

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

KATEDRA EKOLOGIE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

**Variabilita prostředí mělkého hyporeálu ve vztahu k vývoji juvenilů perlorodky
říční na Teplé Vltavě**

Vedoucí práce: Mgr. Michal Bílý, Ph.D.

Diplomant: Bc. Adam Sailer

2021

Zadání

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Adam Sailer

Krajinné inženýrství
Voda v krajině

Název práce

Variabilita prostředí mělkého hyporeálu ve vztahu k vývoji juvenilů perlorodky říční na Teplé Vltavě

Název anglicky

Variability of shallow hyporheal environment in relation to juvenile freshwater pearl mussel development in Tepla Vltava River.

Cíle práce

- Otestovat prostorovou variabilitu vybraných abiotických faktorů na sérii 30 studijních ploch říčního dna v Teplé Vltavě.
- Vyhodnotit stabilitu/proměnlivost těchto faktorů v čase a jejich vzájemnou závislost.
- Zhodnotit vztah variability testovaných parametrů a vhodnosti podmínek prostředí pro vývoj juvenilů perlorodky říční

Metodika

- 1) Vytipování vhodných studijních ploch na celkem 4 lokalitách Teplé Vltavy.
- 2) Provedení jednoměsíčního sledování těchto ploch v období červen/červenec 2020, založeného na měření následujících parametrů: penetrometrický odpor dna (jednorázově), redox potenciál (2 x během sledovaného období), rozpuštěný kyslík (1 x týdně), rychlost proudění (1 x týdně), aktuální hloubka (1 x týdně) a teplota (kontinuální měření pomocí záznamových čidel)
- 3) Účast na založení a vyhodnocení bioindikačního experimentu spočívajícího v umístění juvenilních jedinců perlorodky říční na dané plochy, za účelem zjištění přírůstku a přežívání.
- 4) Vyhodnocení variability podmínek na experimentálních plochách ve vztahu k výsledkům bioindikačního experimentu.

Doporučený rozsah práce

40 stran

Klíčová slova

hyporeál, perlorodka říční, kyslík, redox potenciál, říční dno

Doporučené zdroje informací

- AOPK ČR, 2013: Záchraný program perlorodky říční *Margaritifera margaritifera* v České republice. 77 s.
HARTMAN, P. – PŘÍKRYL, I. – ŠTĚDRONSKÝ, E. *Hydrobiologie*. Praha: Informatorium, 2005. ISBN 80-7333-046-6.
Lavictoire, L., Ramsey, A. D., Moorkens, E. A., Souch, G., Barnhart, M. C., 2018: Ontogeny of juvenile freshwater pearl mussels, *Margaritifera margaritifera* (Bivalvia: Margaritiferidae). *PLOS One*, Volume 13, str. 1-20.
LELLÁK, J. – KUBÍČEK, F. *Hydrobiologie*. Praha: Univerzita Karlova, 1992. ISBN 80-7066-530-0.

Předběžný termín obhajoby

2020/21 LS – FŽP

Vedoucí práce

Mgr. Michal Bílý, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra ekologie

Elektronicky schváleno dne 22. 3. 2021

prof. Mgr. Bohumil Mandák, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 22. 3. 2021

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.

Děkan

V Praze dne 22. 03. 2021

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma: *Variabilita prostředí mělkého hyporeálu ve vztahu k vývoji juvenilů perlorodky říční na Teplé Vltavě* vypracoval samostatně 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 verzí tištěnou a že s údaji uvedenými v práci bylo nakládáno v souvislosti s GDPR.

V dne

.....

(podpis autora práce)

Poděkování

Rád bych poděkoval Mgr. Michalovi Bílému, Ph.D., za odborné vedení práce a vstřícnost při konzultacích. Dále děkuji RNDr. Jitce Horáčkové, Ph.D. a Mgr. Ondřeji Simonovi, Ph.D. za pomoc při terénním experimentu i při následném zpracování dat. Také děkuji všem, kteří se podíleli na experimentu a věnují svoji pozornost a úsilí problematice a ochraně perlorodky říční.

Abstrakt

Tato práce se zabývá bioindikačním experimentem spočívajícím v umístění juvenilních stádií perlorodky říční (*Margaritifera margaritifera*) do hyporeálových sond a otestováním variability rozpuštěného kyslíku, redoxního potenciálu a teploty v oblasti mělkého hyporeálu. Hodnoceny byly také parametry rychlosti proudění, penetrometrického odporu a hloubky. Experiment proběhl na 4 vybraných lokalitách v červnu–červenci 2020 v řece Teplé Vltavě na Šumavě. Na těchto 4 lokalitách bylo vybráno 30 bodů, do kterých byly umístěny sondy. Součástí práce bylo provedení 5 kontrol, měření vybraných parametrů pro konkrétní body a jejich následné zhodnocení ve vztahu k optimálním podmínkám pro vývoj juvenilů perlorodky říční. Na základě zpracovaných dat byla vybrána nejvhodnější lokalita pro umístění juvenilů perlorodky říční (lokalita NAT). Tato lokalita vykazovala podmínky heterogenní v ploše, v čase byla ale velmi homogenní. Hodnoceny byly také vzájemné vztahy parametrů. Nejvýraznější korelace mezi jednotlivými parametry byly vyhodnoceny mezi rozpuštěným kyslíkem a ostatními parametry.

Klíčová slova

hyporeál, perlorodka říční, kyslík, redox potenciál, říční dno

Abstract

This thesis deals with a bioindication experiment consisting in placing juvenile stages of freshwater pearl mussel (*Margaritifera margaritifera*) in hyporeal probes and testing the variability of dissolved oxygen, redox potential and temperature in the shallow hyporeal region. The parameters of flow velocity, penetrometric resistance and depth were also evaluated. The experiment took place at 4 selected localities in June – July 2020 in the river Teplá Vltava in Šumava. At these 4 localities, 30 points were selected in which the probes were placed. Part of the work was the implementation of 5 inspections, measurement of selected parameters for specific points and their subsequent evaluation in relation to the optimal conditions for the development of juveniles of freshwater pearl mussels. Based on the processed data, the most suitable locality for the location of juveniles of freshwater pearl mussels (NAT locality) was selected. This locality showed heterogeneous conditions in the area, but over time it was very homogeneous. The interrelationships of the parameters were also evaluated. The most significant correlations between individual parameters were evaluated between dissolved oxygen and other parameters.

Key words

hyporeal, freshwater pearl mussel, oxygen, redox potential, river bottom

Obsah

1.	Úvod.....	1
2.	Cíle práce	3
3.	Charakteristika zájmové oblasti	4
3.1	Geologie, reliéf, půdy a podnebí.....	4
3.2	Ochrana přírody	5
4.	Perlorodka říční (<i>Margaritifera margaritifera</i>)	6
4.1	Způsob života.....	7
4.1.1	Rozmnožování	7
4.1.2	Potrava	8
4.1.3	Extrémní životnost a její plasticita.....	9
4.2	Velikost a tvar	9
4.3	Nároky na prostředí.....	10
4.4	Degradace ekosystému jako faktor snižující populace perlorodek a pstruha.....	11
4.5	Problematika výskytu a rozšíření perlorodky říční	12
4.6	Odchov perlorodek.....	14
4.7	Bioindikace	14
5.	Vybrané fyzikálně chemické vlastnosti prostředí výskytu perlorodky	15
5.1	Rozpuštěný kyslík.....	15
5.2	Redoxní potenciál	16
5.3	Teplota	16
5.4	Proudění	17
6.	Hyporeál.....	17
6.1	Teplotní a proudový režim hyporeálu.....	18
6.2	Struktura a prostupnost dna.....	18
7.	Metodika	20
7.1	Výběr lokalit	20
7.2	Výběr ploch.....	21

7.3	Hyporeálové sondy	23
7.4	Kontroly sond.....	27
7.5	Vyjmutí sond.....	27
8.	Výsledky	29
8.1	Přehled parametrů	29
8.1.1	Rozpuštěný kyslík.....	30
8.1.2	Redoxní potenciál	35
8.1.3	Teplota	38
8.1.4	Hloubka.....	41
8.1.5	Rychlost proudění	43
8.1.6	Penetrometrický odpor.....	44
8.1.7	Přežívání a nárůst perlorodek.....	46
8.2	Vzájemná závislost měřených parametrů.....	47
9.	Diskuse.....	51
10.	Závěr a přínos práce.....	54
11.	Přehled literatury a použitých zdrojů	55
12.	Přílohy.....	60

1. Úvod

Perlorodka říční (*Margaritifera margaritifera*) je holarktický druh velkého dlouhověkého mlže, který obývá chladné, oligotrofní toky ve středních a vyšších nadmořských polohách. Na rozdíl od ostatních měkkýšů vyskytujících se na území České republiky se vyskytuje ve vodách s nízkým obsahem vápníku. Většina zbytkové populace perlorodky říční se dnes v ČR vyskytuje v příhraničních oblastech, které byly v minulosti opuštěné a v současnosti jsou řídky osídlené (Beran, 2002).

Ačkoli byl tento druh v minulosti hojně rozšířen, na většině známých lokalit došlo k ukončení reprodukce a následnému vyhynutí populace. Příčinou tohoto stavu byly rozsáhlé změny biotopů v 50. letech minulého století, kdy docházelo vlivem změn využívání krajiny k znečišťování vody, eutrofizaci, nadměrné kyselosti, erozi a dalším jevům, které souvisí i nesouvisí s čistotou vody (AOPK ČR, 2013).

Z výše uvedených důvodů je perlorodka říční v České republice chráněna zákonem č. 114/1992 Sb., o ochraně přírody a krajiny a evropskou Směrnicí o stanovištích 92/43/EHS v rámci soustavy NATURA 2000. Z velkoplošných chráněných území se perlorodka říční vyskytuje v NP a CHKO Šumava, kterými protéká řeka řešená v této práci – Teplá Vltava (Vaníčková, Simon, Dort, 2014).

Přestože je kvalita vody v Teplé Vltavě velmi vysoká, celkový stav prostředí zde nepostačuje k přirozené reprodukci druhu. Populace perlorodky říční je příliš stará, málo početná a oslabená vlivem enviromentálního stresu z dob minulých. Zbytky populací perlorodky říční se v současnosti nacházejí i na několika dalších lokalitách v ČR s tím, že stejně jako na Teplé Vltavě, ani jinde většinou nedochází k přežití juvenilních stádií. Populace perlorodky říční vykazuje vysokou úmrtnost a téměř žádnou reprodukční schopnost. Celková populace perlorodek se v České republice neustále snižuje (Beran, 2011).

Perlorodka říční je tzv. deštníkovým druhem v ochraně oligotrofních povodí, u nás v současnosti především horských a podhorských oblastí. Osvěta v ochraně těchto cenných stanovišť přináší potenciální zlepšení stavu i pro další druhy ochránářsky cenné, které jsou stejně jako populace perlorodky říční vázány na tyto ohrožené biotopy. K úspěšnému rozmnožování perlorodek je zapotřebí optimální skladba rybního společenstva v toku, zejména pak dostatečné zastoupení hostitelských

ryb, na nichž se vyvíjí larvální stádia perlorodek. Z toho důvodu je důležité zachovávat migrační prostupnost toků a také zajistit vhodné podmínky přirozeným predátorům ryb, podporujících vhodnou věkovou skladbu rybích populací (AOPK ČR, 2013).

Larvální stádia perlorodky po ukončení metamorfózy opouštějí hostitelskou rybu a jako juvenilové obývají oblast mělkého hyporeálu po dobu několika let (Lavictoire, et al., 2018). Cílem práce bylo otestovat prostorovou variabilitu tohoto prostředí na vytipovaných plochách říčního dna a vyhodnotit ji s ohledem na nároky juvenilních stádií perlorodky. Experiment spočíval v měření fyzikálně–chemických parametrů (teplota, množství rozpuštěného kyslíku, redoxní potenciál, rychlost proudění) po dobu jednoho měsíce na 30 experimentálních plochách v řece Teplé Vltavě na Šumavě. Na plochách byly současně umístěny experimentální sondy s juvenilními stádii perlorodky říční za účelem vyhodnocení jejich přežívání a růstu.

2. Cíle práce

Cílem této diplomové práce je otestovat prostorovou variabilitu vybraných abiotických faktorů na sérii 30 studijních ploch říčního dna v Teplé Vltavě na Šumavě. Následně pak vyhodnotit stabilitu a proměnlivost těchto faktorů v čase a vyhodnotit jejich vzájemnou závislost a jejich vztah k vhodnosti prostředí pro vývoj juvenilních stádií perlorodky říční.

3. Charakteristika zájmové oblasti

3.1 Geologie, reliéf, půdy a podnebí

Geologie a reliéf

Šumava je tektonicky zdviženým zarovnaným pohořím. Zbytky původního třetihorního zarovnaného povrchu jsou nejlépe zachovány ve střední části v oblasti Plání, kudy protéká Teplá Vltava. Zde se nachází největší souvislá plocha území nad 1000 m v celé ČR. Z plání Královského hvozdu vybíhají horské hřbety s výškovými rozdíly 300–600 m a na jihovýchodě lemují Vltavickou brázdu – široký úval horní Vltavy mezi Lenorou a Lipnem založený v terciéru. I ostatní údolí jsou většinou široká úvalovitá. Mladé ostře modelované údolní zářezy hluboké 100–300 m se vyvinuly při okrajích v místech intenzivní zpětné eroze hlavních vodních toků – na horní Otavě, Blanici a Vltavě pod Lipnem. Reliéf bioregionu Šumava má převážně charakter hornatiny s výškovou členitostí 300–600 m. Vltavická brázda, ve které se nachází zájmová lokalita, má však charakter ploché vrchoviny až členité pahorkatiny s výškovou členitostí jen 70–200 m.

Celý bioregion Šumava je budován převážně kyselým moldanubickým krystalinikem. Převládají zde pararuly až migmatity, dále se zde vyskytují cordieritické ruly až nebulity a dvojslídne ruly až svory. V jihovýchodní polovině regionu tvoří významnou část intruziva: kyselé žuly až granodiority. Skupinu Knížecího Stolce tvoří bazičtější syenodiority, které odtud vybíhají na jižní stranu Vltavy na Stožec. V okolí vodní nádrže Lipno se vyskytují pruhy amfibolitů a krystalických vápenců. Z pokryvů zde převládají svahoviny, od smíšených v údolí Vltavy po hrubé sutě a kamenná moře. Podél toku Vltavy se vyskytují fluviální písky a šterky. V blízkosti lokality se nachází Soumarské rašeliniště (Culek, 2013).

Podnebí

Podle Quitta pouze nejteplejší část Vltavické brázdy leží v mírně teplé oblasti MT 3, zbývající část regionu leží v chladných oblastech CH 7, CH 6, místa s největší nadmořskou výškou pak v nejchladnější oblasti CH 4. Podnebí je ve větších nadmořských výškách výrazně chladné, avšak velké rozdíly jsou v úhrnu srážek mezi návětrnou severozápadní částí a závětrnou jihovýchodní částí ve srážkovém stínu (Culek, 2013).

Půdy

Na Šumavě z hlediska půd převažují kambizemní podzoly, které pouze místy v polohách pod 850 m přecházejí do dystrických kambizemí. Na Stožci jsou na bohatším substrátu vyvinuty živnější balvanité typické kambizemě. Na dnech úvalovitých údolí i na plošinách jsou vyvinuty velmi rozsáhlé plochy organozemních glejů, přecházejících na jedné straně do organozemí typu středně úživných slatin a rašelin v údolních polohách, na druhé straně do velmi chudých organozemí typu vrchovištních rašelin (Culek, 2013).

3.2 Ochrana přírody

Na české straně bioregionu je vyhlášen Národní park Šumava, jehož ochranné pásmo má statut CHKO. Na území Německa na něj navazuje národní park Bayerische Wald. Celkem je v české části bioregionu vyhlášeno 125 MZCHÚ (včetně I. zón NP). Nejvýznamnější části národního parku jsou zahrnuty do 1. zóny, která zabezpečuje ochranu jádra bioregionu s přirozenými lesními ekosystémy, rašeliništi, ledovcovými jezery i primárním bezlesím na prudkých svazích karů i na kamenných mořích. Rozsahem největší je první zóna v oblasti Modravských slatí, chránící hlavně rozlehlá rašeliniště s kosodřevinou a komplex podmáčených a rašelinných smrčín. Klíčová je oblast Vltavského luhu, chránící meandrující tok s pobřežními porosty, komplexem mrtvých ramen, tůní, mokřadů a nelesních i lesních rašelinišť (místy se stromovou borovicí blatkou); toto území se vyznačuje velmi bohatou flórou a faunou, kde se vyskytuje 91 zvláště chráněných druhů rostlin a živočichů, včetně vymírající populace perlorodky říční. Vltavský luh s jeho vlastnostmi, jako je vysoká nadmořská výška, mírný spád, čistota vody a přirozené koryto, zastává roli unikátního ekosystému v rámci střední Evropy a je také předmětem zájmu praktické části této práce. Mimo území Národního parku Šumava je též řada MZCHÚ. K nejvýznamnějším patří NPR Královský hvozd, která chrání zbytky přirozených lesů (klimaxové smrčiny, horské bučiny) a mnohé ohrožené druhy. NPR Bílá strž zahrnuje zaříznuté skalnaté údolí s květnatými a acidofilními bučinami a azonálními smrčínami. NPR Černé a Čertovo jezero chrání ledovcová jezera s karovými stěnami a přilehlými ekosystémy horských smrčín a acidofilních bučin.

NPR Boubínský prales zahrnuje jednu z našich nejstarších a nejznámějších rezervací s pralesovitými porosty smrčín a smrkových bučin. NPR Velká niva chrání

rozlehlé nivní rašeliniště, pralesovité rašelinné smrčiny a blatkové bory, v NPP Blanice, která chrání přirozený (pod)horský potok, je hlavním motivem nejbohatší populace perlorodky říční. V NPR Čertova stěna-Luč se nachází otevřená balvanová pole, reliktní bory a suťové lesy se vzácnou flórou. NPP U Hajnice hostí trávníky s populací kriticky ohrožené měkčilky jednodlisté (*Malaxis monophyllos*) a dalších chráněných druhů. Dále se zde nacházejí desítky přírodních památek (PP) a rezervací (PR) (Culek, 2013).

4. Perlorodka říční (*Margaritifera margaritifera*)

Perlorodka říční je dlouhověký sladkovodní mlž vázaný na oligotrofní vody (Moorkens, Killeen, 2014). Nepříznivý stav ochrany sladkovodních mlžů rodu *Margaritifera margaritifera* vyvolává rostoucí úsilí ve výzkumu věnovaném popisu požadavků na jeho stanoviště. Přesto v této oblasti zůstává mnoho nevyřešených otázek, které omezují rozhodování o budoucí ochraně. Zejména nedostatek přirozeného výskytu populace perlorodky říční v důsledku snížené schopnosti přežití jejích juvenilních stádií se v mnoha oblastech jeví jako kritický, ale špatně pochopený proces (Douda a kol., 2012).

Sladkovodní mlž perlorodka říční je ohrožený druh fauny hydrobiontů vodních útvarů v Evropě. V současné době je 95–100% stávající populace perlorodky říční ve střední a jižní Evropě na pokraji vyhynutí (Bauer, 1986, 1988). Perlorodka říční proto patří mezi jedny z nejvíce ohrožených druhů bezobratlých na světě (Bogan, 1998; Graf a Cummings, 2007).

Stabilní populace přežívá v méně než 50 řekách v Kanadě, Skotsku, severozápadním Rusku a na severovýchodě Skandinávie. Stále přetrvávající malé kolonie perlorodky říční jsou známy v Bavorsku, České republice a Rakousku (Murzinaa, Ieshkoa, Zotin, 2017).



Obrázek 1: Perlorodka říční (*Margaritifera margaritifera*), zdroj: Simon, 2020.

4.1 Způsob života

4.1.1 Rozmnožování

Perlorodka říční se řadí mezi gonochoristy, vyskytuje se u ní tedy samčí i samičí pohlaví. Pokud jsou jedinci roztroušeni a izolováni napříč tokem, mohou se samice stát hermafroditními. Na konci jara samci vypouštějí do vodního prostředí značné množství spermií, které jsou následně nasávány samicemi a oplodňují vajíčka. Takto oplodněná vajíčka se pak v mezižeberním prostoru samičky vyvíjí až do podoby parazitických larev – glochidií (Beran, 1998). Samičí pohlaví perlorodek může vyprodukovat až několik milionů glochidií ročně. Vzhledem k tomu, že podíl dospělých jedinců produkujících glochidie je relativně vysoký, a to i v řídkých populacích, zdá se, že omezená plodnost není ve většině populací perlorodek limitujícím faktorem (Geist, Auerswald, 2007). Tyto parazitické larvy se ze samičky uvolňují v létě a připevňují se na žábry lososovitých hostitelských ryb, kde zůstávají přes zimu, vytváří cysty a metamorfují se do juvenilního (dospělci podobného) stádia. Mortalita glochidií po uvolnění se ze samičky dosahuje 99 %. Po úspěšné metamorfóze opouštějí hostitele následující jaro. V tuto chvíli dosahují velikosti 0,3–

0,5 mm, proříznou se z cysty a volně dopadají na říční dno, kde se pomocí svalnaté nohy zahrabou a následně obývají intersticiální prostory v říčním substrátu po dobu 5–10 let. Během této doby postupně zaujímají stabilní pozici na povrchu dna. Pohlavní dospělosti dosahují přibližně po 15–20 letech života (AOPK ČR, 2013; Lavictoire, et al., 2018).

4.1.2 Potrava

Perlorodky a ostatní velcí mlži se živí filtrováním mikroskopických částic z vody a řadí se mezi dominantní filtrátory v mnoha světových řekách, kde pomáhají zlepšovat kvalitu vody. Nejenže tento filtrační proces čistí vodu, ale také podporuje vývoj makrofyt, které napomáhají ukládání dusíku, fosforu a těžkých kovů. Perlorodky říční čistí vodu odstraněním suspendovaného jílu, bakterií, fytoplanktonu a malého zooplanktonu. Rovněž odstraňují částicovou organickou hmotu z vodního sloupce a sedimentu. Z ekologického hlediska jsou tedy důležité pro zachování čistého vodního prostředí (Mamun, Khan, 2011). Samotný proces filtrace probíhá tak, že pomocí pootevřených lastur vodu nabírají a složitými mechanismy jsou schopny zachytit i částice o velikosti tisícin milimetru. Při filtraci takto malých částic mají špatnou schopnost rozeznávat výživné částice nad nevýživnými (Lavictoire, et al., 2018). Jedna perlorodka říční je schopna přefiltrovat až 40–50 l vody denně. Z částic vytvoří balíček, který přesune k ústnímu otvoru skrytému uvnitř schránky. Dokáže oddělit nepoživatelné částice jílu či vysrážených železitých látek, které následně vyvrhne v jiném typu balíčku (Perlorodka ©2015).

Potravou perlorodky říční je detrit, který vzniká z rostlinných, v některých případech i živočišných zbytků. Z lučních společenstev se detrit do toku dostává drobnými kapilárami, které jsou mimo jiné i zdrojem vody, jež se díky bohatému meandrování prohřívá a zlepšuje tak podmínky pro reprodukci perlorodek. Bohužel, řada těchto malých vodních toků byla v minulém století při rozmachu odvodňování pozemků nenávratně zničena. Jejich funkci mohou částečně nahrazovat potravní stružky, které slouží k obohacení potravní nabídky. Je možné je vybudovat i těsně u kolonií a v oblastech odchovu a uložení mladých perlorodek. Mikrobiální oživení detritu v teplejší vodě potravní stružky může vytvořit kvalitní potravu pro juvenilní stádia perlorodky říční (Vaničková, Kopečková, Dort, 2016).

4.1.3 Extrémní životnost a její plasticita

Délka života i maximální velikost perlorodek jsou vysoce variabilní faktory mezi populacemi. Tato variabilita může mít genetický i environmentální základ (Hastie, Boon, Young, 2000). Rozdíly v maximální délce života mezi populacemi perlorodky říční jsou značné. Ve velké části Evropy, včetně České republiky, se hodnoty pohybují od 30 do 132 let. V Irsku se zaznamenané hodnoty pohybují od 55 do 110 let. U arktických populací se jedná o hodnoty od 41 do 190 let. Dokonce i malé oblasti severních skotských populací zaznamenávají velké rozdíly, a to od 28 do 123 let. V severní Evropě je obvyklé najít jedince starší 70 let, avšak například ve Španělsku a na Pyrenejském poloostrově je obtížné najít jedince starší 65 let (Miguel, et al., 2004).

4.2 Velikost a tvar

Velikost a tvar perlorodky jsou v každém věku zaznamenány jako růstové prstence nebo mezikruží, v podstatě stejným způsobem jako je tomu u kmenů stromů. Analýzou ročních přírůstků velikosti lze zaznamenat rozdíly v rychlosti růstu a změnách tvaru během života konkrétních jedinců (Miguel, et al., 2004). Lastura perlorodky říční má fazolovitý tvar. Maximální délka pláště dosahuje hodnot 80 ± 145 mm. Výška pak 50–60 mm. Španělské populace perlorodek říčních dosahují pouze malé velikosti (nedosahují více než 118 mm). Naproti tomu skotské, irské a ruské populace rostou nad 150 mm. Největší zaznamenaný jedinec nalezený v severozápadním Rusku měří 162 mm. Silná negativní korelace mezi tempem růstu a zeměpisnou šířkou pro perlorodku v celé Evropě je přičítána různým fyzikálně-chemickým faktorům. Růst perlorodek říčních pravděpodobně může být více ovlivněn faktory prostředí (jako je kvalita vody) než faktory genetickými. Neočekávaně malé pláště perlorodek tak mohou být výsledkem špatné kvality vody (Miguel, et al., 2004).

Na růst populací má vliv pH toku i horniny nacházející se v oblastech výskytu perlorodek říčních. Zdá se, že růstové vzorce perlorodek jsou ovlivněny také teplotou vody související s nadmořskou výškou. Jedná se o tepelný efekt, kdy mušle v horním (chladnějším) toku rostou pomaleji než ve spodním (teplejším) toku. Růstové vzorce také souvisejí s pohlavím. I když jsou skutečné rozdíly ve velikosti mezi samčím a samičím pohlavím zanedbatelné, tak jsou zde patrné fyziologické rozdíly související s pohlavím a samec zřejmě roste o něco více než samice (Hastie, Boon, Young, 2000).

Křivky růstu populací perlorodky říční ukazují jejich rychlý růst během prvních 6 let života, po kterém následuje konzistentní pokles. Takovéto snížení rychlosti růstu s věkem naznačuje změnu v alokaci energie, pravděpodobně tento fakt souvisí s postupným zvyšováním proporcí k reprodukci (Miguel, et al., 2004). Protože maximální délka pláště úzce souvisí s plodností tohoto druhu (větší perlorodky produkují více potomků), jsou tak populace vyznačující se nízkými hodnotami maximální délky lastury více náchylné k vyhynutí.

Perlorodky říční se mohou vyskytovat v mikrohabitatech s různými podmínkami (charakterizovanými rychlostí vody a typem substrátu), dokonce i v malých řekách. Pozorované rozdíly ve tvaru a velikosti lastury se dávají do souvislosti s místními hydrografickými podmínkami. Existuje i vztah mezi délkou řeky a velikostí lastury. Velké řeky s nejrychleji rostoucími perlorodkami mají obecně jemnější a měkčí substráty (Hastie, Boon, Young, 2000).

4.3 Nároky na prostředí

S největší pravděpodobností je optimálním stanovištěm perlorodek říčních koryto řeky, které vykazuje dostatečnou stabilitu, aby chránilo dospělá i juvenilní stádia před rušivými pohyby, ale zároveň v něm voda proudila dostatečně rychle, aby zabránila vstupu jemného sedimentu (Moorkens, Killeen, 2014). Vzhledem ke způsobu života perlorodky říční je tento druh vázán výhradně na pstruhová pásma řek. Vyskytuje se v řekách s nízkým obsahem vápníku a celkově nízkou mineralizací (Gittings et al. 1998).

Hlavním nárokem pro výskyt perlorodky říční je vysoká kvalita vody, která je definována chemickými a fyzikálními poměry. Voda vhodná pro výskyt perlorodky je specifická nízkou hodnotou BSK₅ (< 1,5 mg O₂/l), vysokým obsahem rozpuštěného kyslíku (100%) a nízkou hodnotou konduktivity (max. 70 μS/cm). Perlorodky říční dokáží přežít krátkodobý deficit kyslíku. Nízká koncentrace rozpuštěného kyslíku však může zpomalit jejich růst a může mít za následek sníženou kondici perlorodek (Geist, Auerswald, 2007). Dalším limitním faktorem je teplota vody, roční maxima by neměla přesahovat 20 °C. Krátkodobé maximum, které je populace perlorodky schopna tolerovat, je nejvýše 23 °C. Vliv má také pH, které by se mělo pohybovat v rozmezí 6–7,1, tedy mírně kyselé (AOPK ČR, 2013). Maximální obsah dusičnanů by se měl pohybovat pod hodnotou 2,5 mg/l, celkové množství fosforu < 20–35 μg/l,

množství amoniaku $\text{NH}_4^+ < 0,1 \text{ mg/l}$ a množství vápníku $< 8 \text{ mg/l}$ (Absolon, Hruška, 1999).

Dále mají vliv faktory typologické a ekomorfologické, mezi které patří geologické podloží – granit, granulit, rula, fylit, maximální nadmořská výška – 850 m.n.m., průměrná rychlost proudu – 0,2–0,4 m/s, výška hladiny alespoň 10 cm, průtok – alespoň 0,02 m³/s, struktura dna – psammal (0,063–2 mm) až mikrolithal (2–6,3 cm) a celkový charakter toku a břehů – meandrující s rozvolněným břehovým porostem se zastíněním 60–100% (AOPK ČR, 2013).

4.4 Degradace ekosystému jako faktor snižující populace perlorodek a pstruha

Degradace stanoviště je jeden z hlavních důvodů úbytku populace a vyhynutí druhů. Degradace biotopů může mít nejen přímý vliv na organismy, ale může na ně působit také nepřímo v důsledku změn v jiných částech ekosystému. Účinky změny stanoviště na daný druh závisí na attributech, jako je plodnost, rychlost růstu, přežití, délka života, věk v dospělosti, mobilita a způsob hledání potravy. V populacích, kde byla reprodukce neúspěšná kvůli degradaci stanoviště, by měly popisy věkové struktury indikovat, kdy naposledy došlo k úspěšné reprodukci a čas zbývající do vyhynutí, pokud se reprodukce neobnoví. Paraziti, tedy i glochidie perlorodky říční, jsou úzce spjati se svými hostiteli (Makhrov, et al., 2014). V takových případech může reprodukce souviset nejen s tolerancí parazita vůči degradaci stanoviště, ale také nepřímo prostřednictvím tolerance hostitele ke stejnému narušení. Proto je nezbytné zkoumat ekologii obou druhů ve vztahu hostitel–parazit. Přibývání jemných částic v tocích způsobené například činnostmi, jako je lesnictví a zemědělství, degraduje biotopy toků a může negativně ovlivnit bentické organismy živící se filtrováním vody, včetně perlorodky říční, ale i jejího hostitele pstruha potočního. Jedním z důsledků zvýšeného zákalu a sedimentace může být snížená aktivita při hledání potravy pstruha a snížený růst perlorodek. Juvenilní perlorodky bývají citlivé na nízkou hladinu rozpuštěného kyslíku a pH, které mohou být způsobeny sedimenty ucpávajícími intersticiální prostory v proudových substrátech. Zanesení intersticiálních prostor může také negativně ovlivnit vývoj embryí lososovitého hostitele perlorodky. Přestože bylo prokázáno, že pstruh je sedimentací zasažen, má vyšší toleranci k sedimentaci než juvenilní stádium perlorodky říční, nebo si může vybrat oblasti tření s nízkou

sedimentací. Vysoké hustoty pstruhů jsou potřebné pro úspěšnou reprodukci perlorodky říční. V důsledku toho může vysoká úroveň sedimentace přímo ovlivnit fázi bentické juvenilní perlorodky a snížené přežití embryí pstruhů může nepřímo ovlivnit reprodukci perlorodek. (Österling, Arvidsson, Greenberg, 2010).

4.5 Problematika výskytu a rozšíření perlorodky říční

Příčinami dramatického úbytku druhu perlorodky říční v českých tocích jsou znečištění vody cizorodými látkami či nadměrným množstvím živin, znečištění vnosem jemných i hrubozrnných částic zeminy vlivem vodní eroze v povodí, nevhodný vodní a teplotní režim, nedostatek hostitelských lososovitých ryb a nedostatek potravy – detritu. Ačkoli je obhospodařování a struktura ploch v blízkosti toků s výskytem perlorodky dlouhodobě již v neextenzivním režimu, i přes vysokou kvalitu vod vymírá. Za poslední dvě desetky let klesla celková početnost populace perlorodky říční v ČR prokazatelně o řád a počet přežívajících jedinců na lokalitách neumožňuje přirozenou reprodukci (Chobot, 2016).

Výskyt a rozšíření perlorodky říční a dalších vzácných druhů je spjat s využíváním krajiny a osidlováním výše položených částí povodí. Uvolňování jemných a hrubých sedimentů v povodí, zvláště kalů a písku, může způsobit poškození biotopu perlorodky říční. Jemné částičky ucpávají prostor v průtočném dně, což obvykle vede k vyčerpávání kyslíku, který je nezbytný k životu juvenilních stádií perlorodek. Dospělí jedinci mají problém s hrubými sedimenty, které způsobují jejich nestabilní ukotvení a následné splavování perlorodek dále po proudu do méně příznivého prostředí. Pro zlepšení stavu této problematiky je možno budovat opatření k záchytu splavenin, která umožní ochránit mikrohabitaty perlorodek. Hlavně je ale nutno odstranit zdroje eroze budováním protierozních opatření (Vaníčková, Kopečková, Dort, 2016).

Dalším významným problémem pro populaci perlorodky říční je budování migračních bariér v toku, konkrétně výstavba přehrad, jezů a hrází průtočných rybníků. Při přehrazení toku dochází k vytvoření nepřekonatelné překážky nejen pro ryby jakožto hostitele nejmladších stádií perlorodky říční, ale také pro další vodní živočichy. Dochází tak k izolaci jednotlivých subpopulací vodních živočichů, což může mít za následek postupné oslabení populací či jejich úplné vyhynutí. Pokud v určitém úseku dojde k vyhynutí populace živočišného druhu, není kvůli migračním

bariérám možný jeho návrat z níže položených úseků vodního toku. Perlorodka říční je jedním z druhů, který je touto problematikou zasažen nejvíce, jelikož její šíření na větší vzdálenosti je možné pouze v larválních stádiích parazitujících na rybách. Zároveň přehrazením toků dochází k výrazným změnám vlastností stanoviště, kdy se bystře tekoucí vody mění ve vodu pomalu tekoucí až stojatě. Jediným možným řešením tohoto problému je odstranění alespoň nefunkčních jezů a stupňů. U vodních staveb, které nelze z nejrůznějších důvodů odstranit, je potřeba vybudovat rybí přechody či obtokové kanály, je-li to technicky proveditelné (Machar, Drobilová, 2012).

Mezi neméně významné problémy výskytu perlorodky říční patří negativní vliv vodní turistiky na koryto toku, ve kterém se perlorodka říční vyskytuje. Tato problematika se týká konkrétně Teplé Vltavy, kterou se tato práce zabývá. Ačkoli je vstup do koryta zakázán, vodáci často zákaz porušují a vystupují z lodí mimo místa určená k nástupu a odpočinku. Pro mladé mlže je zde nebezpečí rozšlapání v mělkých sedimentech, navíc jsou mechanicky poškozovány porosty makrofyt. Makrofyta jsou důvodem, proč je Teplá Vltava jedinou lokalitou v České republice, která má zdroj detritu přímo v porostech dnových makrofyt. Díky tomu zde perlorodka říční není vázána pouze na přísun detritu z mokřadních nebo suchozemských ekosystémů, jako na všech ostatních lokalitách. Problém nastává zejména v letních měsících, kdy se zvyšuje s postupnou komercionalizací počet vodáků. Makrofyta jsou poškozována z důvodu nízké minimální hladiny, při které je dovoleno splouvání, dále kvůli vysoké frekvenci lodí na řece a v neposlední řadě neukázněnosti posádek lodí (Simon, a kol., 2006; NP Bayerischer Wald, 2020).

Na početnost populace perlorodky říční mají vliv také změny vegetačního krytu v povodí. Počet populací klesá od 40. let 20. století, kdy se v důsledku intenzivního zemědělství, průmyslového rozvoje a celkové změny ve využívání krajiny začaly zanášet toky sedimenty pocházejícími z výše položených pozemků. Znečištění erozí a vymývání zemědělských hnojiv mělo v minulosti velký vliv na dramatický pokles počtu perlorodek říčních například v Lužním potoce na česko-bavorské hranici (Miko, Hošek, 2010).

4.6 Odchov perlorodek

Chov nabízí krátkodobé řešení pro zvýšení velikosti populace a může být uplatňován do té doby, dokud nebude možné ve volné přírodě obnovit přirozený nárůst populace. Chov musí být spojen s vylepšením stanovišť v celém povodí, aby stanoviště perlorodky říční odpovídalo jejím nárokům. Pokud nedojde k podstatnému zlepšení kvality stanovišť, nebude zajištěna udržitelná úroveň přežití juvenilních perlorodek a nenastane zotavení volně žijících populací. Perlorodka říční se v Evropě chová v zajetí již více než 30 let. V České republice zavedl odchov perlorodek Hruška (1992) se svým týmem. Ze studií zaměřených na chov perlorodek vyplývá, že pro jejich optimální růst a přežití je nutné poskytnout vhodné podmínky prostředí, mezi které náleží velikost a hloubka substrátu, režim údržby (čištění) a hustota osazení stravou a jedinci. Pro zajištění vysokého počtu přeživších by hloubka substrátu měla být alespoň 1–2 mm. Kombinace malé velikosti substrátu a častého (týdenního) čištění nevytváří vhodné podmínky pro život perlorodky. Pro zvýšení životaschopnosti je důležité zajistit pro juvenilní stadia dostatek hrubého substrátu. Čištění substrátu jednou týdně má nepříznivý vliv na přežití ve srovnání s měsíčním čištěním. Nízká míra přežití a růstu při častějším čištění je asociována se stresem perlorodek či s jejich náhodným poškozením, což vede k vyšší úmrtnosti. Co se týče hustoty osazení, vyšší hustota může vést k častějšímu výskytu plísňových infekcí, které se mohou rychle šířit a zabít velké množství jedinců (Lavictoire, et al., 2016).

4.7 Bioindikace

Princip bioindikace vychází z teze, že kondice a výskyt jedinců vybrané skupiny organismů odráží celkový stav prostředí. In-situ bioindikační metody vztažené k perlorodce poprvé použil Buddensiek (1995), kdy exponoval juvenilní perlorodky přímo v říčním prostředí po dobu 9 měsíců a měřil jejich velikost na začátku a na konci experimentu. Jako chovný systém perlorodek využil destičky, ve kterých byly umístěny juvenilní stadia a destičky samotné umístil do volné vody. Kromě těchto destiček jsou využívány i jiné systémy, například klícky nebo válcovité sondy. V českém záchranném programu byla doba exponace perlorodek v toku snížena na jeden měsíc a bylo zavedeno využívání sond s vhodným substrátem umístovaných přímo do hyporeálu. Výhodou těchto sond je množství jedinců, které do nich lze umístit, nevýhodou pak nejisté kyslíkové poměry v hyporeálu, které mohou způsobit

zvýšenou úmrtnost jedinců. Pomocí těchto bioindikačních metod lze sledovat vhodnost prostředí pro daný druh skrze mortalitu a měření nárůstů konkrétních jedinců (Buddensiek 1995; Simon, Tichá, Rambousková a kol., 2018).

5. Vybrané fyzikálně chemické vlastnosti prostředí výskytu perlorodky

Voda a její jednoduchá molekula H_2O vykazuje anomálie prakticky ve všech svých vlastnostech. Proměnlivé vlastnosti molekul vody způsobují jednotlivě i ve svých kombinacích změny vodního prostředí, na které se musí organismy a i jejich celá společenstva přizpůsobovat fyziologickými, morfologickými a etologickými adaptacemi (Lellák, Kubíček, 1991; Lewis, Viessman, 2003). Níže jsou popsány vybrané vlastnosti měřené v praktické části.

5.1 Rozpuštěný kyslík

Kyslík je nejdůležitějším biogenním prvkem a je významným kritériem pro hodnocení kvality vody (Říhová Ambrožová, 2003). Většina vodních organismů je při své látkové výměně závislá na kyslíku, jehož množství značně ovlivňují vnější podmínky, jako je teplota, atmosférický tlak a biologické pochody. Čím je vyšší teplota vody, tím méně kyslíku se v ní rozpouští, proto jsou horské chladné potoky na rozdíl od teplejších nížinných řek bohatě prokysličený. U atmosférického tlaku platí přímá úměrnost, tedy čím vyšší je, tlak tím více kyslíku se ve vodě rozpustí, z čehož vyplývá, že voda o stejné teplotě bude v různé nadmořské výšce jinak prokysličená. Pokud obsah rozpuštěného kyslíku ve vodě odpovídá daným fyzikálním veličinám, je voda 100% saturována (Sukop, 2006). Variační rozpětí kyslíku kolísá více u větších řek než u malých potoků. Množství kyslíku a s ním spojená kyslíková rovnováha v toku je způsobena deoxygenačními a reoxydačními procesy. Obohacení vody kyslíkem, tzv. reoxygenační proces, je způsoben difúzí kyslíku ze vzduchu a fotosyntézou rostlin. K okysličení také dochází v peřejích a vodopádech, kde se vyskytuje silnější turbulentní proudění. Spotřeba kyslíku, tzv. deoxygenační proces, je způsoben dýcháním organismů a rozkladem organických látek. Díky výše zmíněným procesům dochází v tocích k dennímu a sezónnímu kolísání kyslíku. Toto kolísání je zřetelnější u toků zatížených organickým znečištěním, například podzimním spadem listů. Negativní vliv na okysličení má také zamrzání hladiny (Lellák, Kubíček, 1991).

5.2 Redoxní potenciál

Redoxní potenciál charakterizuje probíhající oxidačně redukční procesy ve vodách. Jedná se o potenciál nabití kovové elektrody ponořené do kapaliny, který je vztažen k potenciálu standardní vodíkové elektrody. Kovová elektroda je většinou z platiny. Výsledná hodnota potenciálového rozdílu je pak úměrná logaritmu rozdílu redukované a oxidované látky. Jednotkami redoxního potenciálu jsou V, popřípadě mV. Podmínkou měření je reverzibilita oxidačně redukční reakce, typicky iontů dvojmocného železa, které vznikají redukcí nerozpustného trojmocného železa. V přirozených vodách má měření a interpretace výsledků empirický charakter, jelikož jsou výsledky závislé na okolních podmínkách, především na pH a obsahu kyslíku. Často také není zachována podmínka reverzibilita oxidačně redukční reakce v přírodních vodních systémech. I přesto lze tato měření interpretovat tak, aby poskytla důležité informace o procesech probíhajících ve vodním prostředí. Pokud má platinová elektroda negativní potenciál vůči nasycené vodíkové elektrodě, je zde redukční prostředí a naopak, pokud je potenciál kladný, je zde prostředí oxidační. Toho lze využít například k odhadu množství rozpuštěného kyslíku v prostředí (Lellák, Kubíček, 1991; Říhová Ambrožová, 2003).

5.3 Teplota

Teplota vody patří mezi hlavní fyzikální ukazatele, které se podílejí na ovlivňování života organismů ve vodním prostředí. Voda je ohřívána z více zdrojů, především ale ze slunečního záření. Chladnutí je pak způsobeno vyzařováním tepla do ovzduší a také odparem vody, kdy je na změnu skupenství spotřebováno teplo. Teplotu vody ovlivňuje například počasí, průhlednost, barva, teplota dna, ale i antropogenní činnosti, čistírny odpadních vod a regulace toků pomocí nádrží (Schubert, 1973; Sukop, 2006). Hmotnostní měrné teplo vody je 4 J, tedy na ohřátí jednoho gramu (1 cm^3) vody o $1 \text{ }^\circ\text{C}$ jsou spotřebovány zhruba 4 J. Naproti tomu hmotnostní měrné teplo vzduchu je pouze 1 J a hmotnostní měrné teplo půdy 0,75–1 J. Z těchto vztahů vyplývá, že voda jako taková má velkou tepelnou kapacitu a v přírodě se ohřívá i chladne nejpomaleji ze všech okolních materiálů (Hartman, Štědranský, Příkryl, 1998). Teplotní režim tekoucích vod je většinou vyjadřován sinusoidou s různou amplitudou. Projevují se zde především noční a denní oscilace teplot, které způsobuje změna teploty okolního vzduchu. Vliv hrají také sezónní

výkyvy. Obojí je způsobeno jak rozdílnou teplotou noc/den, jaro/léto/podzim/zima, tak množstvím slunečního záření dopadajícího na zemský povrch a dalšími výše uvedenými faktory (Říhová Ambrožová, 2003). Teplotní režim hyporeálového prostředí viz kapitola 6.1.

5.4 Proudění

V tekoucích vodách jsou charakter a rychlost proudění závislé na více faktorech. Mezi nejdůležitější patří množství vody, sklon, tvar a drsnost koryta a také chemické vlastnosti kapaliny (viskozita). Rychlost proudění je nejvyšší v proudnici, směrem ke dnu a břehům se zpomaluje. V přírodě dochází k proudění turbulentnímu. Voda při povrchovém odtoku přeměňuje svoji potenciální energii na energii kinetickou, která se projevuje unášecí silou, jež působí proti síle tření dna a břehů koryta. Pokud tato unášecí síla dosáhne své kritické hodnoty, přesáhne její síla gravitaci a soudružnost částic podložního materiálu a začne docházet k rozrušení dnového materiálu, tedy erozi. Po narušení dna erozí dochází k odnosu větších částic materiálu a organismů, takzvané tranzitní fázi. Takto plavené části se nazývají splaveniny a mají vliv na život organismů v toku. Větší kusy splavenin mohou narušit dno a koryto a menší splaveniny tvoří zákal, který snižuje propustnost světla. Při vyšších průtocích způsobených přivalovou srážkou také dochází k odplavení živin (například pro perlorodku nutného detritu), nebo naopak ke zvýšené eutrofizaci, například splachem hnojiv z okolních polí. Oba tyto faktory mohou nepříznivě ovlivnit život organismů v toku. K odnosu splavenin dochází do té doby, než rychlost proudění klesne pod kritický bod. Po klesnutí rychlosti dochází k sedimentaci na dně toku (Lellák, Kubíček, 1991).

6. Hyporeál

V říčním toku se prostředí dělí na tři spolu související patra, a to na volnou vodu - reopelagiál, povrchovou vrstvu dna – bentál a podříční dno – hyporeál (Sukop, 2006). Vývoj juvenilních stádií perlorodky říční probíhá ve třetím zmíněném patru, tedy v hyporeálu a dospělci tráví celý svůj životní cyklus ve vrstvě bentálu. Hyporeál, někdy v literatuře uváděn jako potamofreatal, je část dna hluboká několik metrů s infiltrovanou říční vodou, která volně navazuje na ekosystém podzemních vod. Voda protékající prostředím hyporeálu se řídí podle zákonů platných pro proudění

povrchových a podpovrchových vod. Celý hyporeálový systém, jeho vlastnosti, oživení, abiotické podmínky aj., je vertikálně stratifikován a řídí se sezónními změnami. Se zvětšující se hloubkou zde převládají gravitační a kapilární síly, také zde exponenciálně klesá rychlost proudění a propustnost světla. Dále se se snižuje množství kyslíku, teplota a také množství detritu. Tato variabilita je patrná již po několika centimetrech. Hlavním aspektem působícím na oživení systému hyporeálu jsou horninový původ, velikost a tvar částic, tedy pórovitost a propustnost. Pórovitost je popsána vztahem $\rho = \frac{100 * H}{V}$, kde H je objem vody vyplňující prostor mezi částicemi a V je objem těchto částic. Propustnost je pak závislá na styčné ploše a velikosti částic, čím jsou částice menší a mají tak větší aktivní povrch, tím je větší odpor proti pohybu vody a menší propustnost. Společenstva organismů obývajících prostor hyporeálu se nazývají hyporeos (Štěrba, Holzer, 1977). I přesto, že přímo navazuje na podzemní vody, se zde díky specifickým podmínkám nevyskytuje stygofauna. Z výše zmíněných pater vodního toku je hyporeál nejvíce konzervativní a jeho ekologický význam narůstá především u toků s vysokou extremitou okolních podmínek, přírodních i antropogenních (Lellák, Kubíček, 1991).

6.1 Teplotní a proudový režim hyporeálu

Ve vodním toku nastává výměna mezi volně tekoucí vodou a hyporeálovou vodou, která je způsobena střídáním mělčích peřejí a hlubších tůní. Střídání těchto dvou částí toku s rychlejším a pomalejším prouděním a výskytem různých překážek, jako jsou kameny, způsobují rozdílné tlakové podmínky v hyporeálové zóně. Snížením tlaku na konci tůně pode dnem vodního toku se voda dostává do prostoru hyporeálu. Tento jev se jmenuje downwelling, opačným procesem je pak upwelling, při kterém se voda po protečení zvodnělými sedimenty dostává zpět na povrch dna. Při teplejším počasí, zejména v létě, se vynořuje chladnější voda z hyporeálu upwellingem na povrch dna a poskytuje perlorodkám ochranu před působením vyšších teplot povrchové vody (Franken, Storey, Williams, 2001).

6.2 Struktura a prostupnost dna

Kvalitativní i kvantitativní heterogenita materiálu dna je zjevná v příčném i podélném profilu toku. Největší vliv na strukturu dna má rychlost proudění a s ním spjaté hydraulické poměry. V rychle proudících vodách převládá dno kamenité až šterkopískové, v pomalu proudících šterkopískové až písčité a v lenitických řekách

písčité až písčítobahnité sedimenty. Jemné frakce sedimentu se usazují při rychlostech do $20 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$, písčité dno vzniká při rychlostech mezi $20\text{--}40 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ a při vyšších rychlostech se tvoří dno štěrkovité až kamenité. V řekách ve stabilizační fázi dochází nejčastěji k zanášení prostorů původního kamenitého dna a samotné jemnější sedimenty postupem času převládají. Mezery mezi kameny, které jsou typické pro rychlejší vody, sahají do hloubky několika centimetrů a tyto prostory jsou přímo ovlivňovány prouděním v toku (Lellák, Kubíček, 1991). Obecně platí, že čím větší je velikost jednotlivých částic sedimentu, tím větší je celková propustnost dna (Štěrba, Holzer, 1977). Velikost a sní spjatá propustnost částic sedimentu má také vliv na transport rozpuštěných látek a poskytuje krytové a podpůrné příležitosti vodním živočichům včetně velkých mlžů, mezi které patří i perlorodka říční. Celkové oživení biomasou jednotlivých druhů sedimentu je největší v bahnitých sedimentech, dále pak kamenech, valounech, štěrku a štěrkopísku a nejmenší pak v písku (Lellák, Kubíček, 1991). Celkové zhutnění dna bylo pro účely experimentu měřeno pomocí ručního penetrometru.

7. Metodika

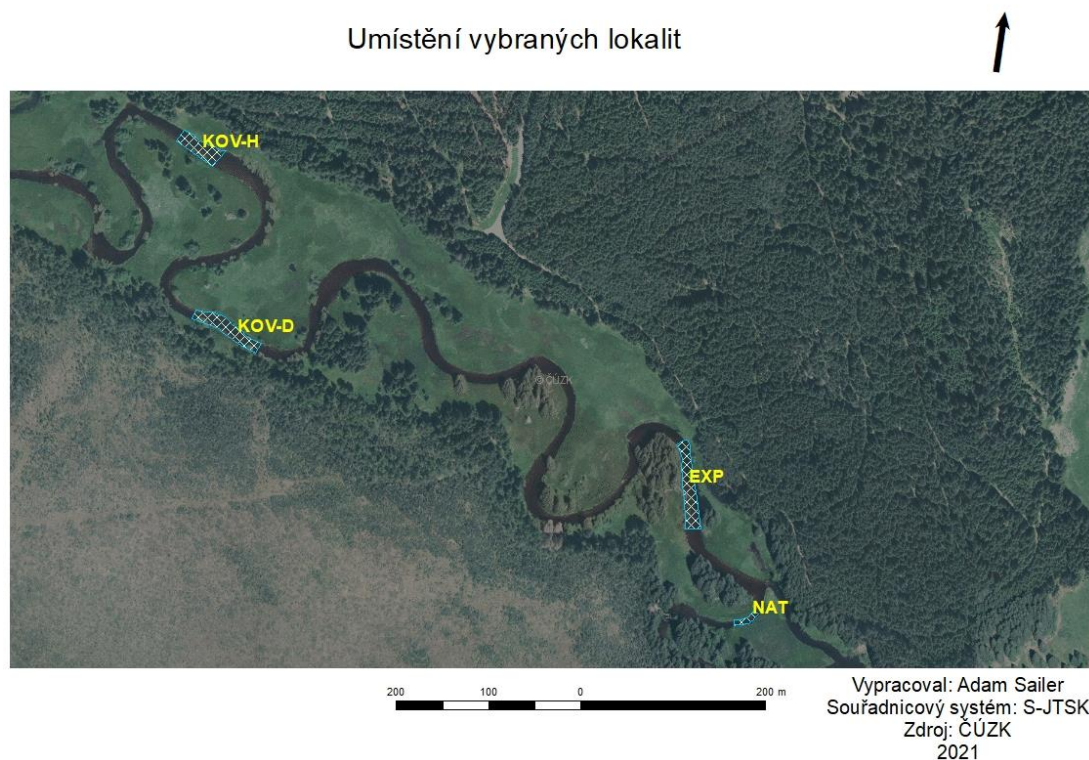
Podstatou bioindikačního experimentu bylo umístění sond s juvenilními perlorodkami do prostředí hyporeálu na dobu 1 měsíce, průběžné měření fyzikálně chemických parametrů, poté vyjmutí sond s perlorodkami a následné porovnání měřených veličin s přírůstkem perlorodek.

Úvodní laboratorní část spočívala v nafotografování a změření velikosti jednotlivých experimentálních jedinců perlorodky říční (pomocí stereomikroskopu), podobně byli jedinci změřeni v závěrečné fázi experimentu. Pro terénní část byla zvolena in-situ metoda instalace hyporeálových sond s juvenilními stádii perlorodky říční (~ 1mm), které byly následně vloženy do přirozeného habitatu perlorodky říční v podhorské oblasti České republiky na řece Teplá Vltava. Prvotní fáze terénní části byla zaměřena na vytipování vhodných ploch k instalaci sond na základě měření vybraných abiotických parametrů na předem zvolených lokalitách tak, aby byly perlorodky říční vystaveny svému přirozenému prostředí a zároveň aby byly jednotlivé plochy a abiotické faktory dostatečně variabilní. Ploch bylo zvoleno celkem 30 na 4 různých lokalitách. Do konkrétních ploch byly umístěny drátěné zasíťované hyporeálové sondy, které byly naplněny sypkou frakcí dnového materiálu o zrnitosti 1–2 mm. Do každé sondy bylo umístěno 7 juvenilních jedinců perlorodky říční. Následně byly prováděny kontroly ploch přibližně každý týden. Celkem proběhlo 5 kontrol, při kterých byl měřen obsah rozpuštěného kyslíku, rychlost proudění, hloubka, teplota a zároveň byl vizuálně kontrolován stav jednotlivých sond. Následně došlo k vyjmutí sond a opětovnému nafotografování perlorodek. Zjištěné rozměry perlorodek ze začátku a z konce experimentu byly poté porovnány s cílem vyhodnotit přírůstek. Experiment se uskutečnil v červnu – červenci 2020 (15.6.–23.7.).

7.1 Výběr lokalit

Pro umístění sond byly vytipovány 4 lokality na řece Teplé Vltavě, kde je přirozené místo výskytu perlorodky říční, a proto zde byly předpokládány vhodné fyzikálně–chemické i biologické podmínky pro jejich přežití. Všechny lokality se nachází v těsné blízkosti Mrtvého luhu v Národním parku Šumava. Lokality byly pojmenovány následovně: perlorodkový meandr nátok – NAT (48.8751136N, 13.8841956E), experimentální meandr – EXP (48.8758122N, 13.8831011E), kovadlinový meandr dolní – KOV-D (48.8770647N, 13.8758806E), kovadlinový

meandr horní – KOV-H (48.8787333N, 13.8751297E) – řazeno směrem proti proudu řeky viz Obr 2. Lokality byly vybrány i s ohledem na to, aby se k nim bylo možné pěšky dopravit s veškerým vybavením potřebným pro provedení experimentu z terénní stanice NP, která leží ve vesnici Dobrá na Šumavě.



Obrázek 2: Poloha vybraných lokalit pro umístění sond a monitoring fyzikálně–chemických parametrů v Teplé Vltavě na Šumavě.

7.2 Výběr ploch

Plochy pro umístění experimentálních sond byly vybírány na základě měření oxidačně redoxního potenciálu, rozpuštěného kyslíku, hloubce, penetrometrického odporu a rychlosti proudění. Primárním faktorem pro zvolení konkrétní plochy bylo měření oxidačně redoxního potenciálu sondou s platinovou elektrodou napříč celým tokem v místě zvolené lokality. Oxidačně redoxní potenciál byl měřen vždy 7x v okolí místa potencionální plochy. Jako vhodná, tedy s oxickými podmínkami, byla vybírána místa, kde oxidačně redoxní potenciál 3 cm pod povrchem dna dosahoval hodnoty minimálně 150 mV, raději však více. Na těchto plochách byl následně měřen rozpuštěný kyslík odebráním hyporeálové vody z hloubky 3 cm pomocí injekční stříkačky, v níž byl změřen obsah rozpuštěného kyslíku pomocí ručního oximetru. Pokud hodnoty rozpuštěného kyslíku dosahovaly alespoň 50 % a více, byla plocha

označena jako potenciálně vhodná pro umístění sondy. Dalším sledovaným faktorem byl penetrometrický odpor v hloubce 3 cm a 13 cm a místa, kde nešlo provést penetrometrické měření z důvodu tvrdého podloží, byla z výběru vyřazena. Na oxicky vhodných místech byla také měřena rychlost proudění a hloubka. Rozpětí hloubek v místě plochy se pohybovalo přibližně od 20 cm do 80 cm. Rozpětí rychlostí proudění se pohybovalo přibližně od 0,1 m/s do 0,8 m/s. Vhodné plochy byly označeny pomocí zabodnutých železných hřebů. Na každý hřeb byl navázán přibližně 30 cm dlouhý barevný provázek, který následně sloužil k nalezení vybraného místa při samotném umisťování sond (viz Příloha 5).



Obrázek 3: Výběr ploch pomocí měření redoxního potenciálu, zdroj: vlastní.

Pomocí zmíněného postupu bylo vybráno 30 konkrétních ploch. Na lokalitě NAT bylo vybráno celkem 6 ploch. Plochy byly pojmenovány NAT-A, NAT-B, NAT-C, NAT-D, NAT-E a NAT-F. Mapa podrobného umístění ploch v lokalitě viz Příloha 1. Výběr vhodných ploch na lokalitě NAT proběhl 16.6.2020.

Na lokalitě EXP bylo vybráno celkem 12 ploch. Plochy byly pojmenovány EXP-A, EXP-B, EXP-C, EXP-D, EXP-E, EXP-F, EXP-G, EXP-H, EXP-J, EXP-K, EXP-L a EXP-M. Mapa podrobného umístění ploch v lokalitě viz Příloha 2. Výběr vhodných ploch na lokalitě EXP proběhl 16.6.2020.

Na lokalitě KOV-D bylo vybráno celkem 6 ploch. Plochy byly pojmenovány KOVD-A, KOVD-B, KOVD-C, KOVD-D, KOVD-E a KOVD-F. Mapa podrobného umístění ploch v lokalitě viz Příloha 3. Výběr vhodných ploch na lokalitě KOV-D proběhl 17.6.2020.

Na lokalitě KOV-H bylo vybráno celkem 6 ploch. Plochy byly pojmenovány KOVH-A, KOVH-B, KOVH-C, KOVH-D, KOVH-E a KOVH-J. Mapa podrobného umístění ploch v lokalitě viz Příloha 4. Výběr vhodných ploch na lokalitě KOV-H proběhl 17.6.2020.

7.3 Hyporeálové sondy

Pro experiment byly zvoleny válcové sondy z kovového pletiva o výšce 8 cm a průměru 2 cm. Vrchní strana válcovité sondy zůstala otevřena a spodní strana byla pomocí kleští přehnuta a uzavřena. Bylo vyrobeno celkem 30 kusů těchto sond. Jednotlivé sondy byly opatřeny záznamovým teploměrem HOB0 Pendant (automatické měření teploty 1x za hodinu), který byl k sondě připojen plastovým stahovacím páskem ve vzdálenosti 3 cm od vrchního otvoru sondy a také hadičkou sloužící k odsátí vody z oblasti hyporeálu pro měření obsahu rozpuštěného kyslíku ve vodě. Silikonové hadičky o délce 50 cm byly k sondě připevněny dvěma plastovými stahovacími pásky tak, aby ústí hadičky bylo 3 cm pod otevřeným koncem sondy, následně byla hadička vedena podél zbylé délky sondy, kde byla opět uchycena páskem. Ústí hadičky umístěné 3 cm pod otevřeným koncem sondy bylo opatřeno uhelovým pletivem připevněným špendlíkem, aby nedocházelo k zanášení hadičky jemnou frakcí hyporeálu při nasávání vody (Obr. 1). Při připevňování hadičky k sondě bylo potřeba zamezit zaškrcení hadičky stahovací páskou. Toho bylo docíleno navléknutím kovové matky a teploměru na plastový pásek a hadička byla vedena mezi matkou a teploměrem, kde tak vznikl malý prostor bránící zaškrcení. Zamezení zaškrcení hadičky při připevnění ke spodní straně sondy bylo zajištěno podobným principem a to tak, že matka byla navlíknuta přímo na hadičku a plastový stahovací pásek poté vedl skrze matku a neobepínal tak plastovou hadičku. Po připevnění

hadičky na ni byla umístěna kotva, sloužící k zafixování sondy ve dně proto, aby nebyla vytržena zvýšenými průtoky nebo kolem projíždějícími vodáky. Jako kotva byl zvolen přibližně 10 cm dlouhý šroub zakončený okem. Tímto okem byl navléknut na kyslíkovou hadičku a kotva tak byla trvale připevněna k sondě.



Obrázek 4: Zkompletovaná hyporeálová sonda, zdroj: vlastní.

V terénu pak byly sondy plněny sypkou frakcí dnového materiálu předem velikostně separovaného, o velikosti zrn 1–2 mm. Materiál byl odebrán v okolí horního kavadlinového meandru, kde byl pomocí dvou sít přetříděn tak, že byl nejprve hrubší materiál odebraný ze dna přesypán skrz síto o velikosti ok 2 mm do síta s velikostí ok 1 mm. Tento odběr materiálu proběhl 15.6.2020 a následně byl takto vzniklý substrát po dobu dvou dní uchován v lednici. Samotné plnění pak probíhalo tak, že se nejprve sonda naplnila do 5 cm celkové výšky, do této výškové hladiny bylo umístěno 12 juvenilních stádií perlorodky říční a poté byl zasypán zbytek sondy až po okraj, došlo tedy k dosypání 3 cm materiálu.

Dále bylo vyrobeno dalších 7 sond navíc, které byly po naplnění materiálem a umístěním perlorodek na otevřeném konci zasítovány uhelovým pletivem. Tyto sondy už nebyly opatřeny teploměrem ani hadičkou a byly použity jako srovnávací. Zasítování proběhlo z důvodu, aby perlorodky z těchto sond nemohly uniknout,

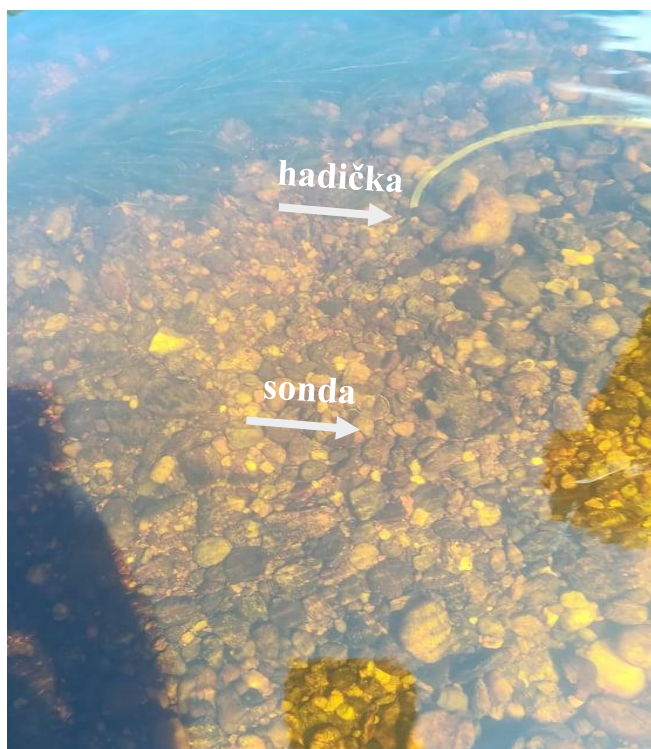
i kdyby nastaly nepříznivé podmínky. Každá z těchto 7 sond byla stahovacím plastovým páskem připevněna k jiné sondě, už opatřené teploměrem a hadičkou na odběr kyslíku (viz výše). Takto vzniklé dvojice sond byly nazvány sondami zdvojenými. Tyto zdvojené sondy byly umístěny do vybraných ploch NAT-B, NAT-C, NAT-E, EXP-K, KOVH-J, KOVD-B a KOVD-D.

Umístění sond do hyporeálu se uskutečnilo dne 17.–18.6.2020. V tuto chvíli byly již vytipované a označené plochy, byl připraven substrát o vhodné zrnitosti a samotné sondy byly zkompletované, opatřené teploměrem, hadičkou a připravené pro naplnění substrátem a umístění juvenilů perlorodek říčních. Nezbytné vybavení pro umístění sond do hyporeálu bylo: sondy, plastové víčko k uzavření sondy, železná lopatka, kladivo, kovová pažnice, aquaskop, metr, pásmo, zápisník, tužky, podrobná mapa vybraných ploch, chladicí box obsahující perlorodky říční, plastové boxy se substrátem.



Obrázek 5: Vybavení potřebné k umístění sond na vytipované plochy, zdroj: vlastní.

Pro úspěšné umístění sond bylo nezbytné zpětně dohledat předem vybrané plochy označené hřebem s provázkem. Pro tyto účely je ideální slunečné počasí a nízké průtoky, tyto dva faktory značně usnadní pohyb v řece a nalezení ploch. K nalezení ploch byla využita mapa se zakreslenými plochy a aquaskop. Po nalezení plochy byla sonda naplněna substrátem a byly do ní umístěny perlorodky říční 3 cm pod horní konec sondy. Následně byla sonda dočasně zavíčkovaná, aby nedošlo k odplavení substrátu (a potenciálně i právě umístěných perlorodek). Směrem po proudu byla pod plochu umístěna železná pažnice, která sloužila k zamezení odplavení okolního sedimentu a byl vyjmut značící hřeb s provázkem. Poté byla ve dně vykopána přibližně 8 cm hluboká díra, do které byla umístěna sonda tak, aby horní okraj sondy ležel v rovině dna. Kyslíková hadička s kotvou byla vedena pode dnem v hloubce 8 cm, vždy směrem k levému břehu do vzdálenosti přibližně 20 cm, kde byla následně vyústěna nad povrch dna a sloužila tak nejen jako prostředek pro odebrání hyporeálové vody z hloubky 3 cm pod povrchem, ale také nahradila hřeb s provázkem a sloužila jako značení plochy pro následné kontroly a vyjmutí. Okolí sondy bylo zpětně zahrabáno materiálem zachyceným pažnicí, popřípadě materiálem okolního dna.



Obrázek 6: Umístěná sonda a hadička k odběru kyslíku, zdroj: vlastní.

7.4 Kontroly sond

Po dobu celého experimentu byly prováděny pravidelné kontroly. Vybavení potřebné pro provedení kontroly bylo: aquaskop, oximetr, hydrometrická vrtule, injekční stříkačky, metr, potápěčská maska, zápisníky, tužky, fotoaparát, náhradní baterie (Příloha 6).

Při jednotlivých kontrolách byl měřen rozpuštěný kyslík. K měření byly použity hadičky připevněné k sondám. Z hadičky byla voda odsáta injekční stříkačkou a následně byl ze vzorku změřen obsah rozpuštěného kyslíku pomocí oximetru. Dále byla měřena rychlost proudění pomocí hydrometrické vrtule, nejprve u dna a pak postupně každých 25 cm až k hladině. Také byla měřena hloubka ode dna k hladině pomocí skládacího metru. Důležitou součástí byla vizuální kontrola sondy a hadičky. Pokud byl materiál v okolí sondy odplaven a sonda tak koukala nad povrch a hrozilo její poškození nebo odplavení, byla dodatečně zahrabána okolním materiálem. Při každé kontrole byly také pořizovány fotografie jednotlivých ploch podvodním fotoaparátem. V místě sondy byl vždy na dno položen čtverec o rozměrech 20x20 cm tak, aby sonda ležela uprostřed tohoto čtverce, který byl vytvořen pomocí skládacího metru, viz Příloha 7. Celkem proběhlo 5 kontrol v datech: první kontrola 24.6., druhá 28.6., třetí 6.7., čtvrtá 13.7. a pátá 18.7. Po poslední kontrole byla zahájena poslední fáze terénního experimentu – vyjmutí hyporeálových sond.

7.5 Vyjmutí sond

Vyjmutí sond bylo časově i logisticky náročnější než jejich instalace a trvalo proto 4 dny. Situace byla komplikována značně nepříznivým počasím a častými srážkami, které vedly k vysokým průtokům. Dne 19.7. byly vyjmuty sondy z ploch EXP-J, EXP-K a EXP-G, následující den 20.7. všechny sondy z lokalit KOV-D a KOV-H, poté 21.7. zbylé sondy z lokality EXP a poslední den, 22.7., všechny sondy lokality NAT.

Vybavení potřebné k vyjmutí sond je následující: chladicí box, plastové boxy, plastové víčko na sondy, redoxní sonda, potápěčská maska, plastový kelímek, plastové lahve, lopatka, kladivo, hřeby, Surberův sběrač.

Při vyjmutí hyporeálových sond bylo stěžejním úkolem zajistit nevyplavení substrátu a perlorodek ze sondy působením okolního proudu. Toho bylo docíleno

především opatrnou manipulací se sondami a zajištěním otevřené strany sondy plastovým víčkem. Směrem po proudu byl pod plochu pomocí dvou hřebů a kladiva připevněn Surberův sběrač, který sloužil k zachycení vyplaveného materiálu. Po umístění sběrače byla sonda opatrně vyhrabána a následně umístěna do chladicího boxu a převezena na stanici NP k dalšímu zpracování. V terénu byl okamžitě vizuálně kontrolován Surberův sběrač, hledány byly juvenilní stádia perlorodky říční, které mohly být vplaveny ze sondy při vyjmutí z hyporeálu. Po úspěšném vyjmutí sondy a kontrole sběrače byl následně odebrán vzorek dna o hmotnosti přibližně 1 kg. Vzorky dna byly odebrány pro provedení zrnitostního rozboru. Místa, odkud byly sondy vyjmuty, se následně zahrnula okolním materiálem tak, aby říční dno co nejvíce odpovídalo stavu před začátkem experimentu.

8. Výsledky

Kapitola Výsledky je strukturována do dvou kapitol, v kapitole 8.1 jsou hodnoceny jednotlivé měřené parametry a v kapitole 8.2 vzájemný vztah vybraných parametrů.

8.1 Přehled parametrů

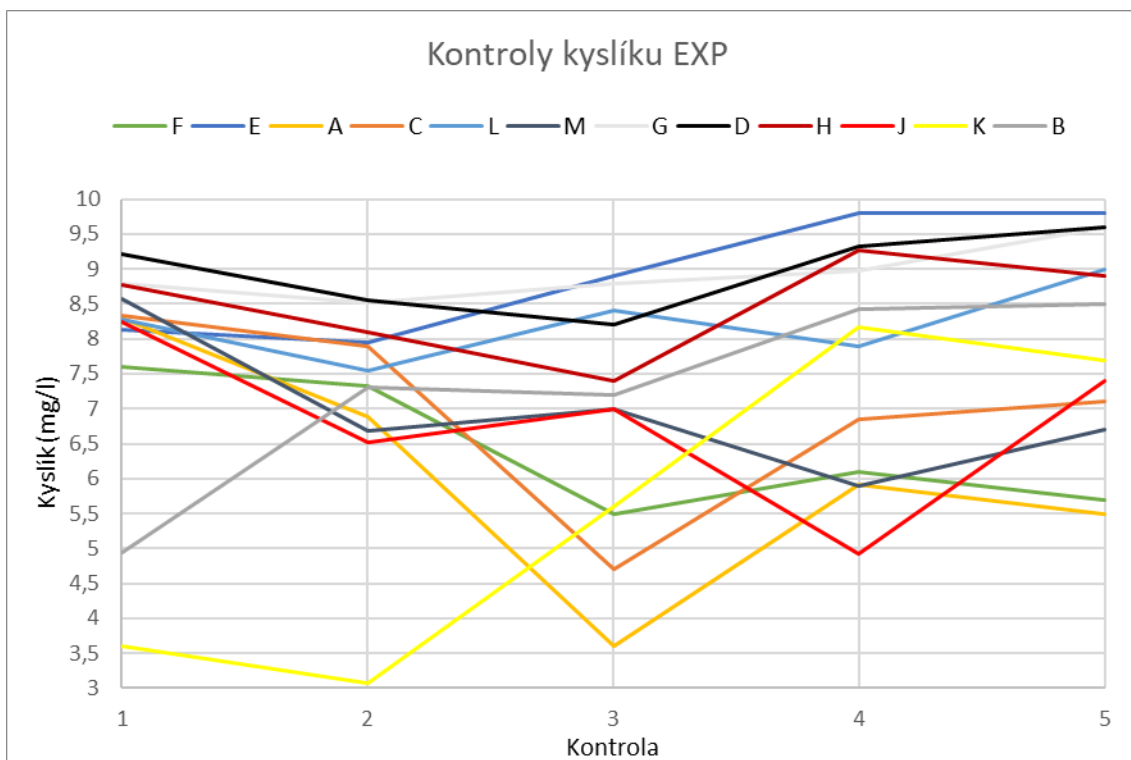
Tabulka 1 uvádí základně statisticky zpracované parametry napříč vybranými plochami a snaží se poskytnout ucelený pohled na jednotlivé parametry a celý průběh experimentu. U rozpuštěného kyslíku byly zvoleny jako ukazatele celkového stavu průměr a minimální hodnoty (které mohou být limitním faktorem pro přežití juvenilů perlorodky říční) ze všech naměřených dat z jednotlivých kontrol v mg/l a v %. Redoxní potenciál (mV) je zde reprezentován jako průměrná hodnota na jednotlivých plochách, měřen byl při začátku a konci experimentu. Pro zhodnocení teploty je zvolen průměrný teplotní rozdíl volné a hyporeálové vody (°C), teplota byla kontinuálně měřena automatickými teploměry po celou dobu experimentu, pro účely zpracování dat byly časové řady teplot zrevidovány byly odstraněny vybočující hodnoty, které byly způsobeny nejspíše špatně umístěnými teploměry pro měření volné vody v lokalitě NAT a EXP. Hloubka v cm je vybrána minimální ze všech měřených kontrol, maxima nemají tak výrazný přímý dopad na prostředí dna, kterým se práce zabývá. Penetrometrie byla prováděna jen na začátku experimentu a zvoleny jsou její průměrné hodnoty v hloubce hyporeálu 3 cm. Přežívání perlorodek a jejich nárůsty jsou vyjádřeny v % vždy jako průměr za jednotlivou sondu.

Tabulka 1: Přehled vybraných měřených a hodnocených parametrů.

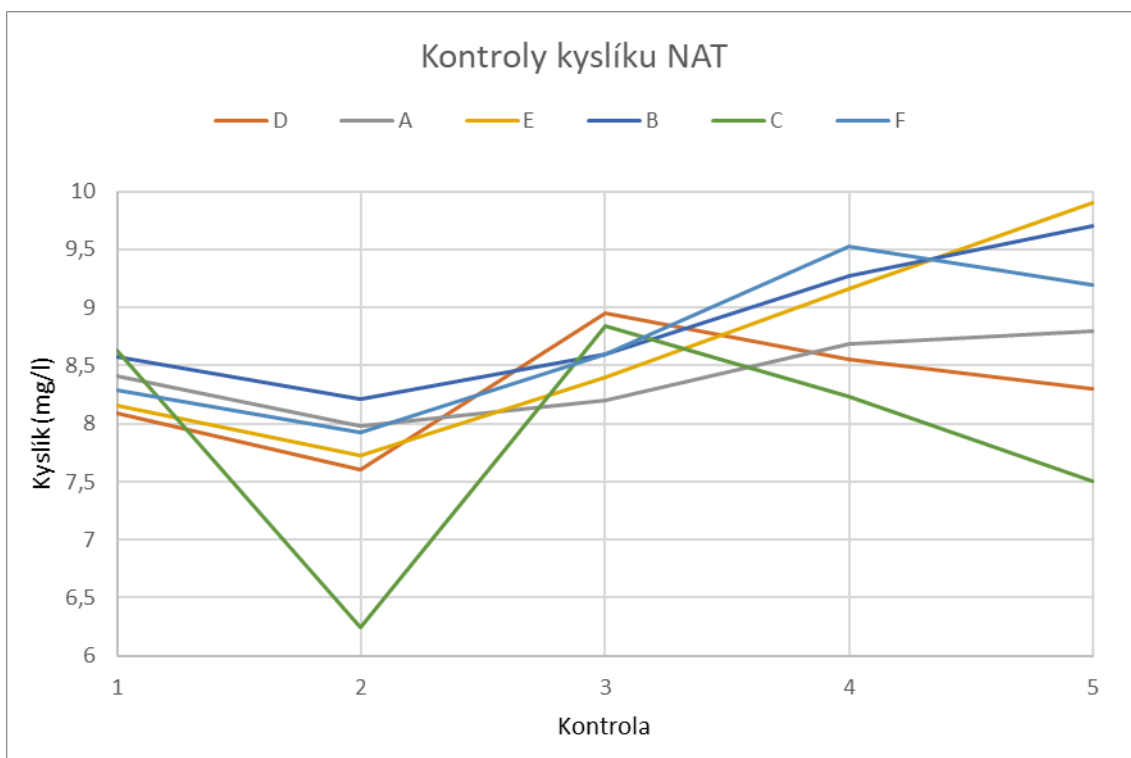
Plocha	Kyslík				Redox	Teplota	Hloubka	Rychlost	Penetro- metrie	Přežívání jedinců	Nárůst
	min. (mg/l)	min. (%)	průměr (mg/l)	průměr (%)							
EXP-F	5,5	60	6,45	70,7	199,9	0,21	48	0,296	27	0,0	-0,2
EXP-E	7,95	89,3	8,92	96,4	189,4	0,13	38	0,332	36	9,1	7,7
EXP-A	3,6	41	6,04	66,4	243,4	0,22	53	0,308	39	0,0	0,6
EXP-B	4,94	57,6	7,27	79,1	188,7	0,19	32	0,374	46	0,0	2,2
EXP-C	4,7	54	6,98	76,5	239,2	0,17	41	0,364	5	20,0	-1,1
EXP-L	7,55	82	8,23	91,0	275,9	0,05	39	0,336	5	33,3	0,3
EXP-M	5,9	62	6,97	77,1	264,1	0,35	22	0,354	28	18,2	0,3
EXP-G	8,52	91,6	8,94	98,0	189,9	0,14	20	0,386	16	18,2	0,3
EXP-D	8,2	94	8,98	98,5	262,6	0,09	25	0,484	27	30,0	4,2
EXP-H	7,4	80	8,49	91,6	211,9	0,18	38	0,4	4	30,0	-0,3
EXP-J	4,93	52	6,82	75,7	257,1	0,26	26	0,306	6	8,3	2,4
EXP-K	3,08	35,4	5,63	62,2	313,4	0,17	22	0,084	0	0,0	-1,5
NAT-D	7,61	85,4	8,30	92,6	275,2	0,17	48	0,348	11	44,4	-3,8
NAT-A	7,98	85	8,42	92,1	204,9	0,15	42	0,174	21	81,8	0,8
NAT-E	7,73	86,4	8,67	95,1	288,7	0,19	23	0,586	5	0,0	0,3
NAT-B	8,21	91,8	8,87	98,0	266,4	-3,23	48	0,228	4	69,5	2,0
NAT-C	6,25	69,8	7,89	87,9	255,1	0,18	55	0,128	11	6,6	2,8
NAT-F	7,92	86,5	8,71	95,7	237,2	0,15	40	0,34	6	33,3	-1,4
KOVH-J	6,2	70	6,97	78,7	264,1	0,25	28	0,106	1	0,0	2,4
KOVH-B	6,25	73	7,65	87,7	264,1	0,18	41	0,358	6	0,0	-0,4
KOVH-C	7,88	96,2	8,70	98,2	213,3	0,08	23	0,308	10	10,0	5,9
KOVH-D	7,53	92,1	8,88	100,8	264,8	0,04	20	0,542	4	22,2	1,4
KOVH-A	5,21	55,7	7,37	84,1	263,9	0,24	45	0,424	2	0,0	1,3
KOVH-E	7,6	86	8,22	95,1	166,6	0,10	46	0,2	1	25,0	0,4
KOVD-A	5,7	60	7,46	88,8	228,6	0,10	67	0,338	0	0,0	-1,9
KOVD-B	7,4	79	7,78	91,3	256,6	0,18	48	0,334	1	55,0	-0,4
KOVD-C	3,1	36	6,93	80,1	295,3	0,10	43	0,314	0	0,0	6,4
KOVD-D	6,9	81	8,12	95,2	259,9	0,35	30	0,402	0	0,0	-
KOVD-E	6,73	75,4	6,95	81,2	289,4	0,28	50	0,326	0	91,6	0,2
KOVD-F	7,38	86,2	8,19	95,3	264,2	0,16	33	0,242	1	50,0	-0,4

8.1.1 Rozpuštěný kyslík

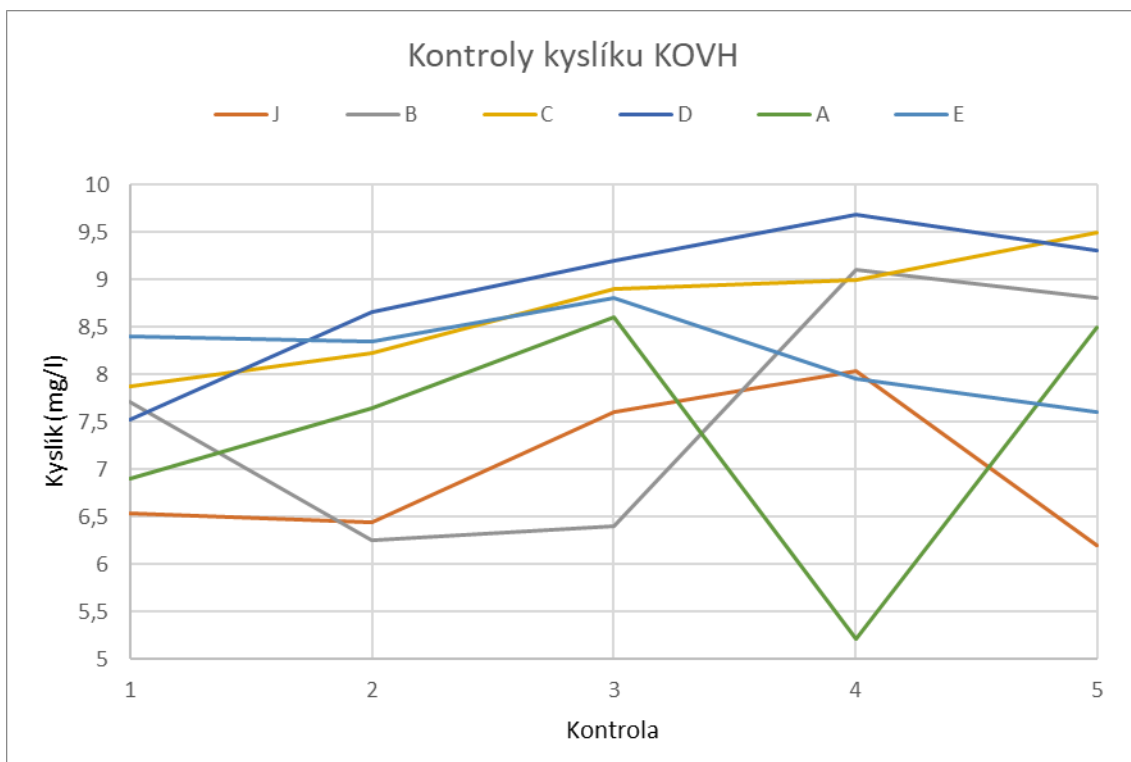
Níže uvedené grafy znázorňující změny obsahu rozpuštěného kyslíku (mg/l) v hyporeálu v hloubce 3 cm v průběhu 5 kontrol.



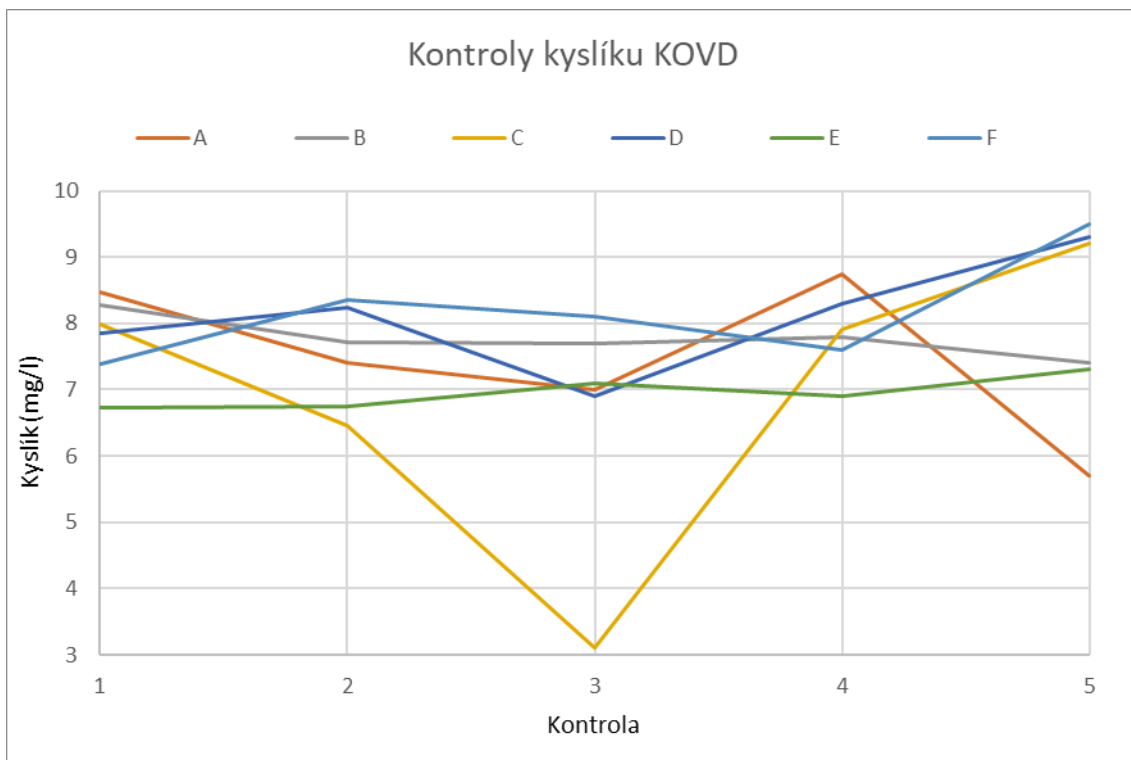
Obrázek 7: Průběh změn koncentrace rozpuštěného kyslíku v 3 cm hyporeálu (mg/l) pro konkrétní plochy při jednotlivých kontrolách na lokalitě EXP.



Obrázek 8: Průběh změn koncentrace rozpuštěného kyslíku v 3 cm hyporeálu (mg/l) pro konkrétní plochy při jednotlivých kontrolách na lokalitě NAT.



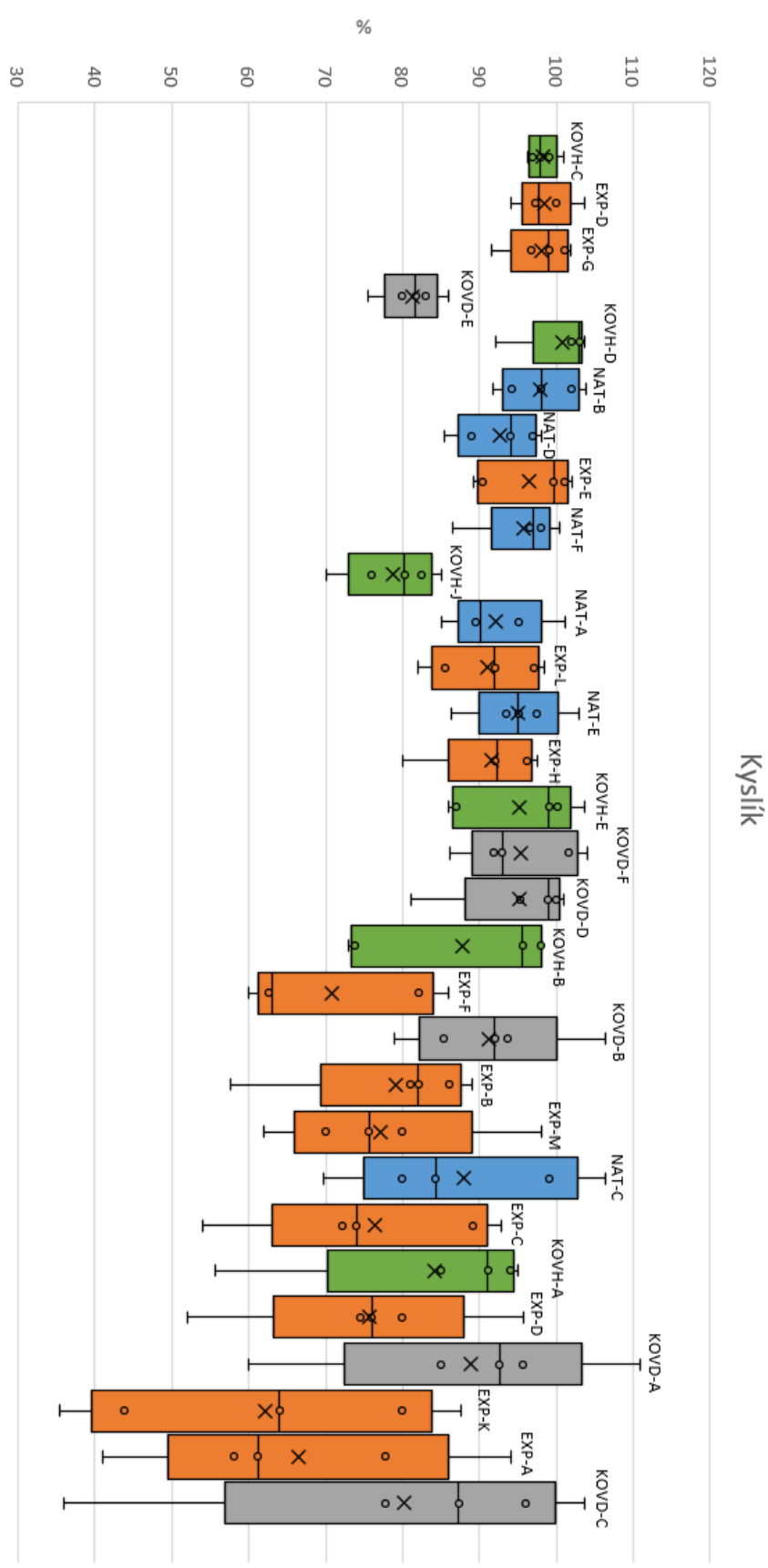
Obrázek 9: Průběh změn koncentrace rozpuštěného kyslíku v 3 cm hyporeálu (mg/l) pro konkrétní plochy při jednotlivých kontrolách na lokalitě KOVH.



Obrázek 10: Průběh změn koncentrace rozpuštěného kyslíku v 3 cm hyporeálu (mg/l) pro konkrétní plochy při jednotlivých kontrolách na lokalitě KOVD.

Z grafů je patrné, že nejvíce synchronně se množství rozpuštěného kyslíku pohybovalo v lokalitě NAT, což značí dobře průtočný hyporeál, který je důležitý pro

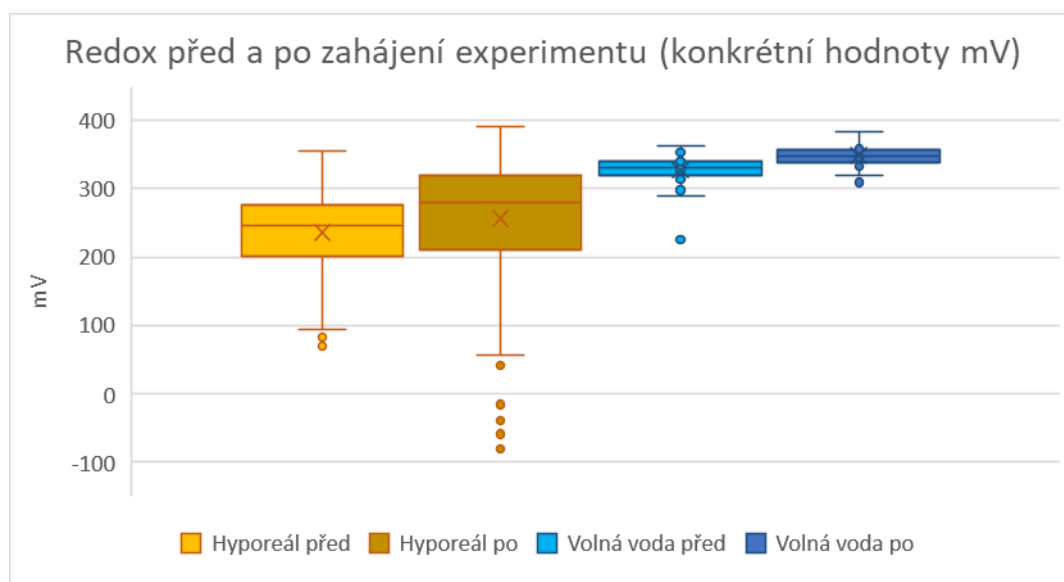
potenciální přežití juvenilů perlorodky. Na této lokalitě je také vzhledem k ostatním lokalitám největší průměrný obsah rozpuštěného kyslíku (7,6 mg/l). Podobně se průběh rozpuštěného kyslíku choval i na lokalitě KOVD. Zbylé dvě lokality byly z hlediska průběhu rozpuštěného kyslíku více heterogenní. Největší lokální maximum bylo naměřeno na lokalitě EXP (EXP-G: 8,52 mg/l), kde je ale zároveň nejmenší průměrné množství rozpuštěného kyslíku (6,0 mg/l). Nejmenší hodnota byla naměřena na lokalitě EXP, konkrétně na ploše EXP-K (3,08 mg/l).



Výše uvedený krabicový graf znázorňuje rozpětí hodnot měřeného rozpuštěného kyslíku napříč všemi kontrolami pro jednotlivé plochy v % a je seřazen od nejmenšího rozptylu hodnot po největší. Z grafu je patrné, že nejvíce variabilní byl rozpuštěný kyslík v ploše KOVD-C a nejméně variabilní v ploše KOVH-C. Průměrná hodnota rozpuštěného kyslíku se pohybovala okolo 90%. Lokalita s největším kolísáním množství rozpuštěného kyslíku byla EXP. Průměrná variabilita byla nejvíce konzistentní napříč lokalitou NAT a KOVD. Z hlediska chodu rozpuštěného kyslíku tak můžeme tyto dvě lokality považovat za nejstabilnější.

8.1.2 Redoxní potenciál

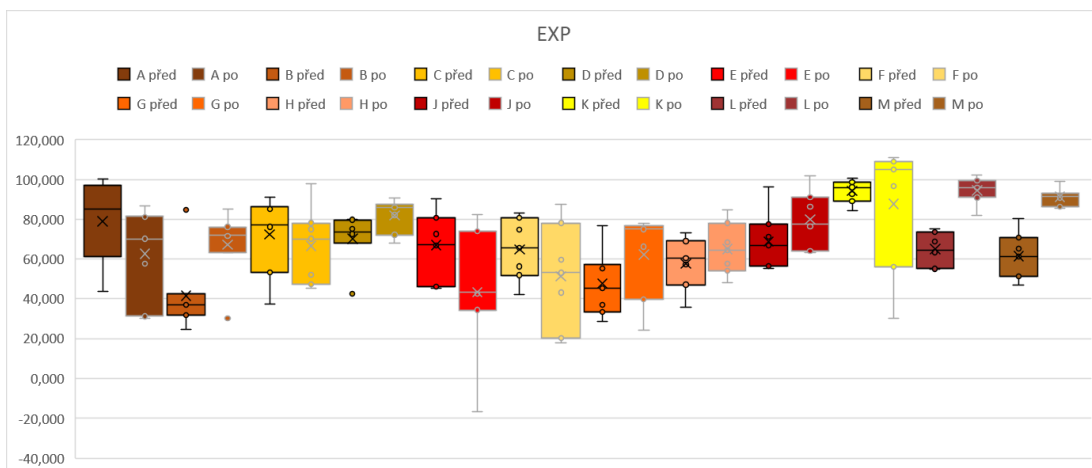
Redoxní potenciál byl hodnocen dvěma způsoby, první je níže uvedený graf, který znázorňuje sumu hodnot redoxu v hyporeálu (měřeno v hloubce 3 cm) a volné vody před začátkem a na konci experimentu.



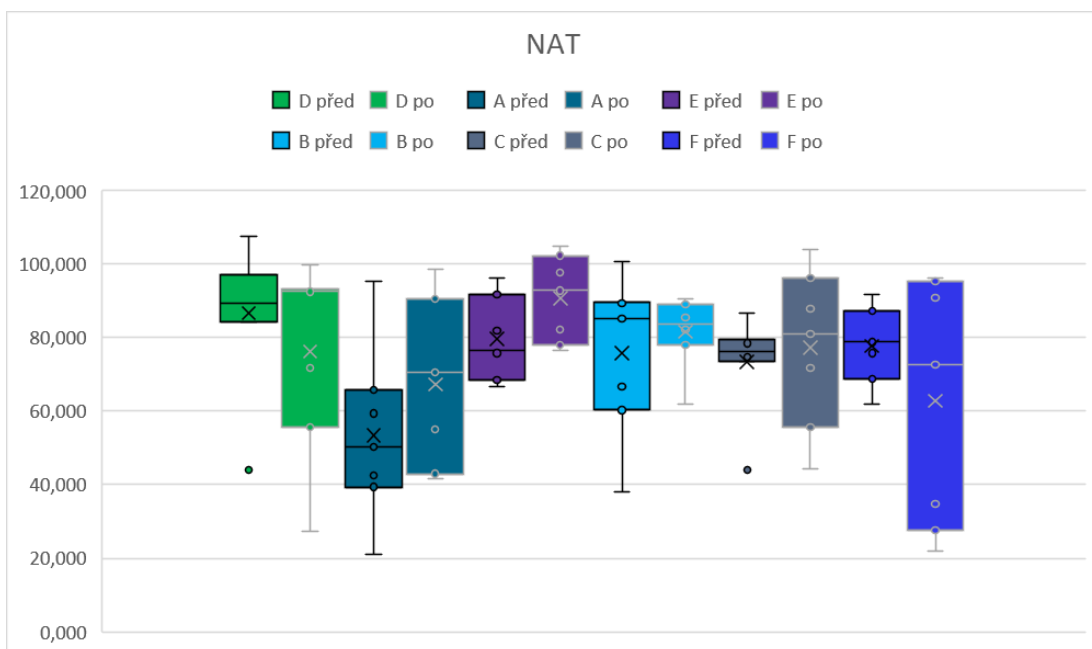
Obrázek 12: Krabicový graf znázorňující rozsah hodnot redoxního potenciálu hyporeálu a volné vody v mV na začátku a na konci experimentu. Boxy hyporeálu jsou tvořeny z 210 hodnot (30 bodů * 7 měření na každém bodě), volná voda z 26 hodnot.

Z grafu vyplývá, že rozpětí hodnot redoxu hyporeálu bylo větší na konci experimentu a menší na začátku. Vyšší jde zde i průměrná hodnota redoxního potenciálu. Rozpětí volné vody bylo podobné, průměrná hodnota byla ale také vyšší na konci experimentu.

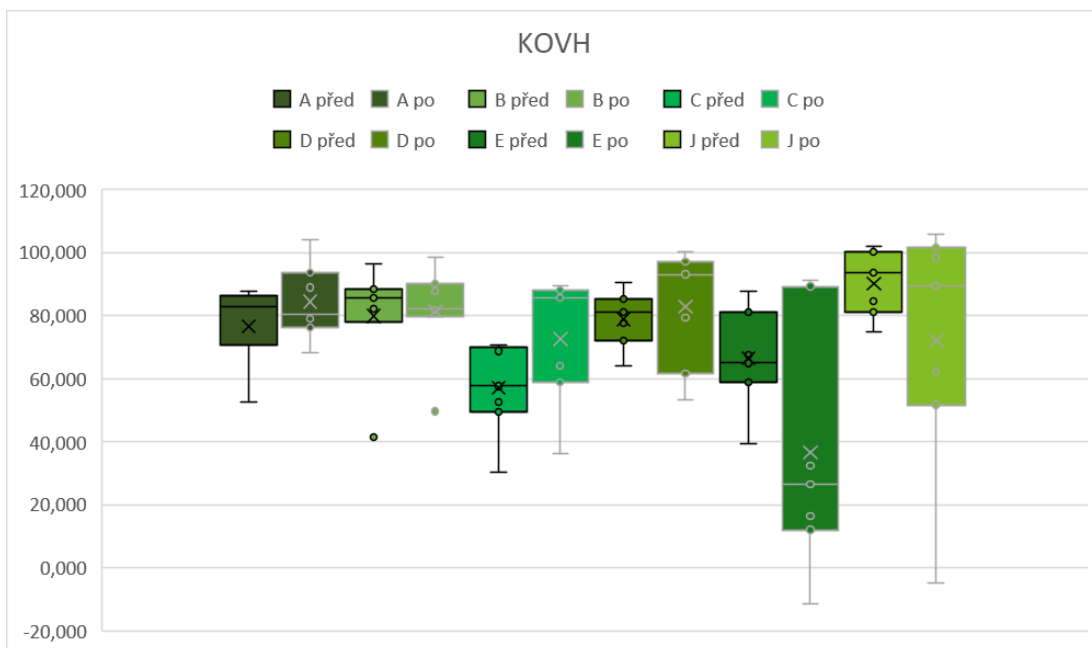
Níže uvedené grafy znázorňují hodnoty redoxního potenciálu na jednotlivých lokalitách, které jsou přepočteny na procenta k mediánu redoxního potenciálu volné vody, tento medián představuje hodnotu 100 %.



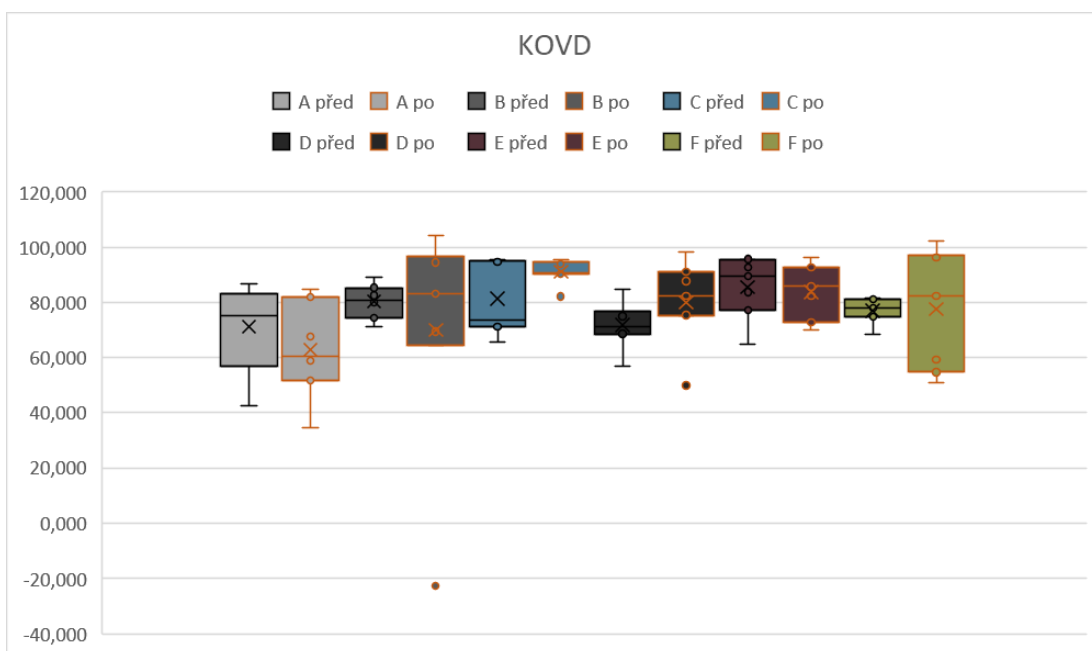
Obrázek 13: Dvojice krabicových grafů znázorňující rozsah hodnot redoxního potenciálu vždy před začátkem a po ukončení experimentu pro konkrétní plochy na lokalitě EXP. Měření probíhala v hyporeálu ve hloubce 3 cm, každý box se skládá ze 7 hodnot měřených redoxní sondou. Hodnoty jsou přepočteny na % k mediánu hodnot volné vody.



Obrázek 14: Dvojice krabicových grafů znázorňující rozsah hodnot redoxního potenciálu vždy před začátkem a po ukončení experimentu pro konkrétní plochy na lokalitě NAT. Měření probíhala v hyporeálu ve hloubce 3 cm, každý box se skládá ze 7 hodnot měřených redoxní sondou. Hodnoty jsou přepočteny na % k mediánu hodnot volné vody.



Obrázek 15: Dvojice krabicových grafů znázorňující rozsah hodnot redoxního potenciálu vždy před začátkem a po ukončení experimentu pro konkrétní plochy na lokalitě KOVH. Měření probíhala v hyporeálu ve hloubce 3 cm, každý box se skládá ze 7 hodnot měřených redoxní sondou. Hodnoty jsou přepočteny na % k mediánu hodnot volné vody.

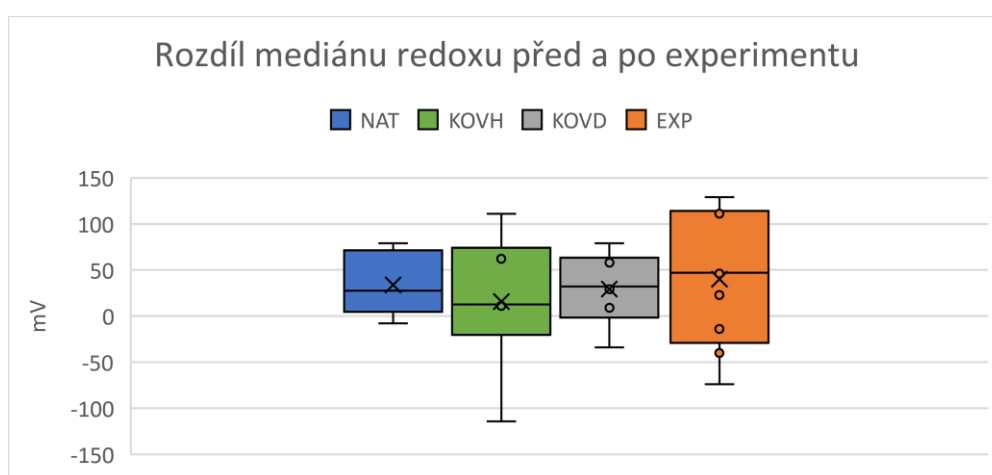


Obrázek 16: Dvojice krabicových grafů znázorňující rozsah hodnot redoxního potenciálu vždy před začátkem a po ukončení experimentu pro konkrétní plochy na lokalitě KOVD. Měření probíhala v hyporeálu ve hloubce 3 cm, každý box se skládá ze 7 hodnot měřených redoxní sondou. Hodnoty jsou přepočteny na % k mediánu hodnot volné vody.

Z grafů je patrné, že se redoxní potenciál v celém hyporeálu pohyboval pod hodnotami volné vody a nepanovaly zde tak zcela oxické podmínky. Nejstabilnější

průběh oxidačně redoxního potenciálu byl na lokalitě KOVD, kde byl zaznamenán i konzistentní chod rozpuštěného kyslíku. K největšímu rozptylu docházelo na lokalitě NAT, kde byly ale naměřené kyslíkové poměry stabilní.

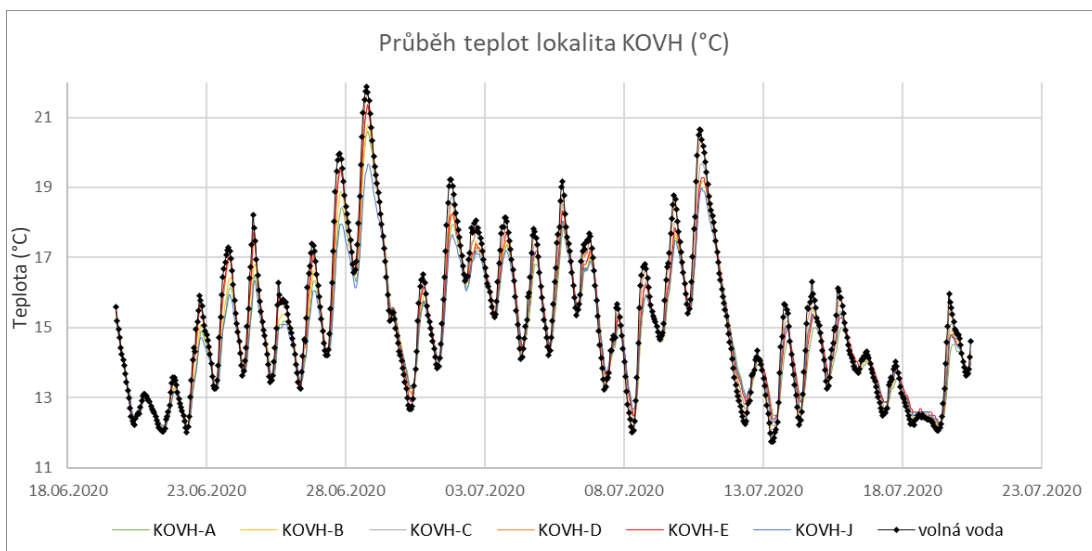
Níže uvedený krabicový graf je tvořen hodnotami vzniklými odečtením hodnot mediánů jednotlivých ploch na začátku experimentu od hodnot mediánů na konci experimentu. Graf ukazuje, že rozdíl střední hodnoty redox potenciálu byl největší na lokalitě EXP a nejmenší na lokalitě KOVH. Rozptyl hodnot byl největší na lokalitě EXP a nejmenší na KOVD. Z toho vyplývá že, hodnoty redoxu byly před a po měření nejmenší na lokalitě KOVH, nejpodobnější si byly na lokalitě KOVD.



Obrázek 17: Graf znázorňující průměrný rozdíl mediánů redoxního potenciálu na začátku a na konci experimentu v jednotlivých lokalitách. Každý box obsahuje 30 hodnot. Měření redoxu probíhalo v hloubce 3 cm v hyporeálu.

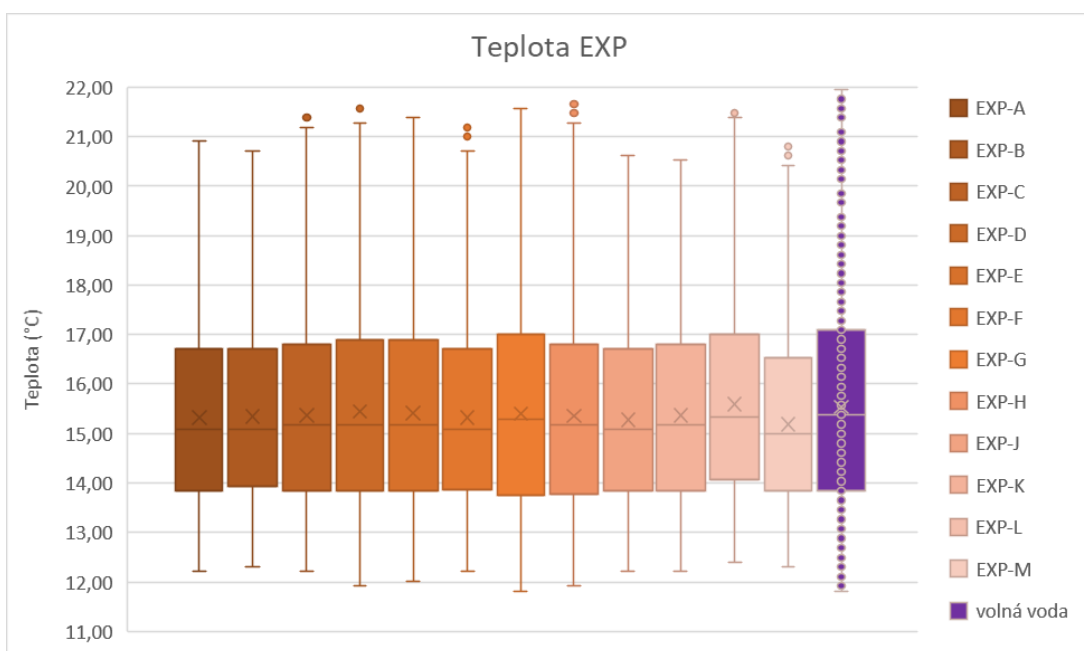
8.1.3 Teplota

Výsledky a průběh měření teplot automatickými teploměry jsou znázorněny liniovými grafy pro konkrétní lokality a plochy. Teplota byla měřena v hyporeálu v hloubce 3 cm. Do grafu je vždy vynesena i průběh teplot volné vody. Níže je zobrazen graf z lokality KOVH, zbylé grafy viz Přílohy 9–13.

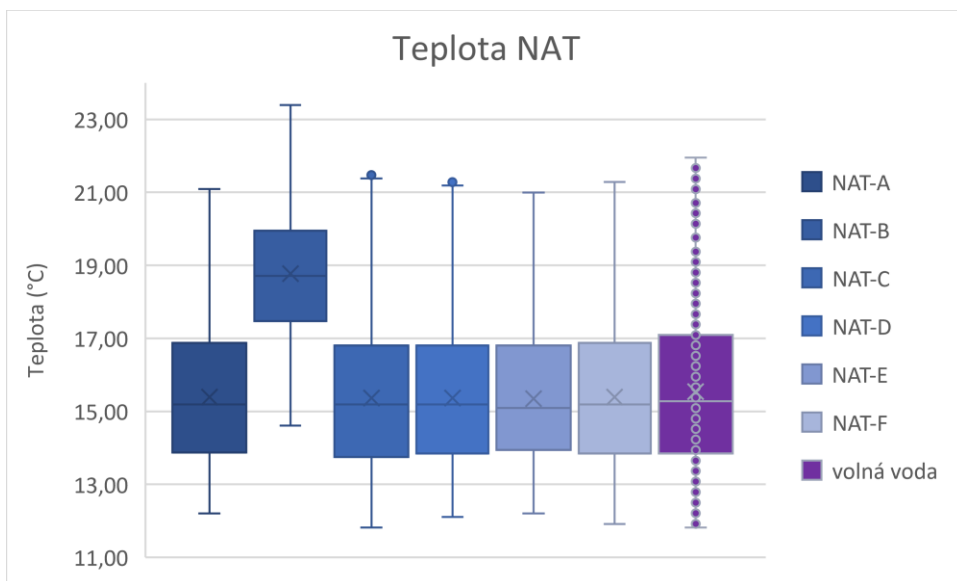


Obrázek 18: Průběh teploty v čase v jednotlivých plochách na lokalitě KOVH. Měření teploty probíhalo v hyporeálu v hloubce 3 cm a ve volné vodě.

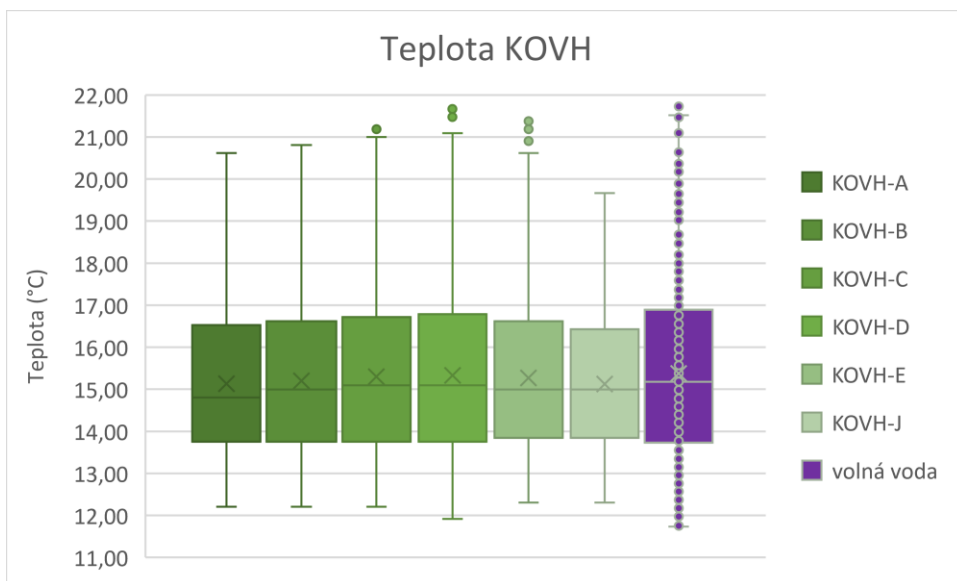
Následně jsou teplotní řady zpracovány do krabicových grafů, ve kterých je vidět průměrná hodnota a rozptyl hodnot pro jednotlivé plochy.



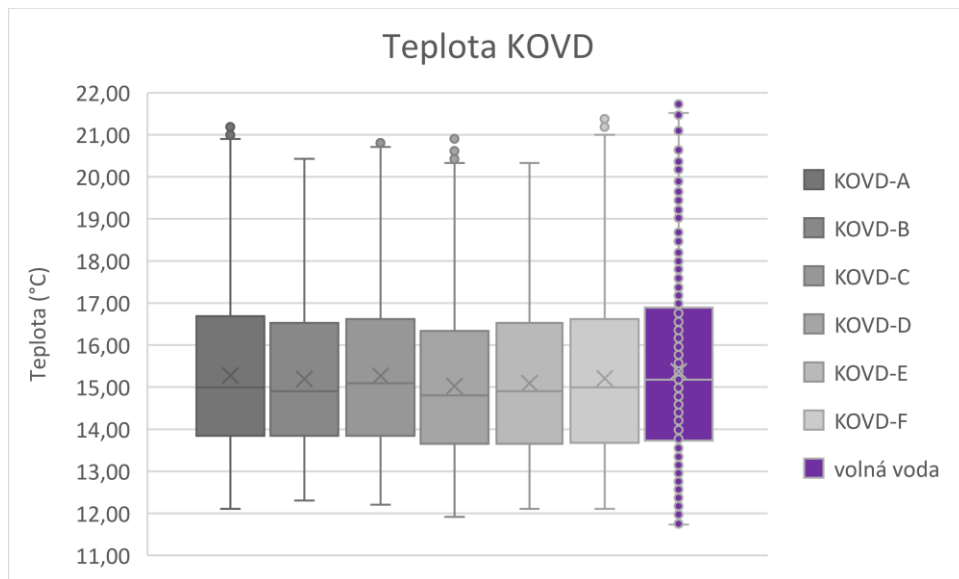
Obrázek 19: Rozsah hodnot teploty hyporeálu pro jednotlivé plochy na lokalitě EXP a teploty volné vody. Měření teploty probíhalo každou hodinu, graf je vytvořen pro časový úsek od 28.6. 0:00 do 20.7.11:00.



Obrázek 20: Rozsah hodnot teploty hyporeálu pro jednotlivé plochy na lokalitě NAT a teploty volné vody. Měření teploty probíhalo každou hodinu, graf je vytvořen pro časový úsek od 28.6. 0:00 do 20.7.11:00. V ploše NAT-B přestal z neznámého důvodu měřit teploměr již 15.7. ve 4:00 a teploty byly o přibližně 3°C vyšší než u ostatních ploch, jedná se nejspíše o chybné měření.



Obrázek 21: Rozsah hodnot teploty hyporeálu pro jednotlivé plochy na lokalitě KOVH a teploty volné vody. Měření teploty probíhalo každou hodinu, graf je vytvořen pro časový úsek od 28.6. 0:00 do 20.7.11:00.

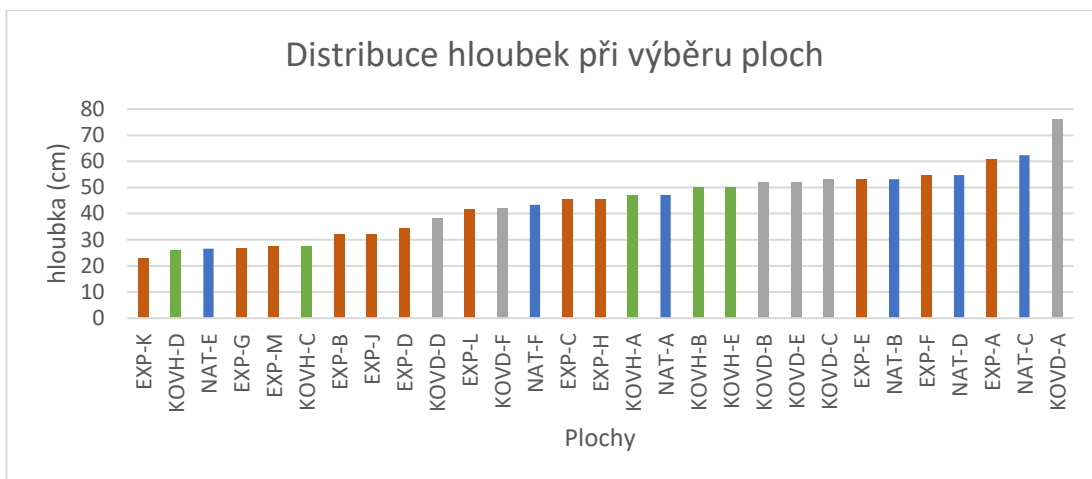


Obrázek 22: Rozsah hodnot teploty hyporeálu pro jednotlivé plochy na lokalitě KOVD a teploty volné vody. Měření teploty probíhalo každou hodinu, graf je vytvořen pro časový úsek od 28.6. 0:00 do 20.7.11:00.

Z grafů je zřejmé, že teplotní režim byl po dobu experimentu podobný napříč lokalitami, pro jednotlivé plochy a tedy i v celém úseku řeky. Teploty volné vody dosahují vyšších hodnot než teploty v hyporeálu, což je způsobeno teplotním režimem hyporeálové vody, kdy při downwellingu proniká studenější voda do prostředí hyporeálu a při upwellingu ochlazuje prostředí mělkého hyporeálu při pronikání zpět na povrch. Z grafů je patrná periodicitu způsobená střídáním noci a dne. Posun bodu NAT-B na lokalitě NAT je patrně způsoben chybným měřením teploměru.

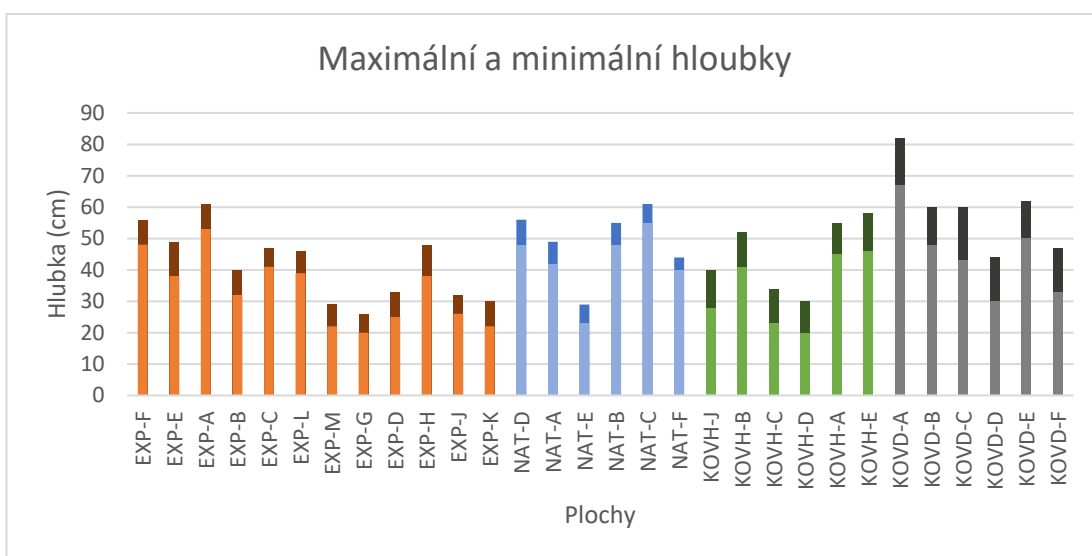
8.1.4 Hloubka

Pro interpretaci hloubky jednotlivých ploch jsou použity tři grafy, první graf znázorňuje distribuci hloubek při zakládání experimentu a druhé dva grafy znázorňují maximální a minimální hloubky pro konkrétní lokality a plochy napříč všemi kontrolami.

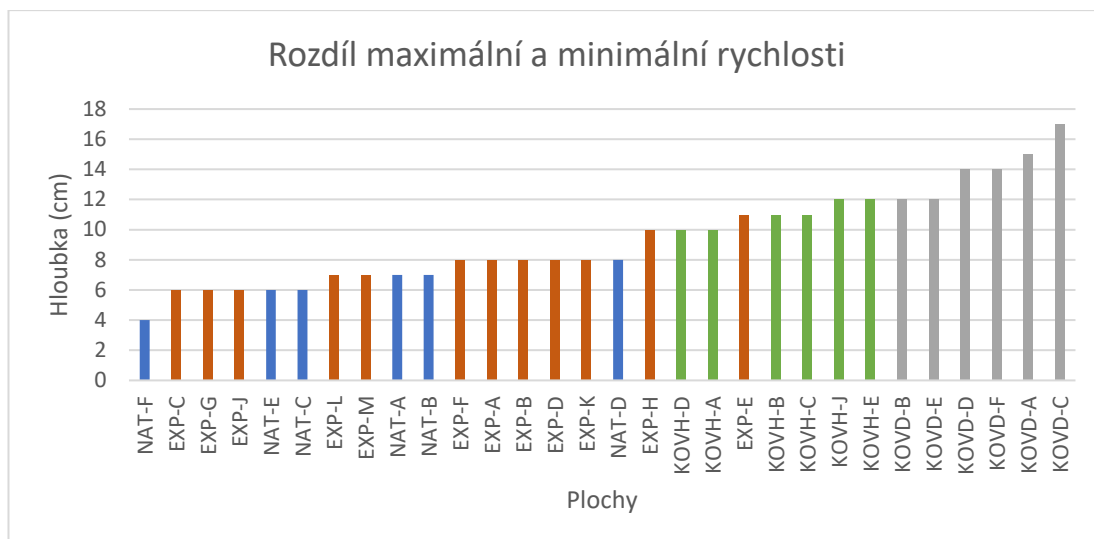


Obrázek 23: Distribuce hloubek při výběru ploch. Jednotlivé sloupce jsou obarveny vždy podle lokality a seřazeny od nejmenší hloubky po největší.

Distribuce hloubek při založení experimentu byla cíleně navržena tak, aby byla co nejrovnoměrnější. Nejmenší hloubka byla na ploše EXP-K, a to 22 cm, nejvyšší pak na ploše KOVD-A, kde dosahovala hodnoty 76 cm. Pro plochu KOVH-J chybí data, proto je z grafu vynechána.



Obrázek 24: Maximální a minimální hloubky pro konkrétní plochy během prováděných kontrol. Jednotlivé sloupce jsou obarveny vždy podle lokality.

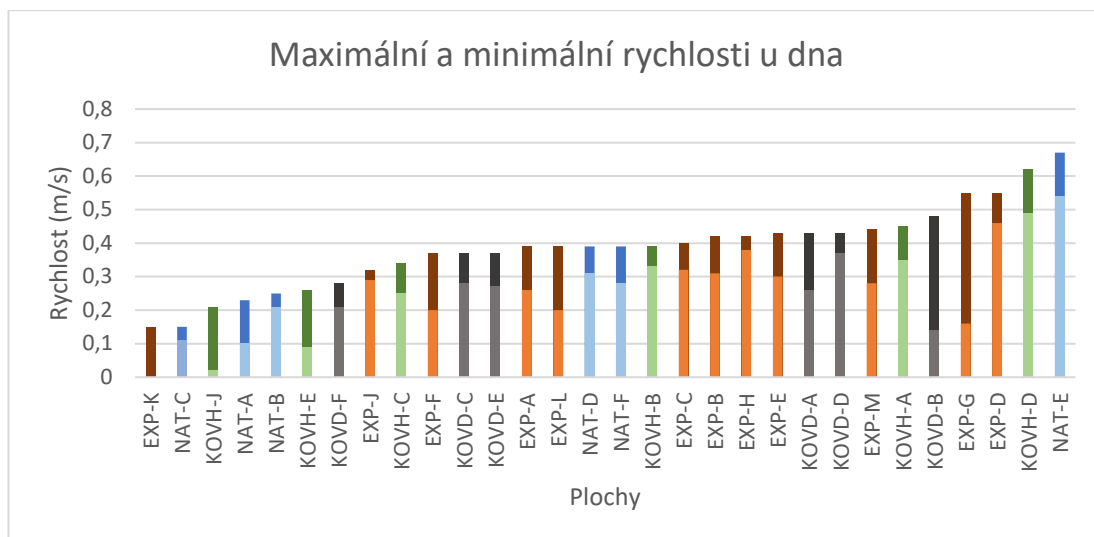


Obrázek 25: Rozdíl maximální a minimální rychlosti pro konkrétní plochy během prováděných kontrol. Jednotlivé sloupce jsou obarveny vždy podle lokality.

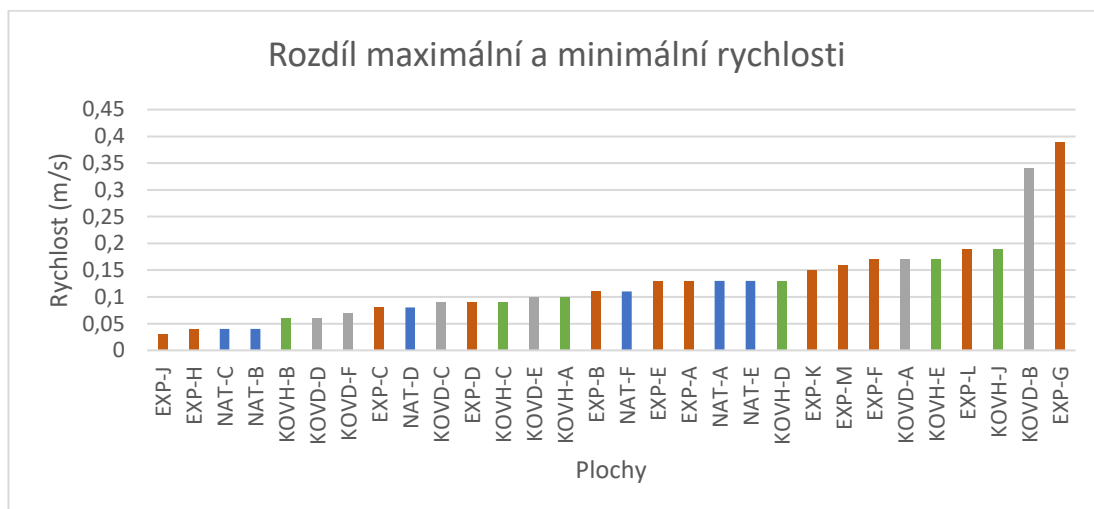
Z grafů vyplývá, že lokalita NAT byla z hlediska kolísání hladiny nejstabilnější. K největšímu rozkolísání hladiny docházelo na lokalitě KOVD. Na všech plochách na lokalitě NAT se výška hladiny měnila v rozmezí maximálně 0–8 cm, naproti tomu na lokalitě KOVD v rozmezí 0–16 cm. Největší naměřená maximální hloubka se vyskytla na ploše KOVD-A a dosáhla hodnoty 82 cm. Nejmenší naměřená hloubka byla zaznamenána na ploše EXP-G a dosáhla hodnoty 20 cm.

8.1.5 Rychlost proudění

Obdobně jako u hloubky, i u rychlosti proudění je pro interpretaci dat zvolen graf znázorňující minimální a maximální dosažené rychlosti napříč všemi kontrolami. Hodnoceny jsou rychlosti u dna.



Obrázek 26: Maximální a minimální dosažené rychlosti u dna při kontrolách pro konkrétní plochy. Jednotlivé sloupce jsou obarveny vždy podle lokality (tmavší odstíny jsou maximální, hodnoty, světlejší minimální) a seřazeny dle maximálních hodnot.



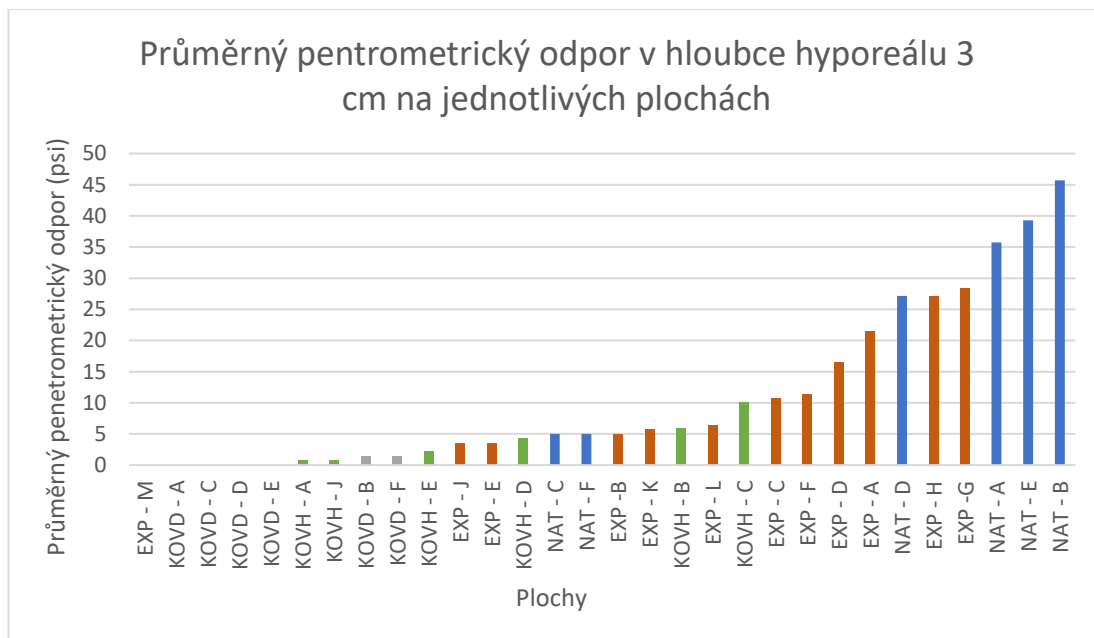
Obrázek 27: Rozdíl maximálních a minimálních dosažených rychlostí při kontrolách pro konkrétní plochy. Jednotlivé sloupce jsou obarveny vždy podle lokality, seřazeny jsou od nejmenšího rozdílu po největší.

Nejvíce heterogenní se ukázala lokalita NAT, která je ale zároveň velice stabilní ve výšce vodního sloupce. Na této lokalitě se také naměřila vůbec nejvyšší dosažená rychlost proudění (0,67 m/s). Konkrétní plocha s největším rozdílem minimální a maximální rychlosti je EXP-G, kde nejvyšší rychlost dosahovala hodnoty 0,55 m/s a nejmenší 0,16 m/s. Nejméně rychlost kolísala na plochách EXP-J a EXP-H.

8.1.6 Penetrometrický odpor

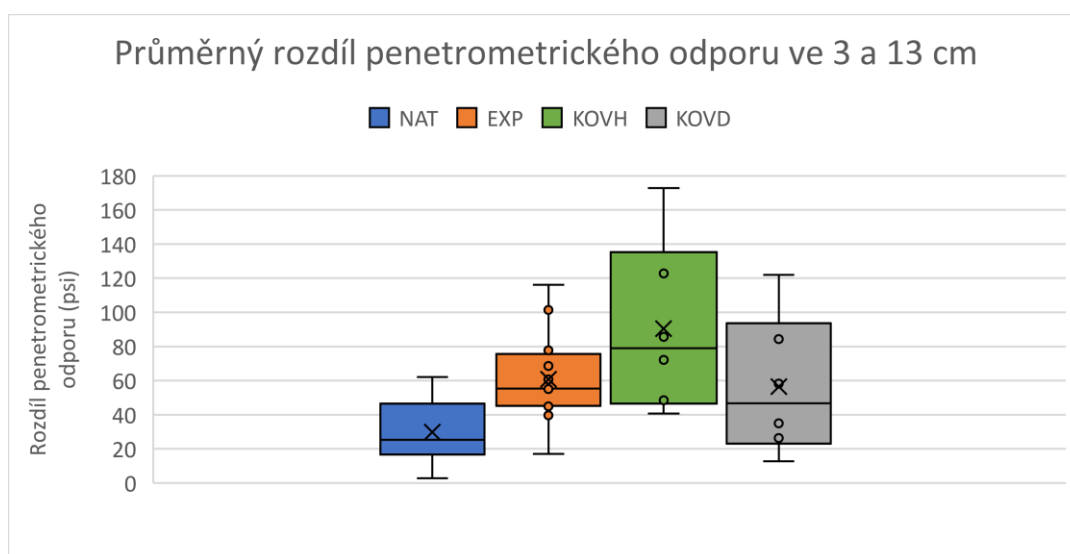
Hodnoty penetrometrického odporu byly měřeny při zakládání experimentu, na každé ploše proběhlo vždy 6 měření, jejichž výsledky byly následně zprůměrovány

a vyneseny do sloupcového grafu. Pro juvenilní stádia perlorodky je vhodnější prostředí s nižším zhutněním (vyšší zhutnění často vede k nedostatku kyslíku), které se odráží i nižší hodnotou penetrometrického odporu. Plochy byly ovšem zvoleny tak, aby zde byly zastoupeny jak nižší, tak vyšší hodnoty zhutnění.



Obrázek 28: Hodnoty průměrné penetrometrického odporu hyporeálu v hloubce 3 cm na jednotlivých plochách. Sloupce jsou obarveny vždy podle lokality.

Penetrometrický odpor byl také měřen v hloubce 13 cm. Tyto hodnoty byly následně zprůměrovány a odečteny od průměrných hodnot penetrometrického odporu v hloubce 3 cm.

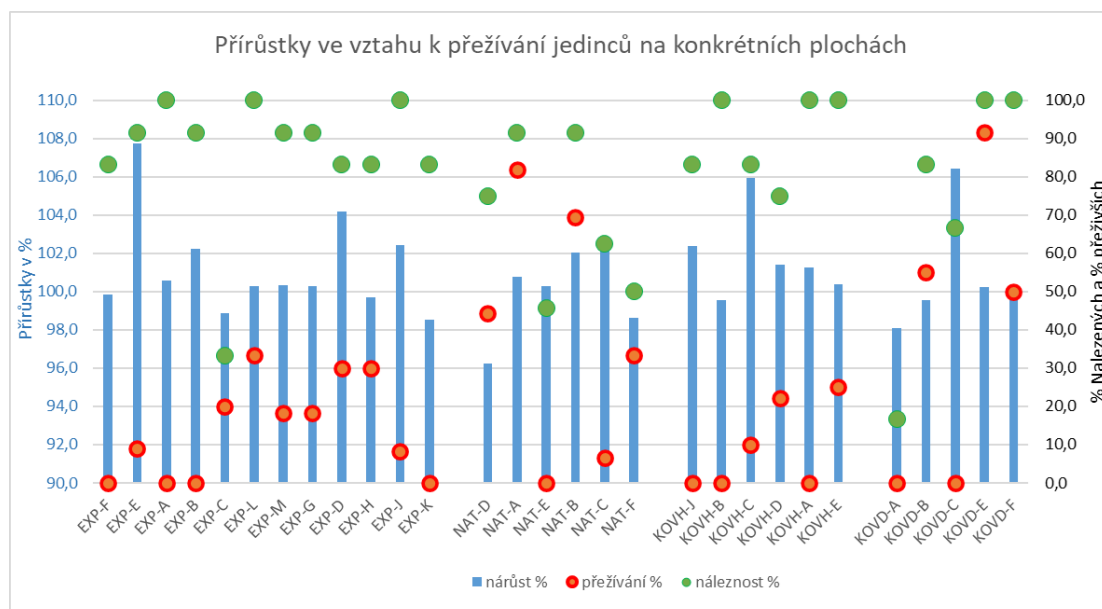


Obrázek 29: Rozsah hodnot rozdílu průměrného penetrometrického odporu v hloubce 3 a 13 cm hyporeálu na jednotlivých lokalitách.

Z grafu je patrné, že na všech lokalitách a i plochách byl penetrometrický odpor v hloubce 13 cm větší než v hloubce 3 cm. Nejmenší rozdíl střední hodnoty penetrometrického odporu se vyskytoval na lokalitě NAT, kde byl i malý rozptyl hodnot. Naproti tomu největší rozdíl střední hodnoty penetrometrického odporu byl na lokalitě KOVH, kde byl i největší rozptyl hodnot. Zdá se tedy, že na lokalitě NAT je hyporeál vertikálně nejhomogennější a na lokalitě KOVH nejvíce heterogenní.

8.1.7 Přežívání a nárůst perlorodek

Další graf dává do závislosti průměrné procentní nárůsty perlorodek a jejich průměrnou míru přežití vždy pro jednu sondu, tedy konkrétní plochu. Procenta přežití byla spočítána pouze z nalezených jedinců, proto je v grafu doplněno také % nalezených jedinců.



Obrázek 30: Složený graf, kde modré sloupce znázorňují průměrný přírůstek jedinců v % pro jednotlivé plochy, zelené body znázorňují % nalezených jedinců a červené body % přeživších jedinců z nalezených.

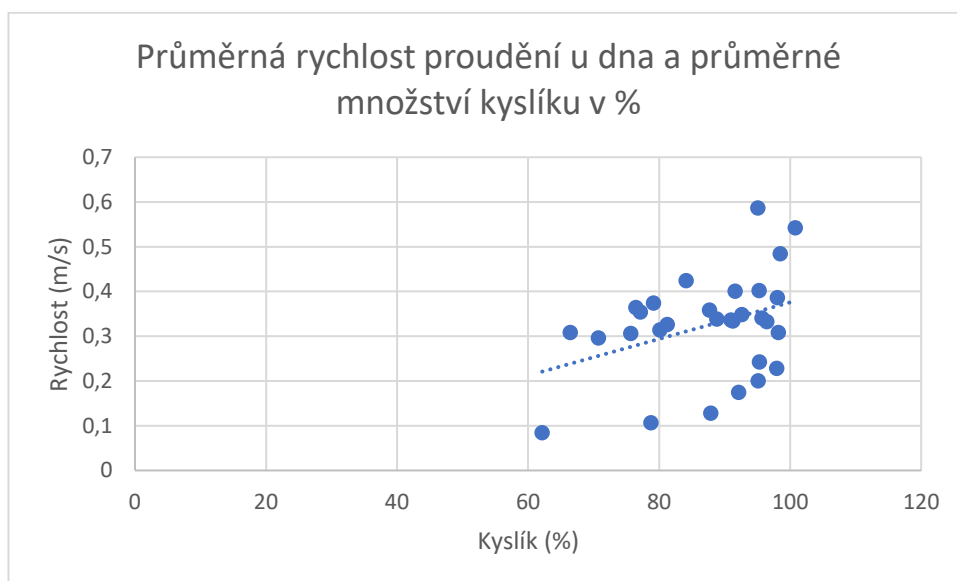
Míra přežití jedinců byla velmi nízká, vyskytují se zde sondy, ve kterých došlo k úhynu všech jedinců. Nejvíce jedinců přežilo na lokalitě NAT a KOVD. Nárůsty jsou z důvodu četné úmrtnosti zanedbatelné, k největším došlo na ploše EXP-E (7,7 %) a k nejmenším na ploše NAT-D (-3,8 %). Nárůsty dosahují i záporných hodnot, což je způsobeno korozi schránek mrtvých jedinců působením okolní lehce kyselé vody. Lokalita NAT se zdá být pro vysazení juvenilů perlorodky říční nejvhodnější, což dokazuje i přirozený výskyt dospělých perlorodek. Více se srovnání konkrétních lokalit v širším kontextu věnuji v kapitole Diskuze.

8.2 Vzájemná závislost měřených parametrů

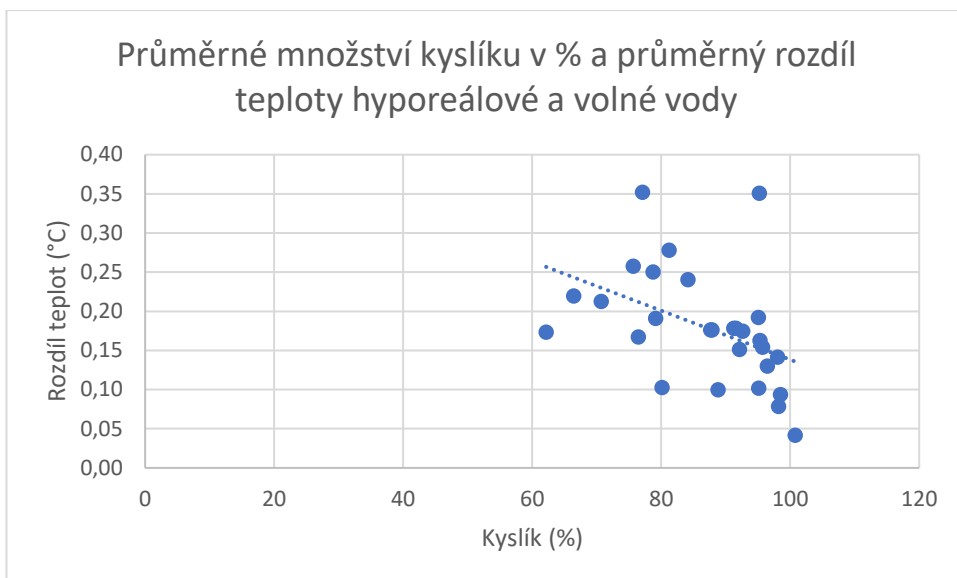
Tato kapitola se snaží porovnat vzájemné vztahy vybraných parametrů. Všechny parametry byly dány do bodových grafů a byla mezi nimi hledána korelace. Níže jsou pouze grafy, u kterých je závislost viditelná. Ostatní grafy nebyly použity.

Nejvíce se korelace projevila u průměrných hodnot rozpuštěného kyslíku v porovnání s ostatními parametry. Zdá se, že rychlost u dna výrazně koreluje s obsahem kyslíku v hyporeálu (Obr. 31) a se stoupající rychlostí proudění také stoupá množství obsaženého kyslíku. Množství kyslíku také korelovalo s rozdílem teploty hyporeálové a volné vody (Obr. 32), kdy stoupající teplota značila mírný pokles kyslíku. I přes velkou úmrtnost juvenilů byla potvrzena závislost přežívání jedinců a množství kyslíku v hyporeálové vodě (Obr. 34). Průměrné množství kyslíku také korelovalo s průměrnou hodnotou penetrometrického odporu ve 3 cm (Obr. 33). S rostoucí hodnotou penetrometrického odporu klesala průměrná hodnota kyslíku.

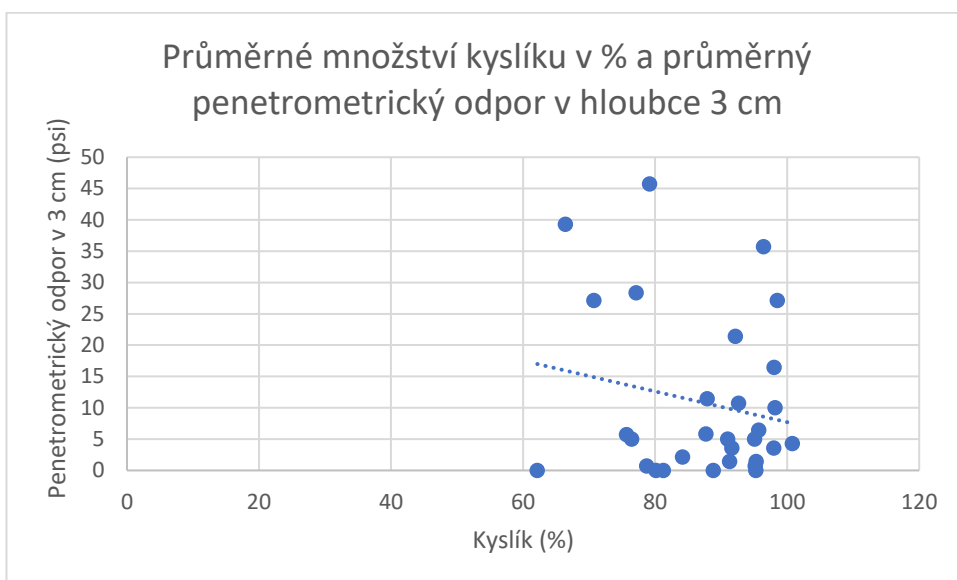
Další korelující parametry byly redoxní potenciál s teplotou (Obr. 35) a penetrometrickým odporem (Obr. 36). Redox, podobně jako kyslík, klesal s rostoucí hodnotou penetrometrického odporu. Vzájemnou korelaci kyslíku a redoxu se ovšem nepodařilo prokázat. Průměrná hodnota redoxního potenciálu také stoupala se zvyšujícím se rozdílem teploty volné a hyporeálové vody (Obr. 37).



Obrázek 31: Vzájemná závislost průměrné rychlosti u dna a průměrného množství rozpuštěného kyslíku v hyporeálové vodě (v 3 cm hyporeálu, hodnoty ze všech lokalit).



Obrázek 32: Vzájemná závislost průměrného množství rozpuštěného kyslíku v % (v 3 cm hyporeálu) a průměrného rozdílu teplot hyporeálové a volné vody (hodnoty ze všech lokalit, odstraněna hodnota nefunkčního teploměru NAT-B).



Obrázek 33: Vzájemná závislost průměrného množství rozpuštěného kyslíku v % a průměrného penetrometrického odporu v hloubce 3 cm (hodnoty ze všech lokalit).

9. Diskuse

Celkový ekologický stav toku na dané lokalitě je vždy výsledkem vyhodnocení stavu jednotlivých složek vodního prostředí, a to jak biologických, tak podpůrných hydromorfologických, fyzikálně-chemických a chemických. V této práci bylo na prostředí nahlíženo především z hlediska fyzikálně-chemického a jeho vlivu na přežívání a celkové kondice juvenilů perlorodky říční. Výhodou měření vybraných fyzikálně-chemických složek kvality životního prostředí je zjištění jejich okamžitého stavu. Nevýhodou oproti hodnocení biologických složek (například odběry a hodnocení kvalitativního a kvantitativního stavu makrozoobentosu) je to, že neodráží dlouhodobý stav prostředí (Rosendorf, 2011). Aby došlo k částečné eliminaci této nevýhody, byla zvolena metoda experimentu založená na pravidelných kontrolách po dobu jednoho měsíce.

Juvenilní stádium perlorodky říční je kritická fáze celého života perlorodky (Simon, Tichá, Rambousková a kol., 2018). Jedním z cílů této práce bylo otestovat prostorovou variabilitu faktorů a na základě těchto faktorů okomentovat vhodnost vybraných lokalit.

Parametr hloubky pro jednotlivé plochy, který značí kolísání hladiny, byl nejstabilnější na lokalitě NAT, ale parametr rychlosti proudění byl na této lokalitě v čase velmi proměnlivý. Hastie, Boon, Young (2000) udávají, že optimální proudová rychlost pro stanoviště perlorodky říční je mezi 0,25–0,75 m/s při střední hladině vody. Během experimentu se rychlosti v této lokalitě pohybovaly v rozmezí 0,11–0,67 m/s což potvrzuje jejich tvrzení. Ve studii Moorkens, Killeen (2014) zjistili, že v místě s vysokým výskytem perlorodek říčních (nad 20 viditelných dospělých na 1 m²) se průměrná rychlost v blízkosti dna pohybuje od 0,27 do 0,31 m/s. Rychlosti v tomto rozmezí se nejvíce vyskytovaly také na lokalitě NAT (konkrétně na ploše NAT-A, NAT-B a NAT-C), což potvrzuje její potenciál pro úspěšné opakování experimentu nebo vysazení juvenilů. Optimální hloubka vody pro stanoviště perlorodky říční se pohybuje okolo 0,3–0,4 m. Ve Švédsku byla pozorována hloubková rozpětí 0,5–2 m. V severním Švédsku se perlorodky obvykle nenacházejí ve vodách mělkých než 0,5 m, protože ta mají v zimě tendenci zmrznout. Perlorodky říční ve velmi mělkých vodách jsou také náchylné k vysychání během letního sucha. V severním Německu se perlorodka říční vyskytuje v rychle tekoucích řekách o hloubce 0,5–1,5 m.

V některých skotských řekách však byli dospělí jedinci pozorováni v hlubších řekách o hloubce až 3 m (Hastie, Boon, Young, 2000). Během experimentu se vyskytovaly nejhluběji položené plochy na lokalitě KOVD a nejméně hluboké byly plochy na lokalitě EXP. Z hlediska přežívání perlorodek na Teplé Vltavě se zdá, že tento faktor nehraje tak významnou roli.

Z hlediska kyslíkových poměrů byla nejvíce homogenní lokalita NAT a vysoké okysličení je způsobeno nejspíše dobře průtočným hyporeálem, kdy při downwellingu proniká okysličená voda do hyporeálového prostředí (Franken et al., 2001). Místa, kde juvenilní stádia perlorodky přežily, se vyznačují vysokým obsahem rozpuštěného kyslíku. To potvrzuje i studie Černé a kol. (2018), která uvádí, že saturace kyslíkem je pro vytipování mikrohabitátů na Teplé Vltavě velice důležitá. Úmrtnost perlorodek ovšem může být způsobena i jinými faktory, než byly naměřené hodnoty rozpuštěného kyslíku. Nejnížší a nejvíce heterogenní kyslíkové poměry panovaly na lokalitě KOVD. Metoda měření rozpuštěného kyslíku je náročná (při nasávání vody hadičkou hrozí i nasátí volné vody, po nasátí hyporeálové vody hrozí zkreslení výsledků ohřátím vzorku po vyjmutí z vody) a často používanou metodou zastupující měření rozpuštěného kyslíku je měření redoxního potenciálu, kdy jsou hodnoty nad 300 mV považovány za oxické (Geist, Auerswald, 2007). Redoxní potenciál vykazoval na lokalitě NAT větší stabilitu než na ostatních lokalitách. Naproti tomu lokalita KOVD vykazovala nízkou heterogenitu v ploše a čase, a to i pro konkrétní body. Perlorodky na této lokalitě tudíž nemají tak velkou možnost výběru a při změně podmínek prostředí nemají možnost najít vhodné místo k usazení. Výhodou měření redoxního potenciálu je také to, že probíhá v celé ploše (vždy 7x měření na jednu plochu), takže lépe ukáže celkový stav plochy, zatímco rozpuštěný kyslík je vždy odebrán jen z jednoho místa v bezprostřední blízkosti sondy.

Průměrná teplota se na všech lokalitách pohybovala okolo 16 °C a krátkodobá maxima dosahovala hodnot okolo 21,3 °C. Absolon a Hruška (1999) uvádějí, že maximální teploty vhodné pro výskyt perlorodky jsou 20 °C. Podle metodiky AOPK 2013 jsou krátkodobá maxima, jež jsou perlorodky schopny tolerovat, 23 °C. Tato teplota nebyla ani jednou za dobu experimentu přesažena, lze tedy předpokládat, že teplota nebyla důvodem vysokých úhynů a všechny lokality jsou z teplotního hlediska vhodné.

Vzájemné vztahy měřených parametrů byly prokázány především ve vztahu množství rozpuštěného kyslíku k rychlosti proudění, teplotě a propustnosti dna, což potvrzuje tvrzení Geist a Auerswald (2007), že okysličenost a celková kvalita hyporeálu je závislá na propojení volné vody a vody hyporeálové a liší se od sebe jen minimálně. Jak již bylo zmíněno výše, množství kyslíku také korelovalo s % přežití jedinců, což potvrzuje výsledky Černé a kol. 2018. Dobře propustný hyporeál se tedy jeví jako klíčový faktor pro vývoj perlorodky. Předpokládaná kladná korelace rozpuštěného kyslíku a redoxního potenciálu nebyla navzdory předpokladům prokázána.

Celkový výsledek bioindikačního experimentu je značně zkreslen velkými úhyny juvenilů perlorodky, kdy v některých sondách zemřeli všichni jedinci a v některých sondách bylo nalezeno jen minimum jedinců (perlorodky zřejmě sondy opustily v momentě, kdy nastaly nevhodné podmínky). Předpokládáme, že vysoká úmrtnost mohla být způsobena nevhodným materiálem sond, které nebyly nerezové a mohly se tak z nich uvolňovat kovy (Horáčková, ústní sdělení), ovšem mohla zde sehrát roli i řada proměnlivých faktorů prostředí, neboť míra přežívání byla napříč mezi testovanými plochami (a tedy jednotlivými sondami) značně nerovnoměrně rozložena viz kapitola Výsledky, Obr. 30.

Z hlediska přežívání perlorodky se zdá jako nejvhodnější lokalita NAT. Vhodnost této lokality může být způsobena relativně velkou heterogenitou parametrů celé lokality napříč plochou. Konkrétní body ale zároveň vykazovaly vysokou stabilitu hodnocených parametrů v čase. Tyto dva faktory umožňují jedincům výběr konkrétního místa na základě proměnlivých parametrů na ploše. V momentě, kdy si zvolí vhodné místo, se dá předpokládat vysoká stabilita tohoto bodu a konkrétní jedinec zde tedy může prosperovat. Pokud nastanou nepříznivé podmínky, celková heterogenita plochy umožní jedincům přesun do vhodného místa. Opakem této lokality byla lokalita KOVD, kde byly podmínky velmi homogenní v čase i ploše, neposkytují proto tak velký prostor k výběru vhodného místa pro konkrétní jedince.

10. Závěr a přínos práce

Perlorodka říční čelila během minulého století masivnímu úbytku jedinců po celé Evropě. Díky výzkumu, ochraně a snaze o repatriaci jsou z velké části známe vyhovující podmínky vodního prostředí u adultních jedinců, u juvenilních stádií je však potřeba jednotlivé faktory nadále studovat. Fáze, která nastává při odpadnutí parazitické perlorodky z hostitele, je totiž kritickým bodem jejího života a je v tomto období nejnáchylnější ke všem změnám v hyporeálovém prostředí. V této práci jsou popsány vybrané faktory ovlivňující život juvenilních stádií perlorodky, které jsou následně vztaženy k jejímu přežívání na 4 vytipovaných lokalitách na Teplé Vltavě. Z celkových pozorovaných 444 juvenilů na začátku experimentu jich po ukončení bylo nalezeno 349 a z toho pouze 79 bylo živých.

Přesto se jako nejvhodnější z hlediska všech parametrů a přežívání jedinců jeví lokalita NAT, jako nejméně vhodná z hlediska přežívání lokalita EXP a z hlediska příznivých hodnot měřených parametrů lokalita KOVD. Vhodnost lokality NAT je způsobena vysokou stabilitou parametrů v čase a zároveň jejich vysokou heterogenitou v prostoru.

Perlorodka je mlžem s velmi složitým životním cyklem, v současnosti je předmětem ochrany národní i mezinárodní. Je potřeba omladit současné přestárlé populace a zajistit tak zlepšení věkové struktury druhu, bez kterého by v dlouhodobém horizontu perlorodka nepřežila. K tomu je potřeba se zaměřit na hyporeálovou fázi perlorodky a sledovat charakteristiky podříčního dna. Výsledky této práce mohou sloužit k bližšímu pochopení problematiky vztahu juvenilů perlorodky k hyporeálovému prostředí, jako podklad pro budoucí podobné experimenty nebo přímo k vysazování juvenilních stádií perlorodky na Teplé Vltavě.

11. Přehled literatury a použitých zdrojů

- Absolon, K., Hruška, J., 1999: Záchranný program Perlorodka říční (*Margaritifera margaritifera* Linnaeus, 1758) v České republice, AOPK ČR, Praha, 27 s.
- AOPK ČR, 2013: Záchranný program perlorodky říční *Margaritifera margaritifera* v České republice. 77 s.
- Bauer, G., The status of the freshwater pearl mussel *Margaritifera margaritifera* L. in the south of its European range, *Biol. Conserv.*, 1986, vol. 38, str. 1–9.
- Bauer, G., Threats to the freshwater pearl mussel in Central Europe, *Biol. Conserv.*, 1988, vol. 45, str. 239–253.
- Beran, L., 1998: Vodní měkkýši ČR. ZO ČSOP Vlašim, Vlašim, 113 s. ISBN 80-902469-4-X.
- Beran, L., 2002: Vodní měkkýši České republiky – rozšíření a jeho změny, stanoviště, šíření, ohrožení a ochrana, červený seznam. Přírodovědný klub v Uherském Hradišti, Zlín, 258 s. ISBN 80-86485-05-6.
- Beran, L., 2011: Příspěvek k poznání vodních měkkýšů CHKO Blanský les. Sborník Jihočeského muzea v Českých Budějovicích, Přírodní vědy, číslo 51, str. 89–100.
- Blažková, D., Hruška, J., 1999: Vegetace lad s ostřicí třeslicovitou (*Carex brizoides*) v souvislosti s obnovením ekosystémů oligotrofních povodí s perlorodkou říční (*Margaritifera margaritifera*). *Příroda – Sborník prací z ochrany přírody* 15, AOPK ČR, Praha, str. 7–24. ISBN: 80-86064-30-1.
- Bogan, A. E., 1998: Freshwater molluscan conservation in North America - problems and practices. *Journal of Conchology*, Special Publication No. 2, str. 223–230.
- Buddensiek, V., 1995: The culture of juvenile freshwater pearl mussels *Margaritifera margaritifera* L. in cages: A contribution to conservation programmes and the knowledge of habitat requirements. *Biological Conservation* 74, str. 33–40.
- Culek, M., a kol., 2013: Biogeografické regiony České republiky. Masarykova univerzita, Brno, 450 s. ISBN 978-80-210-6693-9.

- Černá, M., Simon, O.P., Bílý, M., Douda, K., Dort, B., Galová, M., Volfová, M., 2018: Within-river variation in growth and survival of juvenile freshwater pearl mussels assessed by in situ exposure methods. *Hydrobiologia*, 810, str. 393–414.
- Douda, K., Simon, O. P, Dort, B., Švanyga, J., 2012: The relative importance of temperature and food to juvenile growth of *Margaritifera margaritifera* in its natural habitat. In Teixeira, A., Lopes-Lima, M., Varandas, S. (Eds.): International Meeting of Biology and Conservation of Freshwater Bivalves Braganca, Portugal, 4th-7th September 2012, Book of Abstracts Polytechnic Institute of Braganca. Braganca, 102 s.
- Franken, R.J.M., Storey, R.G., Williams, D.D., 2001: Biological, chemical and physical characteristics of downwelling and upwelling zones in the hyporheic zone of a north-temperate stream. *Hydrobiologia* 444, str. 183–195.
- Gittings, T., O’Keefe D., Gallagher F., Finn J., O’Mahony., 1998: Longitudinal variation in abundance of a Freshwater Pearl Mussel *Margaritifera margaritifera* population in relation to riverine habitats. *Biology and Environment: Proceedings of Royal Irish Academy*. 98B/3, str. 171–178.
- Geist, J., Auerswald, K., 2007: Physicochemical stream bed characteristics and recruitment of the freshwater pearl mussel (*Margaritifera margaritifera*). *Freshwater Biology*, Volume 52, str. 2299-2316.
- Graf, D. L, Cummings, K. S., 2007: Review of the systematics and global diversity of freshwater mussel species (Bivalvia: Unionoida). *Journal of Molluscan Studies* 73, str. 291–314.
- Hartman, P., Štědranský E., Přikryl I., 1998: *Hydrobiologie*. Informatorium, Praha, 335s. ISBN 80-86073-27-0.
- Hastie, L. C., Young M., R., Boon, P., J., 2000: Growth characteristics of freshwater pearl mussels, *Margaritifera margaritifera* (L.). *Freshwater Biology*, Volume 43, str. 243-256.
- Hruška J., 1992: Projekt Záchrana perlorodky říční v České republice, 3. část. Polopřirozený odchov. – *Ochrana přírody*, 47, str. 7–11.
- Chobot, K., 2016: Druhy a přírodní stanoviště – hodnotící zprávy o stavu v České republice v roce 2013. AOPK ČR, Praha, 225 s. ISBN: 978-80-88076-20-9.

- Lellák, J., Kubíček, F., 1991: Hydrobiologie. Univerzita Karlova, Praha, 257 s. ISBN 80-7066-530-0.
- Lewis, G. L., Viessman, W., 2003: Introduction to hydrology. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 612s.
- Lavictoire, L., Moorkens, E., Ramsey, A. D., Sinclair, W., Sweeting, R. A., 2016: Effects of substrate size and cleaning regime on growth and survival of captive-bred juvenile freshwater pearl mussels, *Margaritifera margaritifera* (Linnaeus, 1758). *Hydrobiologia*, Volume 766, str. 89–102.
- Lavictoire, L., Ramsey, A. D., Moorkens, E. A., Souch, G., Barnhart, M. C., 2018: Ontogeny of juvenile freshwater pearl mussels, *Margaritifera margaritifera* (Bivalvia: Margaritiferidae). *PLOS One*, Volume 13, str. 1-20.
- Makhrov, A., Bepalaya, J., Bolotov, I., Vikhrev, I., Gofarov, M., Alekseeva, Y., Zotin, A., 2014: Historical geography of pearl harvesting and current status of populations of freshwater pearl mussel *Margaritifera margaritifera* (L.) in the western part of Northern European Russia. *Hydrobiologia*, Volume 735, str. 149–159.
- Mamun, A., Khan, A., 2011: Freshwater Mussels (*Margaritifera margaritifera*): Bio-filter Against Water Pollution. *World Applied Sciences Journal*, Volume 12, str. 580–585.
- Machar, I., Drobilová, L., 2012: Ochrana přírody a krajiny v České republice – vybrané aktuální problémy a možnosti jejich řešení. Univerzita Palackého v Olomouci, Olomouc, str. 421–853. ISBN: 978-80-244-3041-6.
- Miguel, E. S., Monserrat, S., Fernández, C., Amaro, R., Hermida, M., Ondina, P., Altaba, C., R., 2004: Growth models and longevity of freshwater pearl mussels (*Margaritifera margaritifera*) in Spain. *Canadian Journal of Zoology*, Volume 82, str. 1370–1379.
- Miko, L., Hošek, M., 2010: State of nature and the landscape in Czech republic. Agency for Nature Conservation and Landscape Protection of the Czech Republic, Prague, 102 s. ISBN 978-80-87051-91-7.
- 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. Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems, Volume 24, str 853–862.
- Murzinaa, S. A., Ieshkoa, E. P., Zotin, A. A., 2017: The Freshwater Pearl Mussel *Margaritifera margaritifera* L.: Metamorphosis, Growth, and Development Dynamics of Encysted Glochidia. Biology Bulletin, Volume 44, pp 6-13. ISSN: 1062-3590.
- NP Bayerischer Wald, 2020: Aufbau eines grenzüberschreitenden sozio-ökonomischen Monitoringsystems in den Nationalparks Šumava und Bayerischer Wald. Nationalparkverwaltung Bayerischer Wald, Grafenau, 76 s.
- Österling, M. E., Arvidsson, B. L., Greenberg, L. A., 2010: Habitat degradation and the decline of the threatened mussel *Margaritifera margaritifera*: influence of turbidity and sedimentation on the mussel and its host. Journal of Applied Ecology, Volume 47, str. 759-768.
- Perlorodka ©2015: Perlorodka říční (online) [cit. 30.1.2021]. Dostupné z: <
<http://www.perlorodkaricni.cz/>>.
- Rosendorf, P., 2011: Metodika hodnocení všeobecných fyzikálně-chemických složek ekologického stavu útvarů povrchových vod tekoucích. VÚV TGM, Praha, 20s.
- Říhová Ambrožová, J., 2003: Aplikovaná a technická hydrobiologie. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Praha, 226s. ISBN 80-7080-521-8.
- Schubert, A.A., Lellák, J., 1973: Život ve sladkých vodách. SPN, Praha, 285s.
- Simon, O., Kladivová, V., Svobodová, J., Hruška, J., Vejmelková, J., Bílý, M., 2006: Ochrana oligotrofních povodí s perspektivními lokalitami výskytu perlorodky říční v ČR. Příroda 25, str. 11–27.
- Simon O., Tichá K., Rambousková K., Bílý M., Černá M., Dort B., Horáčková J., Hruška J., Kladivová V., Švanyga J., Vydrová A., 2018: Metodika podpory perlorodky říční (*Margaritifera margaritifera*). – VÚV TGM, Praha, 283 s. ISBN 978-80-87402-63-4
- Směrnice Rady 92/43/EHS o ochraně přírodních stanovišť, volně žijících živočichů a planě rostoucích rostlin.

Sukop, I., 2006: Ekologie vodního prostředí. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, Brno, 199s. ISBN 80-7157-923-8.

Štěrbá O., Holzer M., 1977: Fauna der interstitiellen Gewässer der Sandkiessedimente unter der aktiven Strömung. Věstník československé společnosti zoologické, str. 144–159.

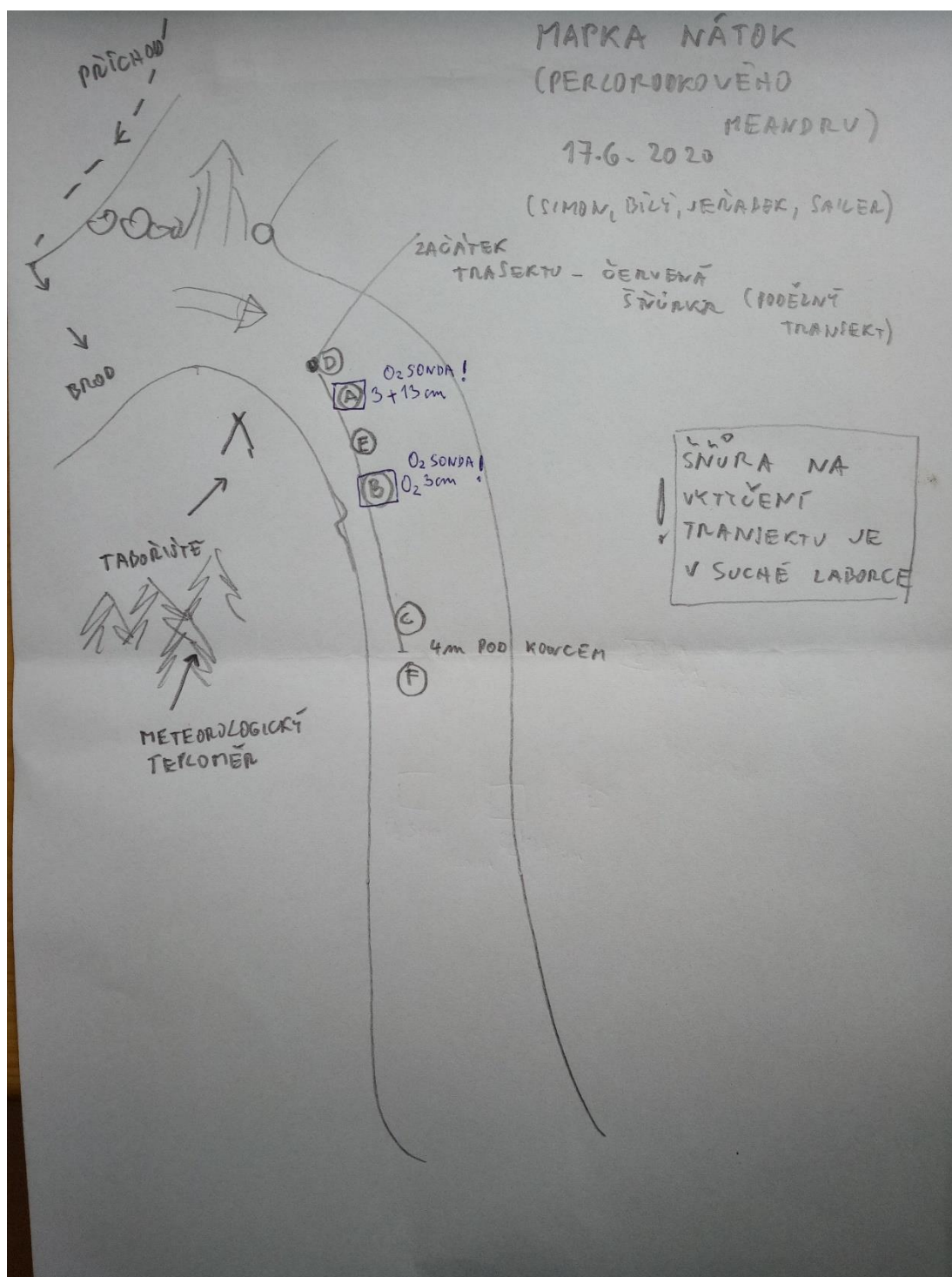
Vaníčková, I., Simon, O.P., Dort, B., 2014: Omlazení populací perlorodky říční. Ochrana přírody – péče o přírodu a krajinu, 6/2014, str. 11–15.

Vaníčková, I., Kopečková, M., Dort, B., 2016: Praktická opatření na podporu perlorodky. Ochrana přírody – věstník státní péče o ochranu přírody, ročník 71, číslo 3. AOPK ČR, str. 22–25. ISSN: 1210-258X.

Zákon č. 114/1992 Sb., o ochraně přírody a krajiny.

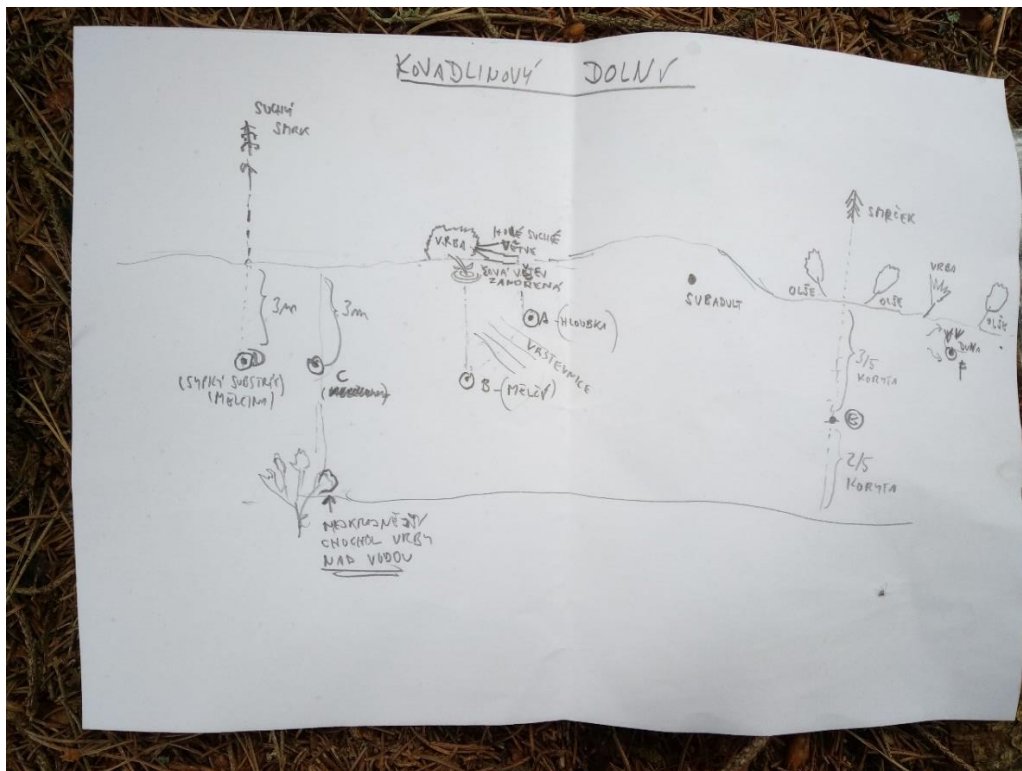
12. Přílohy

Příloha 1



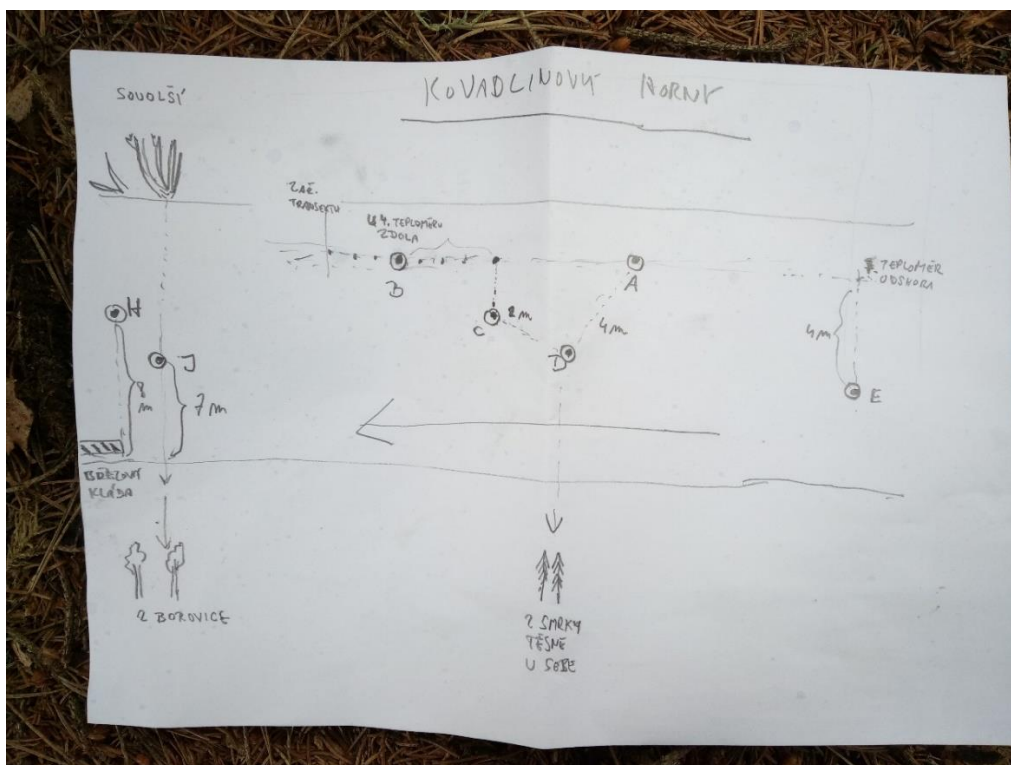
Příloha 1: Mapa vybraných ploch na lokalitě NAT.

Příloha 3



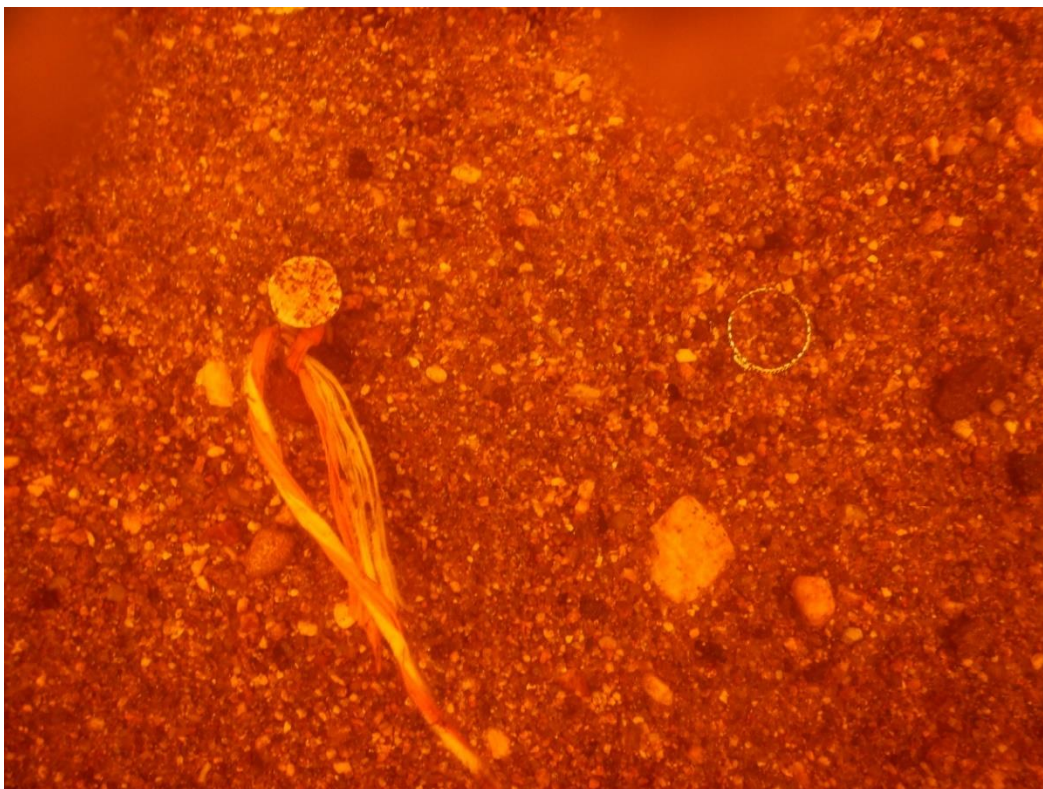
Příloha 3: Mapa vybraných ploch na lokalitě KOVD.

Příloha 4



Příloha 4: Mapa vybraných ploch na lokalitě KOVH.

Příloha 5



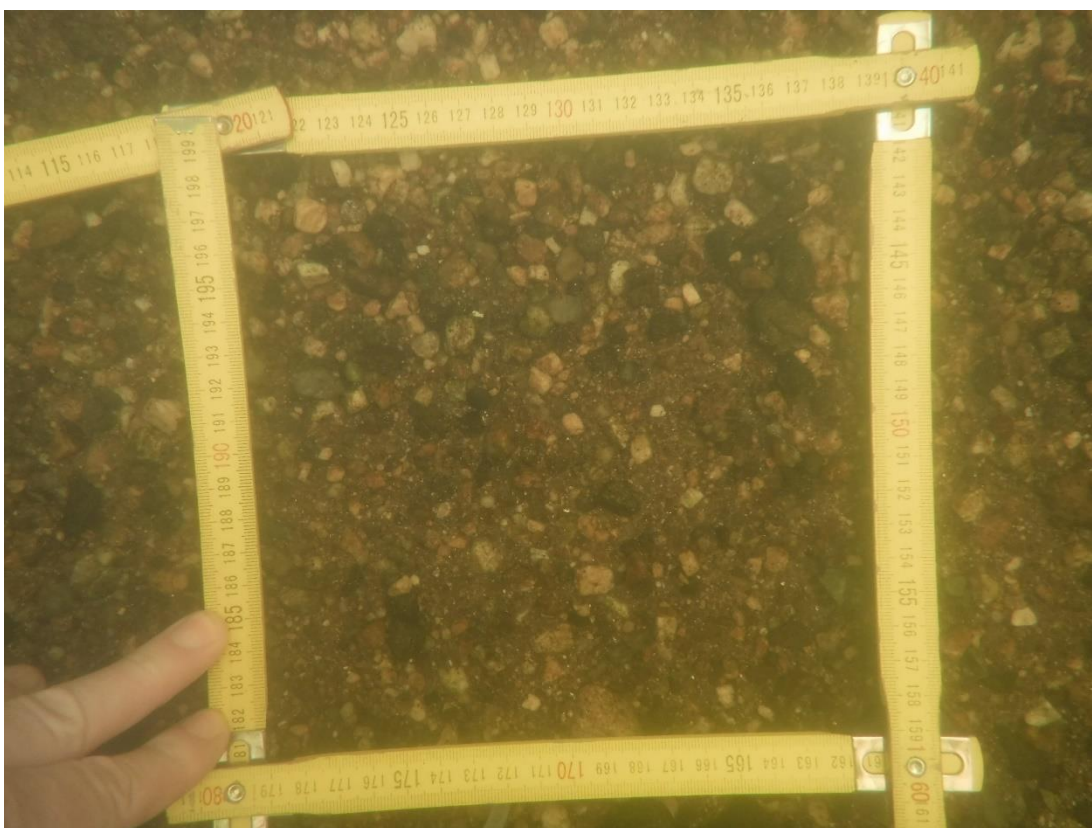
Příloha 5: Značení vybrané plochy hřebem.

Příloha 6



Příloha 6: Vybavení potřebné pro provedení kontroly.

Příloha 7



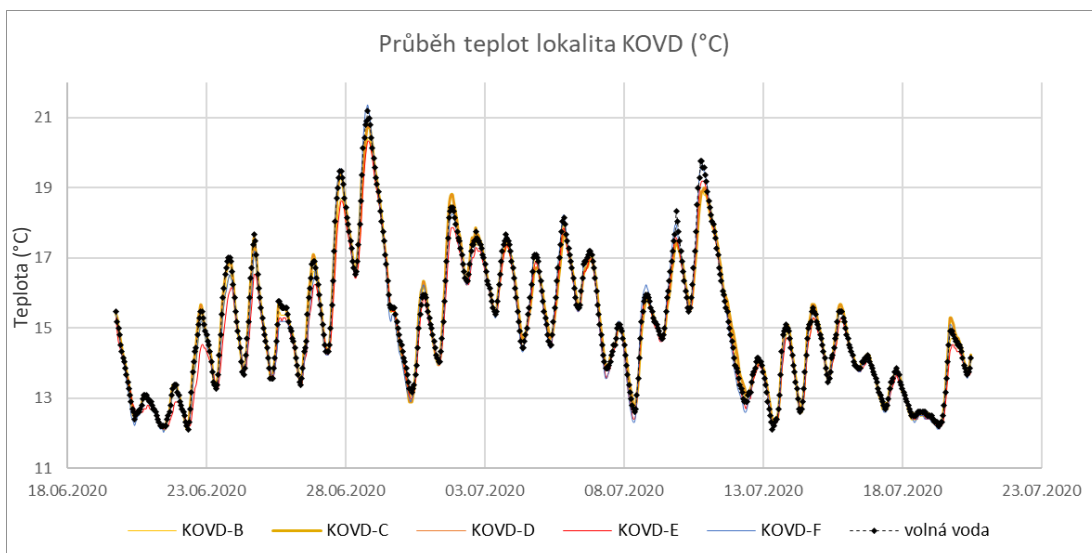
Příloha 7: Fotodokumentace vybrané plochy při kontrole.

Příloha 8



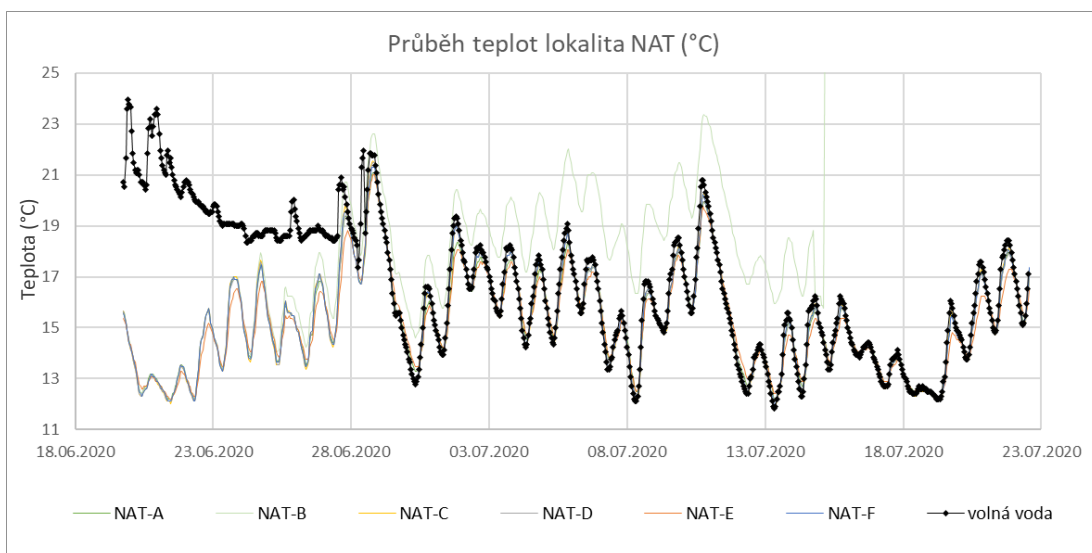
Příloha 8: Proces vyjmutí hyporeálové sondy.

Příloha 9



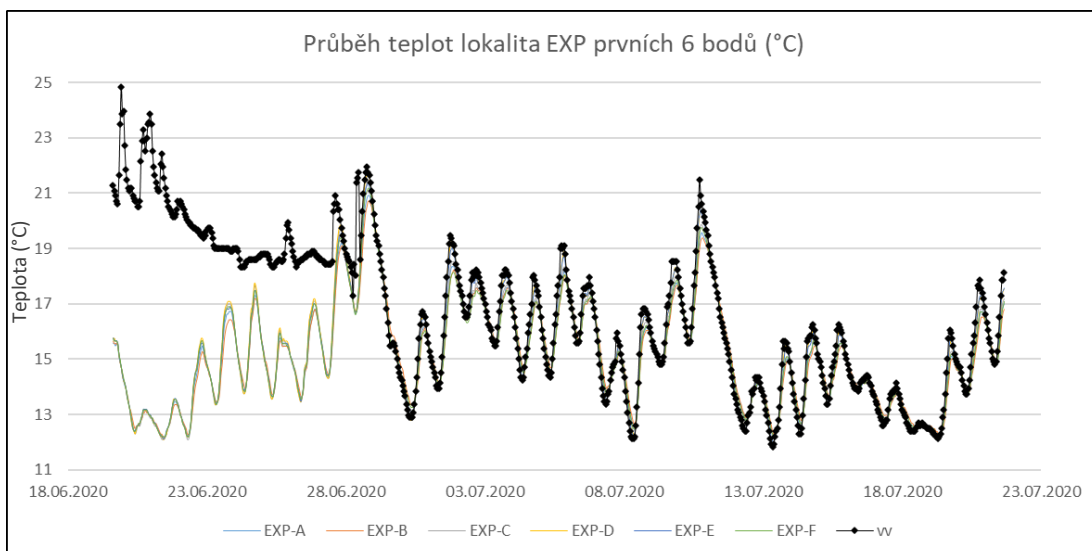
Příloha 9: Průběh teploty v čase v jednotlivých plochách na lokalitě KOVD. Měření teploty probíhalo v hyporeálu v hloubce 3 cm a ve volné vodě.

Příloha 10



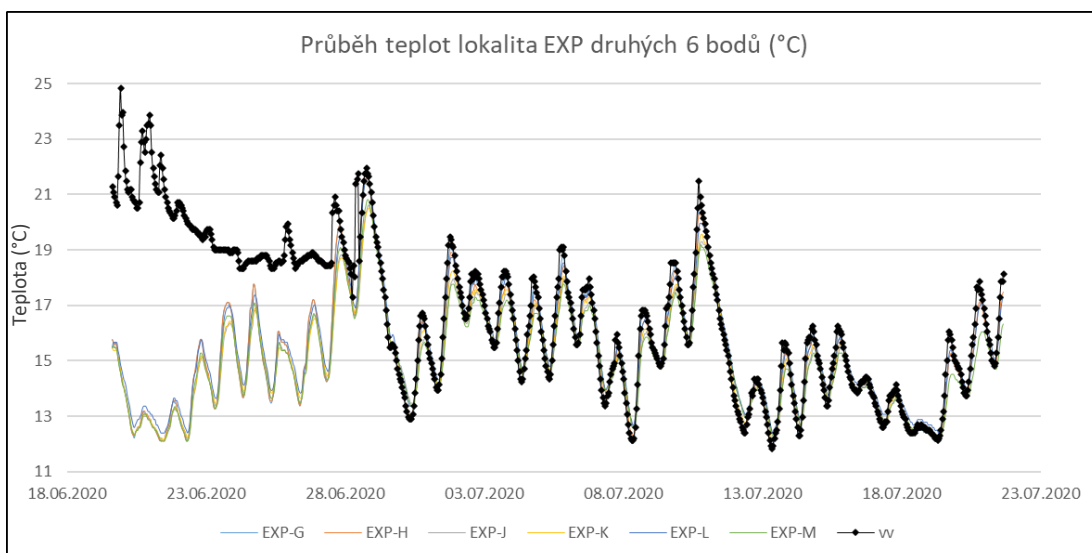
Příloha 10: Průběh teploty v čase v jednotlivých plochách na lokalitě NAT. Měření teploty probíhalo v hyporeálu v hloubce 3 cm a ve volné vodě.

Příloha 11



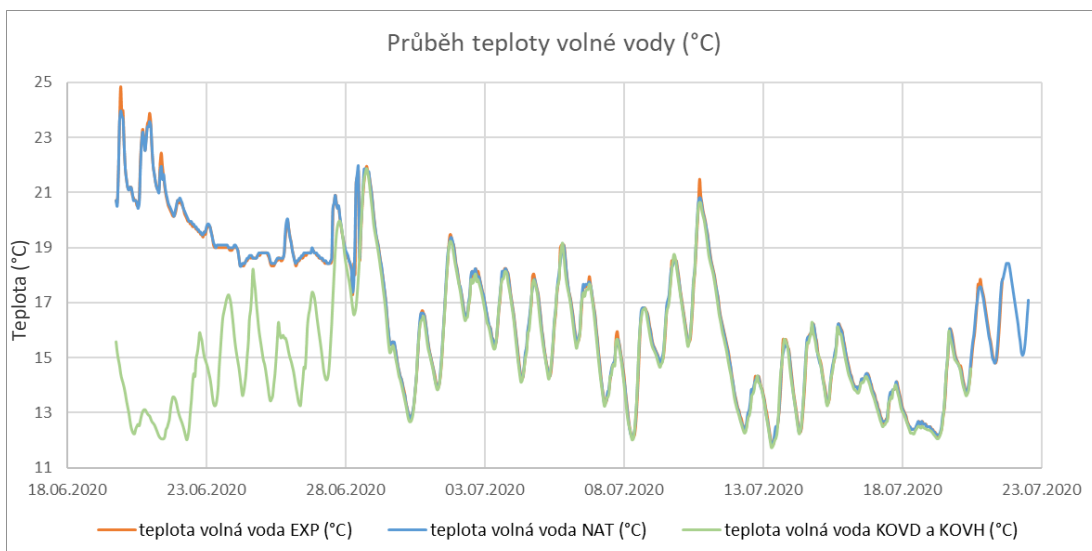
Příloha 11: Průběh teploty v čase v prvních 6 plochách na lokalitě EXP. Měření teploty probíhalo v hyporeálu v hloubce 3 cm a ve volné vodě.

Příloha 12



Příloha 12: Průběh teploty v čase v druhých 6 plochách na lokalitě EXP. Měření teploty probíhalo v hyporeálu v hloubce 3 cm a ve volné vodě..

Příloha 13



Příloha 13: Průběh teploty ve volné vodě. Pro lokality KOVD a KOVH použit průměr z 30 teploměrů umístěných v lokalitě KOVH.