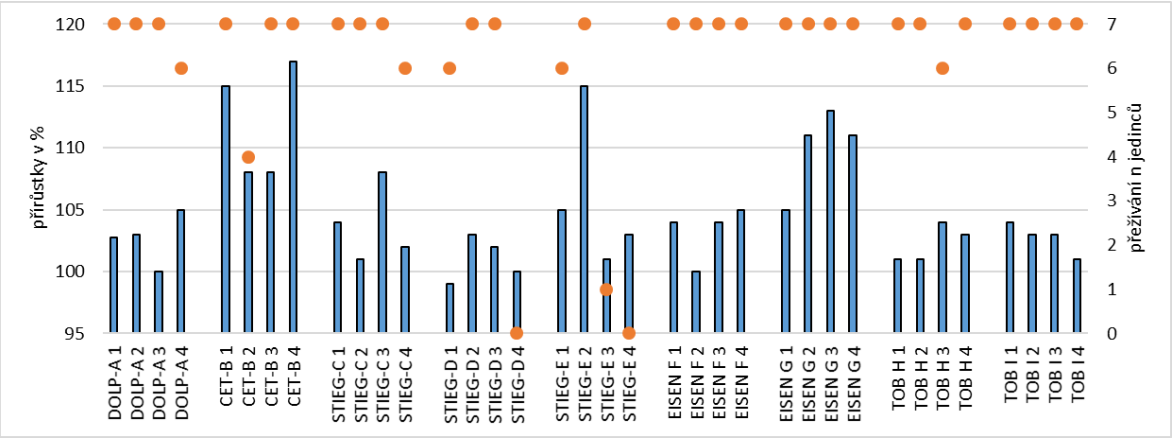
Příloha 13: Metodika a výsledky bioindikačního experimentu

Tato metoda probíhala v odchovných destičkách dle Buddensieka (1995). Pro tyto testy jsou vhodní jedinci s délkou schránky 800-1200 µm (AOPK 2013). V destičkách byli samostatně po sedmi jedincích uloženy juvenilní perlorodky z umělého odchovu, které byly předtím živeny ověřeným detritem do dvou řad, aby v hyporeálu reprezentovali 3 a 7 cm hluboký horizont. Díky tomu, že byli uloženi samostatně, bylo možno získat záznamy jednotlivých jedinců. V hyporeálu v srpnu 2019 tak bylo instalováno 36 destiček celkem s 432 jedinci. Hodnocení přírůstků bylo následně prováděno vyhotovením fotografického záznamu softwarem na vyhodnocení obrazu (AOPK 2013). Jedinci s otevřenou či narušenou schránkou, bez aktivního pohybu jsou vyhodnoceni jako uhynulí. Bioindikační destičky byly zahrabány do hyporeálu i z důvodu, že dle Černá *et al.* (2017) ve volné vodě nejsou juvenilní jedinci limitování nedostatkem kyslíku, který je klíčový pro jejich přežívání.

Průměrně nejvyšší přírůstky experimentálních juvenilů ve 3 cm dosáhla lokalita CET_B, EISEN_G a STIEG_E, taktéž v 7 cm hlubokém horizontu. Naopak nejnižších průměrných přírůstků dosahovali lokality TOB_H a STIEG_D. Ve 3 cm přežila většina z jedinců – 246 z 252 (obr. 33). Vyšší mortalitu ukázal 7 cm hluboký horizont, kde přežilo 224 z 252. Největší podíl na tom měl čtverec STIEG_D a STIEG_E (obr. 34).



Obr. 33: Výsledky bioindikačních testů ze 36 mikrohabitatů, který každý obsahoval 7 jedinců, v horizontu 3 cm. Osa y (přírůstky v %) zobrazuje procentuální rozdíl délky lastury mezi stavem po experimentu a před experimentem. Např.: hodnota 100 % značí nulový přírůstek, hodnota 120 značí 20%-ní přírůstek. Osa x (přežívání n jedinců) zobrazuje počet přeživších jedinců na každém mikrohabitatu (Bílý et Jahelková 2020, zpracování vlastní)



Obr. 34: Výsledky bioindikačních testů ze 36 mikrohabitatů, který každý obsahoval 7 jedinců, v horizontu 7 cm. Osa y (přírůstky v %) zobrazuje procentuální rozdíl délky lastury mezi stavem po experimentu a před experimentem. Např.: hodnota 100 % značí nulový přírůstek, hodnota 120 značí 20%-ní přírůstek. Osa x (přežívání n jedinců) zobrazuje počet přeživších jedinců na každém mikrohabitatu (Bílý et Jahelková 2020, zpracování vlastní)