

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE
FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ
KATEDRA BIOTECHNICKÝCH ÚPRAV KRAJINY



**Diverzita prostředí hyporeálu oligotrofních toků jako
prediktor vhodných podmínek pro juvenilní mlže
v podhorských oligotrofních tocích**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Vedoucí práce: Mgr. Ondřej Simon, Ph.D.

Diplomant: Bc. Martin Konrady

2019

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Martin Konrady

Ochrana přírody

Název práce

Diverzita prostředí hyporeálu oligotrofních toků jako prediktor vhodných podmínek pro juvenilní mlže v podhorských oligotrofních tocích

Název anglicky

Diversity of hyporheic zone of oligotrophic streams as a predictor of suitable conditions for juvenile bivalves in submontane oligotrophic streams

Cíle práce

- detailní mapování fyzikálně chemických podmínek mělkého hyporeálu Vltavy (penetrometrie, obsah O₂, teplota, vodivost)
- kontinuálního měření gradientu teploty v mělkém hyporeálu na Vltavě
- vyhodnocení dat v měřítku detailu mikrohabitatu a rozdílných lokalit na Vltavě
- diskuse využitelnosti nových metod pro hodnocení habitatu juvenilních perlorodek v kontextu probíhajícího záchranného programu

Metodika

ruční měření parametrů hyporeálové vody ex situ pomocí multimetrických přístrojů (WTW, Germany) se zaměřením na obsah rozpuštěného kyslíku intersticiálních prostor mělkého hyporeálu

ruční měření parametrů mělkého hyporeálu in situ pomocí penetračních sond se zaměřením na penetrační odpor a redox potenciál (standardní přístroje a kusově vyrobená Pt redox sonda)

monitoring tepelného gradientu hyporeálu pomocí dlouhodobého měření sériemi kontinuálních sond (HO-BO – Onset, USA) v několikaměsíčních sériích v zimních i letních podmínkách

Doporučený rozsah práce

30 + přílohy

Klíčová slova

Margaritifera margaritifera, hyporeál, oligotrofní toky, rozpuštěný kyslík, teplotní gradient

Doporučené zdroje informací

Braun, A., K. Auerswald and J. Geist (2012). "Drivers and Spatio-Temporal Extent of Hyporheic Patch Variation: Implications for Sampling." *Plos One* 7(7)

Černá, M., O. P. Simon, M. Bílý, K. Douda, B. Dort, M. Galová and M. Volfová (2018). "Within-river variation in growth and survival of juvenile freshwater pearl mussels assessed by in situ exposure methods." *Hydrobiologia* 810(1): 393-414.

Geist, J. and K. Auerswald (2007). "Physicochemical stream bed characteristics and recruitment of the freshwater pearl mussel (*Margaritifera margaritifera*)." *Freshwater Biology* 52(12): 2299-2316.

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

Marzadri, A., D. Tonina and A. Bellin (2013). "Quantifying the importance of daily stream water temperature fluctuations on the hyporheic thermal regime: Implication for dissolved oxygen dynamics." *Journal of Hydrology* 507: 241-248.

Předběžný termín obhajoby

2018/19 LS – FŽP

Vedoucí práce

Mgr. Ondřej Simon, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra biotechnických úprav krajiny

Konzultant

Michal Bílý

Elektronicky schváleno dne 29. 3. 2019

prof. Ing. Petr Sklenička, CSc.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 29. 3. 2019

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.

Děkan

V Praze dne 09. 04. 2019

Prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma „Diverzita prostředí hyporeálu oligotrofních toků jako prediktor vhodných podmínek pro juvenilní mlže v podhorských oligotrofních tocích“ jsem vypracoval pod vedením Mgr. Ondřeje Simona, Ph.D. V seznamu literatury jsem uvedl veškeré zdroje, ze kterých jsem čerpal.

V Praze 15.4.2019

.....

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval především vedoucímu mé diplomové práce Mgr. Ondřeji Simonovi, Ph.D. za odborné vedení, trpělivost, cenné rady a čas, který mně věnoval při zpracování předkládané diplomové práce.

Dále děkuji RNDr. Jitce Horáčkové, Ph.D, Vojtěchu Macháčkovi, Bc. Petře Parmové, Bc. Lucii Johanisové a Bc. Elišce Paterové za pomoc při pracích v terénu.

Děkuji Martě Rojtové za poskytnutí zpracovaných teplotních dat z povodí řeky Malše.

Také bych chtěl poděkovat Mgr. Michalu Bílému, Ph.D., Ing. Václavě Jahelkové a Ing. Vojtěchu Barákovi za poskytnuté cenné rady a pomoc v terénu.

Na závěr děkuji svým rodičům za pomoc a podporu při studiu, tak i při zpracování této práce.

Abstrakt

Předkládaná diplomová práce se zabývá měřením fyzikálně-chemických parametrů mělkého hyporeálu v hloubkách 3 cm a 13 cm (penetrační odpor sedimentu dna, obsah rozpuštěného kyslíku, kontinuální měření tepelného gradientu, vodivost) a ověřením využitelnosti jednotlivých měřících metod pro hodnocení kvality hyporeálu ve vztahu k perlorodce říční.

Měření parametrů mělkého hyporeálu probíhalo v NP Šumava na rozdílných lokalitách na oligotrofním horním toku Vltavy (Teplé Vltavě).

Na základě našich výsledků byla zjištěna vysoká prostorová a časová variabilita zkoumaného říčního prostředí. Místa, kde byl naměřen vyšší penetrační odpor sedimentu se obvykle vyznačovala nižšími rozdíly mezi obsahem kyslíku a vodivosti mezi intersticiální a volně tekoucí vodou, což indikuje lepší propojení vodního toku s hyporeálem. S vyšším obsahem kyslíku byly také korelovány hodnoty redoxního potenciálu bližší vodě proudící v řece.

Z kontinuálních teplotních dat bylo možné zjistit odlišný průběh teplot v jednotlivých hloubkách sedimentu (3 cm a 13 cm). Obecně hloubka 3 cm byla více ovlivněna teplotními fluktuacemi povrchové vody, zatímco hloubka 13 cm měla stabilnější teplotu a nedocházelo zde k tak výrazným výkyvům. Na základě teplotních dat bylo možné zjistit místa, kde docházelo k vnořování povrchové vody a vnořování vody hyporeálové. Vnořování povrchové vody znamenalo, že hyporeál v daném místě byl dobře prokysličený, pokud se zde nenacházela makrofyta. Přítomnost makrofyt způsobila to, že i v místech, kde docházelo k vnořování povrchové vody, chemické charakteristiky odpovídaly spíše těm místům, kde se vnořovala málo prokysličená hyporeálová voda.

Naše výsledky poukazují na to, že kvalita prostředí pro perlorodku závisí na míře propojení povrchové říční vody a hyporeálu, které je možné popsat měřenými fyzikálně-chemickými parametry. Pro objektivní zhodnocení habitatu je doporučena kombinace několika metod měření podle otázek, na které má konkrétní studie zodpovědět. Jako nejvhodnější se obvykle jeví kombinace penetrometrie a penetrační redox sondy, případně s kalibračním měřením rozpuštěného kyslíku *ex situ*.

Klíčová slova: *Margaritifera margaritifera*, hyporeál, oligotrofní toky, rozpuštěný kyslík, teplotní gradient

Abstract

This thesis is focused on measurement of physicochemical parameters of shallow hyporheic zone at depths of 3 cm and 13 cm. Measured parameters were penetration resistance, concentration of dissolved oxygen, continual measurement of temperature gradient and conductivity and verification of applicability of individual measuring methods for evaluating of hyporheic zone quality in relation to freshwater pearl mussel.

The measurement of shallow hyporheic zone parameters took place in the Šumava National Park at different locations on the oligotrophic upper reaches of the Vltava River.

Our results show high spatial and temporal variability of river environment. Locations where was measured higher penetration resistance of sediment were usually characterized by lower differences between oxygen concentration and conductivity between interstitial and free-flowing water, that indicated a better connection of the watercourse and the hyporheic zone. Higher oxygen concentration was correlated with higher redox potential values.

Based on our results we found out that thermal profiles were different at each depth (3 cm and 13 cm). The depth of 3 cm was more affected by temperature of free-flowing water, while the depth of 13 cm was much more stable. According to thermal data it was possible to find out places of downwelling free-flowing water and upwelling of hyporheic water. Downwelling zones were characterized by higher oxygen content in the riverbed sediment when the riverbed was free of macrophytes. Presence of macrophytes probably caused that even downwelling zones had low oxygen content and other chemical parameters were like in the upwelling zones.

Our results show that habitat quality of freshwater pearl mussel depends on connection of free-flowing water and the hyporheic zone and this relationship can be described by physicochemical parameters. For effective assessment of a habitat, a combination of several measurement methods is recommended but it depends on tasks of a specific study. Combined measurements of penetration resistance and redox potential are usually recommended. *Ex situ* oxygen concentration measurement method can be used for calibration.

Keywords: *Margaritifera margaritifera*, hyporheic zone, oligotrophic streams, dissolved oxygen, temperature gradient

Obsah

1	Úvod.....	10
2	Cíle práce	11
3	Literární rešerše.....	12
3.1	Hyporeál	12
3.1.1	Spodní a povrchová voda, mechanismy výměny.....	12
3.1.2	Vliv výměny vody na prostředí dna	14
3.2	Parametry dna a jejich měření	14
3.2.1	Penetrometrie	15
3.2.2	Rozpuštěný kyslík	16
3.2.3	Redoxní potenciál.....	18
3.2.4	Teplota	19
3.2.5	Konduktivita.....	20
3.3	Perlorodka říční (<i>Margaritifera margaritifera</i>).....	21
3.3.1	Systematické zařazení	21
3.3.2	Popis druhu	21
3.3.3	Životní cyklus perlorodky říční.....	22
3.3.4	Nároky na prostředí a ohrožení	22
3.3.5	Rozšíření a ochrana	24
4	Zájmová lokalita.....	26
5	Metodika	27
5.1	Příčný transekt	27
5.1.1	Penetrační odpor dna.....	27
5.1.2	Konduktivita, rozpuštěný kyslík, metodický pokus.....	27
5.2	Podélný transekt	28
5.2.1	Penetrační odpor dna.....	29
5.2.2	Obsah rozpuštěného kyslíku	29
5.2.3	Redoxní potenciál.....	29
5.2.4	Teploměry	29
5.2.5	Znázornění a vyhodnocení dat	30
6	Výsledky	33
6.1	Metodické porovnání prvního a druhého vzorku hyporeálové vody.....	33
6.2	Metodický pokus ovlivnění koncentrace kyslíku	34
6.3	Příčný a podélný transekt	34
6.3.1	Příčný transekt.....	34

6.3.2	Podélný transekt.....	36
6.3.3	Využití penetračního odporu a redoxního potenciálu k měření obsahu rozpuštěného kyslíku.....	37
6.4	Teplotní data z podélného transektu.....	37
6.5	Srovnání s Malší.....	42
7	Diskuze.....	44
7.1	Metody měření rozpuštěného kyslíku	44
7.2	Teplotní data.....	45
7.3	Využitelnost nových metod pro hodnocení biotopu perlorodky říční v podmínkách ČR.....	47
7.3.1	Přesnost získaných dat s ohledem na juvenilní a adultní perlorodky a doporučená kombinace metod pro popis habitatu.....	48
7.3.2	Časová náročnost získání dostatečně podrobných dat k podchycení lokální variability	48
7.3.3	Cena přístrojového vybavení a riziko zničení při práci v terénu	49
7.3.4	Riziko poškození mikrohabitátů s výskytem juvenilů perlorodky říční a jak jim předcházet	50
8	Závěr	52
9	Seznam použité literatury.....	53
10	Seznam tabulek	62
11	Seznam obrázků	63
12	Seznam příloh	65
13	Přílohy	67

1 Úvod

Perlorodka říční (*Margaritifera margaritifera*) je druh dlouhověkého sladkovodního mlže s holarktickým rozšířením (Lopes-Lima et al. 2016; Ložek 1956). Na území České republiky se hojně vyskytovala v povodí Labe a okrajově i Odry. Za tímto výrazným úbytkem perlorodky stojí především úbytek vhodných biotopů způsobený zejména intenzivním hospodařením, zvýšenou eutrofizací a nevhodnými úpravami toků (Boulton et al. 1998; Vaníčková et al. 2014). Tyto faktory nebyly tak výrazné v pohraničních oblastech, a proto se současné těžiště výskytu v České republice perlorodky říční nachází v povodí Vltavy, Blanice, Zlatého potoka a jedinci se vyskytují i na hraniční Malši (Matasová et al. 2013; Simon et al. 2015b). Ale ani na těchto lokalitách se perlorodka neobejde bez aktivní péče (Hruška et Volf 2003).

Nároky perlorodky říční na mikrohabitat dna a chemické složení intersticiální vody nejsou zatím detailně popsány. Geist et Auerswald (2007) poukazuje na důležitost faktorů jako je přítomnost jemného sedimentu, neboť ten negativně ovlivňuje prokysličení hyporeálu. Přičemž pilotní práce (Černá et al. 2018), jenž využívala přímé měření kyslíku v mělkém hyporeálu, dokazuje při poklesu kyslíku pod 65 % výrazné zvýšení mortality a zpomalení růstu.

Z výše uvedených důvodů byla hlavním cílem předkládané diplomové práce měření parametrů dna na vybraných úsecích horního toku Vltavy a ověření využitelnosti jednotlivých metod pro hodnocení kvality habitatu pro perlorodky říční.

2 Cíle práce

Cílem této diplomové práce je mapování fyzikálně-chemických parametrů mělkého hyporeálu Vltavy za využití:

- penetrometrie,
- měření obsahu rozpuštěného kyslíku,
- kontinuální měření gradientu teploty,
- vodivost.

Dále cílem práce bylo ověřit využitelnost jednotlivých metod pro hodnocení kvality habitatu perlířodky.

3 Literární rešerše

3.1 Hyporeál

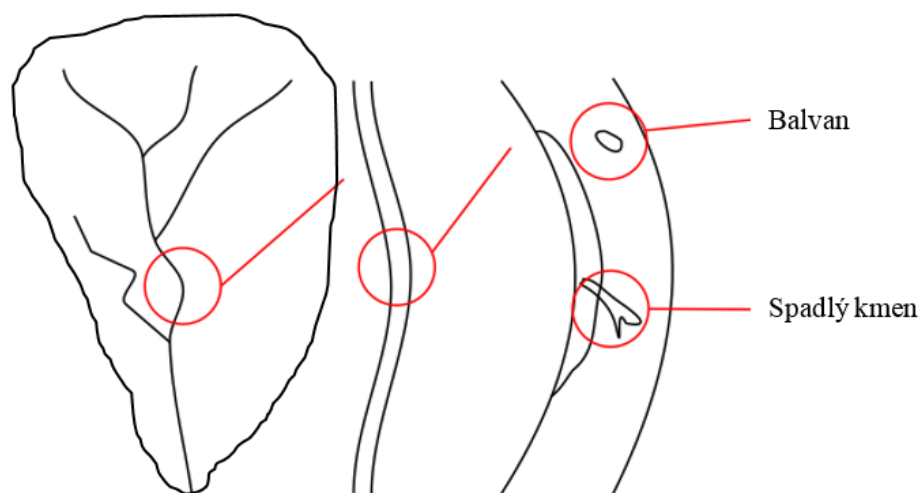
Hyporeál je podříční dno s hloubkou až několik metrů. Tento systém je v čase proměnlivý. Je ovlivněn zejména povrchovým tokem a dochází zde také ke kontaktu povrchové a podzemní vody (Allan et Castillo 2007; Boulton et al. 1998; Lellák et Kubiček 1992). Na proudění vody v tomto systému má zásadní vliv jeho propustnost, jenž je závislá na velikosti a tvaru částic dna (Lellák et Kubiček 1992; Wetzel 2001). Variabilita v uspořádání sedimentů dna způsobuje „vnořování“ („downwelling“) a „vynořování“ („upwelling“) povrchové resp. hyporeálové vody (Vaux 1962).

3.1.1 Spodní a povrchová voda, mechanismy výměny

Spodní voda převažuje v hyporeálu v případě, když na povrchu dna koryta se nachází nepropustná vrstva, která zabraňuje vstupu vody povrchové. K pohybu podzemní vody dochází pomocí rozdílů tlakových výšek a různé hydraulické vodivosti (Winter et al. 1999). Z důvodu variabilní skladby (geologické, topografické atd.) povodí vznikají soustavy systémů podzemní vody. Voda v jednotlivých systémech se liší dobou zadržení a hydrochemickým složením, které je závislé na době zadržení a hornině, kterou je zadržena (Freeze et Cherry 1979). Z hlediska obsahu rozpuštěného kyslíku jsou tyto vody obvykle chudší (Fraser et Williams 1998; Winter et al. 1999).

Průnik podzemní vody do prostředí hyporeálu může probíhat roztroušeně po velké ploše, nebo na jasně oddělených lokalitách. Přesné místo je dáno zejména geologickými a topografickými charakteristikami (Dole-Olivier 1998; Winter et al. 1999). Výsledky Soulsby et al. (2001) a Malcolm et al. (2003) naznačují, že míra pronikání podzemní vody do hyporeálu, a oblast jejího míchání s vodou povrchovou, závisí i na aktuálním průtoku povrchového toku. Za nízkých vodních stavů se oblast míchání podzemní a povrchové vody přesouvá blíže k povrchu dna a naopak.

Výměna vody mezi povrchovým tokem a hyporeálem je řízena především fyzikálními vlastnostmi dna a dynamikou toku. Výměna je zapříčiněna rozdíly v tlacích a propustnosti sedimentu dna. Tyto procesy, způsobující výměnu vody, existují napříč různými prostorovými měřítky (měřítko povodí, vodního toku, část vodního toku a mikrohabitatů viz. Obr. 1) (Boulton et al. 1998; Brunke et Grosner 1997; Edwards 1998).

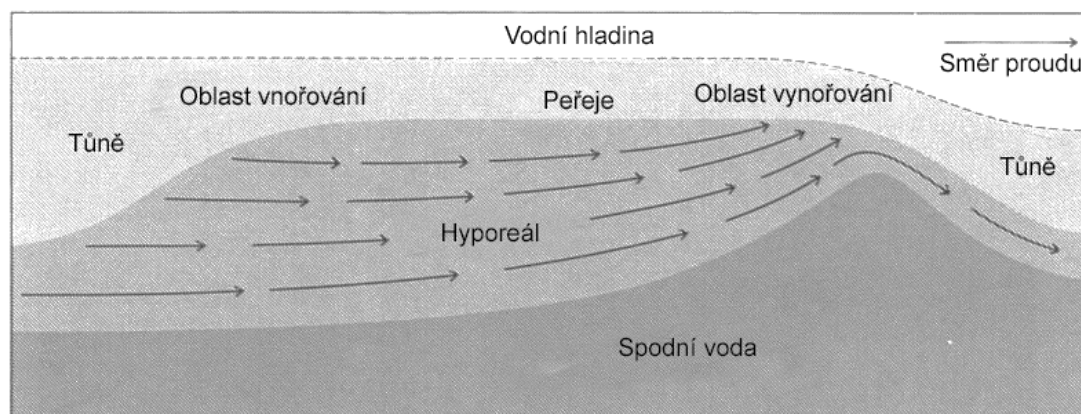


Měřitko povodí Měřitko toku Měřitko části toku Měřitko mikrohabitatu

Obr. 1 Přehled jednotlivých měřítek, zdroj: vlastní zhotovení.

V případě měřítka povodí a vodního toku je výměna vody ovlivněna zejména heterogenitou podloží. Např. když se tok níže po proudu dostane ze skalnatého podloží do míst s aluviálním sedimentem, tak může dojít k downwellingu (Stanford et Ward 1988).

V měřítku části vodního toku je výměna vody způsobena hlavně topografií dna koryta a propustností sedimentů (Harwey et Bencala 1993; Vaux 1968). Různé uspořádání dna vytváří rozdíly mezi tlaky působícími na dno. Downwelling je spojen s místy, kde vysoký tlak přechází v nízký (příkladem může být přechod mezi tůň a peřejí). V případě upwellingu naopak, tedy v místech, kde nízký tlak přechází ve vysoký (př. přechod mezi peřejí a tůň) (obr. 2). Rozdílná propustnost sedimentů též způsobuje upwelling a downwelling (Vaux 1968).



Obr. 2 Schéma downwellingu a upwellingu, zdroj: White (1993), upraveno.

Při pohledu z měřítka mikrohabitatů dochází k výměně vody v důsledku změn v topografii, propustnosti a drsnosti koryta. V tomto měřítku dochází k mělčímu a kratšímu zanořování povrchové vody než u předchozích případů (Edwards 1998). Objekty v korytě, jako spadlé kmeny a balvany, způsobují rozdíl tlaků a tím i výměnu vody v hyporeálu (stejný mechanismus jako u systému peřej-tůně, ale v menším měřítku) (Vaux 1968). Dále downwelling mohou způsobit i živé organismy, např. samice lososů kladou jikry do „hnízd“ vytloukaných ocasy do dna, čímž naruší jeho povrch a v tomto místě cíleně zvýší jeho propustnost (Chapman 1988).

3.1.2 Vliv výměny vody na prostředí dna

Výměna vody mezi povrchovým tokem a hyporeálem významným způsobem ovlivňuje koncentrace látek v sedimentech, čímž vytváří prostředí vhodné pro různorodé organismy. Přítomná biota dále ovlivňuje prostředí hyporeálu, neboť využívá rozpuštěné živiny a vypouští odpadní látky, které jsou odnášeny proudící vodou. Je zde možné nalézt, např.: bakterie, prvoky, bezobratlé či ryby, které se zde vyskytují buď po část svého života, nebo po celý svůj život (Edwards 1998). Findlay et al. (1993) uvádí, že downwelling obohacuje toto prostředí rozpuštěným kyslíkem, vytváří oxické prostředí, a tím umožňuje kolonizaci organismy. Naopak rozkladné procesy organického materiálu kyslík částečně spotřebují. Snižováním obsahu kyslíku může místně docházet ke vzniku anoxie a k redukčním procesům (Findlay 1995). Vznikají tak kyslíkové gradienty, které jsou dále ovlivněny počáteční koncentrací kyslíku, rychlostí proudění vody, hloubkou v sedimentu a dobou zdržení vody pod povrchem dna (Findlay et al. 1993).

Vynořující se hyporeálová voda obsahuje obvykle méně rozpuštěného kyslíku, ale může být obohacena o organický materiál a živiny. Místo, kde se dostává na povrch je produktivnější, což se může projevit přítomností biofilmu (Dent et al. 2001). Na tyto místa, bohatší na živiny, reaguje také pobřežní vegetace, která ovlivňuje chemismus hyporeálu odčerpáváním vody a živin svými kořeny (Constantz et al. 1994).

3.2 Parametry dna a jejich měření

Z hlediska vhodných podmínek pro perlorodku jsou významné zejména následující vybrané parametry dna: druh sedimentu a jeho zhutnění, obsah rozpuštěného kyslíku, redoxní potenciál mezi sedimentem dna a volnou vodou, konduktivita a teplota (Černá et al. 2018; Geist et Auerswald 2007).

Měření výše uvedených parametrů je možné rozdělit na dvě základní skupiny, a to: *in situ* měření (v původním místě) a *ex situ* měření (mimo původní místo).

***In situ* metody:**

- Penetrometrie
- Měření redoxního potenciálu
- Měření teploty
- Měření obsahu rozpuštěného kyslíku za využití kontinuálních sond
- Měření konduktivity za využití kontinuálních sond

***Ex situ* metody:**

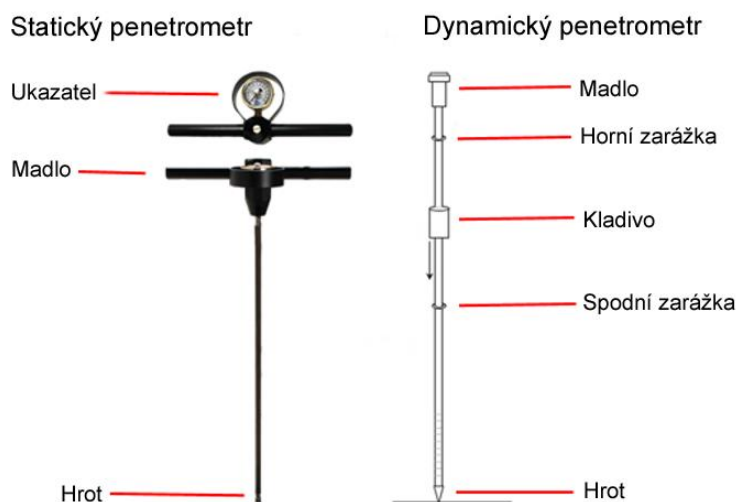
- Měření obsahu rozpuštěného kyslíku intersticiální vody sondou připojenou k oximetru/multimetru
- Měření konduktivity intersticiální sondou připojenou k multimetru

3.2.1 Penetrometrie

Jedná se o metodu, která se běžně používá zejména v zemědělství a je jí zjišťována míra zhutnění půdy (Bengough et al. 2000; Carrara et al. 2007; Herrick et Jones 2002; Whalley et al. 2005). Tuto metodu ve výzkumu sedimentů dna vodních toků použilo pouze několik autorů (Geist et Auerswald 2007; Johnson et Brown 2000). Penetrometrie ve vodních tocích nám umožňuje zjistit míru propojení mezi volně tekoucí vodou a hyporeálem. Nízké naměřené hodnoty představují nezpevněný jemný sediment, zatímco vysoké naměřené hodnoty mohou být způsobené buď ucpáním intersticiálních prostor jemným sedimentem, nebo hrubým substrátem (Geist et Auerswald 2007). Právě ucpání intersticiálních prostor jemným sedimentem představuje největší riziko pro organismy žijící ve dně. Tímto je znemožněna výměna vody mezi povrchovým tokem a hyporeálem, což má velmi neblahý vliv na okysličení dna (Veličkonić 2005).

Penetrometr je zařízení, které měří sílu potřebnou pro jeho proniknutí do podloží (Davidson 1965). Penetrometry je možné rozdělit na statické a dynamické. Rozdíl spočívá v tom, že u statických penetrometrů na něj obsluha tlačí shora a u dynamických penetrometrů je jejich zasouvání do substrátu způsobeno spouštěním kladiva z předem definované výšky (obr. 3). Pro použitelnost penetrometru napříč sedimenty s různým penetračním odporem je možné používat hroty o různé velikosti.

Hroty s velkým průměrem se používají pro velmi měkké sedimenty a naopak (Eijkelkamp 2019; Geist et Auerswald 2007). Při měření dochází k opotřebování hrotů, a proto je nutné pravidelně kontrolovat jejich plochu. Pokud dojde ke snížení plochy o 5 % je doporučena jejich výměna, aby byla zachována přesnost měření (průměrná odchylka měření u penetrometrů se pohybuje kolem 8 %) (Eijkelkamp 2019).



Obr. 3 Statický a dynamický penetrometr, zdroj: (Anonym (2012); Vanags et al. (2004)), upraveno.

Další možností, jak měřit penetrační odpor sedimentů, je za využití penetrologerů. Jedná se o přístroj, který je konstrukčně velmi podobný penetrometru, ale má navíc hloubkoměr a záznamové zařízení. Při měření penetrologerem dochází ke kontinuálnímu záznamu hloubky a penetračního odporu. Následně je možné ze zaznamenaných dat vyhotovit penetrogram (graf závislosti penetračního odporu a hloubky) (Bouteldja et al. 2011). Penetrologery se oproti penetrometrům vyznačují vyšší přesností měření (chyba měření okolo 1 %), vyšší hmotností a pořizovacími náklady (Eijkelkamp 2012).

3.2.2 Rozpuštěný kyslík

Kyslík je nejdůležitějším plynem, neboť je nezbytný pro aerobní dýchání a reguluje redoxní potenciál vody a sedimentů. Kyslík ve vzduchu, který je v kontaktu s vodou, bude vnikat do vody, dokud nedojde k vyrovnání parciálních tlaků kyslíku ve vodě a ve vzduchu. V momentě, kdy dojde k této rovnováze, tak tento stav nazýváme, že je voda nasycena kyslíkem. Rozpustnost plynu ve vodě závisí na následujících faktorech: charakteru plynu, parciálním tlaku plynu a teplotě vody (Boyd 2000;

Marzadri et al. 2013). Koncentrace rozpuštěného kyslíku má tendenci směřovat k rovnovážnému stavu, ale rovnováhy dosáhne málokdy. To je způsobeno chemickými, fyzikálními a biologickými faktory. Mezi biologické faktory je možné zařadit fotosyntézu (koncentraci rozpuštěného kyslíku zvyšuje) makrofyt a dýchání (koncentraci rozpuštěného kyslíku snižuje) všech vodních organismů (Boyd 2000).

Jestliže koncentrace rozpuštěného kyslíku je nízká, nebo kyslík zcela chybí, tak dochází k anaerobnímu rozkladu organického materiálu, přičemž vznikají redukované látky, např. amoniak a sirovodík. Tato skutečnost má často velmi negativní důsledky, neboť organismy se musí potýkat nejen s nedostatkem kyslíku, ale i toxickými látkami (Boyd 2000; Černá et al. 2018).

Pro určení koncentrace rozpuštěného kyslíku ve vodě se dříve využívala laboratorní metoda Winklerova titrace. Největší limitace této metody spočívá v manipulaci se vzorkem, neboť je nezbytně nutné zabránit vstupu či ztrátě kyslíku ze vzorku (Winkler 1888). Winklerova titrace byla např. využita ve švédské studii při zjišťování parametrů intersticiální vody mikrohabitatů juvenilních perlorodek (Englund et al. 2008). V současné době dochází ve velké míře k nahrazení této metody měřicími přístroji, které je možné využívat v terénu.

Pro měření obsahu rozpuštěného kyslíku v hyporeálové vodě je možné využít optických senzorů, které se připojují k oximetrům. Před samotným měřením je nejdříve nutné odebrat vzorek vody, např. dle (Černá et al. 2018). Při optickém měření nedochází ve vzorku k žádným chemickým reakcím. V měřicí membráně dochází dopadem světla na speciální látku k fluorescenci, která se při přítomnosti kyslíku charakteristicky mění. Na základě této změny přístroj vyhodnotí obsah rozpuštěného kyslíku ve vodě (WTW 2008).

Další možností, jak měřit obsah rozpuštěného kyslíku v hyporeálové vodě, je za využití kontinuálních kyslíkových sond. Tyto sondy umožňují provádět měření v dlouhém časovém úseku. Obsah kyslíku je zde opět měřen pomocí optického senzoru (Onset 2019b). Tyto sondy mohou být dlouhodobě umístěny přímo v měřeném prostředí, například v hyporeálu.

Parametr	FDO 925 (WTW 2010)	HOBO U26-001 (Onset 2019b)
Rozsah měření	0-20 mg/l	0-30 mg/l
Přesnost měření	0,2	0,2 mg do 8 mg; 0,5 mg od 8-20 mg/l
Délka odezvy	Na 90 % < 30 s	Na 90 % < 2 min
Max hloubka ponoření	100 m	100 m
Teplotní rozsah	0-50°C	> 0°C
Paměť na záznamy	-	21700

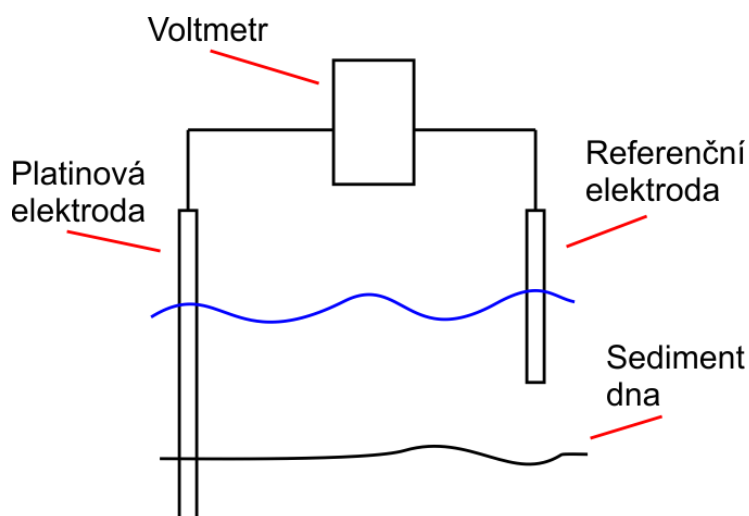
Tab. 1 Porovnání parametrů přípojných a kontinuálních sondy.

3.2.3 Redoxní potenciál

Redoxní potenciál je mírou dostupnosti elektronů a je výsledkem pohybu elektronů mezi oxidovanou a redukovanou látkou. Hodnota redoxního potenciálu určuje pravděpodobnost přijetí nebo ztráty elektronu a na základě toho je možné určit charakter prostředí. Tedy, zda se jedná o prostředí aerobní, nebo anaerobní (Vepraskas 2002).

Pro měření redoxního potenciálu je nutné mít (obr. 4) (Vepraskas 2002):

- platinovou elektrodu,
- referenční elektrodu,
- voltmetr.



Obr 4 Schéma měření redoxního potenciálu, zdroj: vlastní zhotovení.

Platinová elektroda se skládá z malého kousku platinového drátu, který je připojen k vodiči z jiného kovu. Platina vede elektrony ze sedimentu do vodiče, ke kterému je připojena. Následně je platinová špička s vodičem vložena do plastové trubičky, kde je zalitá epoxidovou pryskyřicí. V měrných elektrodách se platina využívá, neboť se jedná o inertní kov, tedy neuvolňuje své vlastní elektrony. Kdyby byla použita ocelová elektroda, tak by docházelo k její oxidaci a uvolňování jejích elektronů, což by zkreslilo naměřené hodnoty voltmetrem (Hargrave 1972; Vepraskas 2002; Wafer et al. 2004).

Referenční elektroda poskytuje standardní redoxní reakci a je schopna přijímat nebo poskytovat elektrony. Používají se dva typy referenčních elektrod – argentchloridová elektroda (Ag/AgCl) a kalomelová elektroda (Hg, Hg₂Cl₂/KCl) (Skopalová et al. 2008; Vepraskas 2002).

Po naměření hodnot v terénu je nutné provést korekci na další druh referenční elektrody – standardní vodíkovou elektrodu. Ta v terénu nelze použít, a proto se naměřené napětí přepočítává (viz. tab. 2), neboť interpretace redoxního potenciálu je založena právě na standardní vodíkové elektrodě (Geist et Auerswald 2007; Vepraskas 2002).

Referenční elektroda	Korekce dle Vepraskas (2002)	Hargrave (1972)
Argentchloridová	+200 mV	-
Kalomelová	+250 mV	+256 mV

Tab. 2 Korekční hodnoty na standardní vodíkovou elektrodu dle různých autorů.

3.2.4 Teplota

Rozdíly teplot mezi podzemní vodou a povrchovou vodou mohou být použité k zjištění míst, kde dochází k downwellingu nebo upwellingu (Irvine et Lautz 2015; Kurylyk et al. 2017; Rau et al. 2014). Teplota spodní vody je relativně stálá během roku. Naproti tomu u povrchové vody dochází k výraznějším fluktuacím teplot jak během dne, tak i v průběhu roku. Tudiž místa, kde dochází k vynořování podpovrchové vody, jsou charakteristická stabilnější teplotou. Zatímco pro místa, kde se zanořuje povrchová voda, je typická vyšší proměnlivost teplot (Winter et al. 1999). Dlouhodobé měření teplot v mělkém hyporeálu nám tedy umožňuje získat informace o tom, kde se vynořuje hyporeálová voda, resp. zanořuje voda povrchová (Constantz 1998; Constantz et Stonestorm 2003; Irvine et al. 2017; Irvine et Lautz 2015).

3.2.5 Konduktivita

Konduktivita (měrná vodivost) představuje koncentraci iontů v měřeném roztoku. Čím více iontů se v roztoku nachází, tím vyšší je jeho koncentrace (WTW 2008).

Měrná vodivost se zjišťuje měřením elektrochemického odporu. K měření se využívá tzv. cela, která obsahuje dvě stejné elektrody. Střídavé napětí na elektrodách způsobí pohyb iontů obsažených v roztoku. Čím více je přítomných iontů tím silnější proud protéká mezi elektrodami. Přístroj nejdříve vypočte vodivost měřeného roztoku a po zohlednění všech parametrů vypočte hodnotu konduktivity (WTW 2008).

Obdobně jako u měření obsahu rozpuštěného kyslíku je i zde možné využít metody *in situ* a *ex situ*, kontinuálních sond a měření pomocí sond s multimetrem (Onset 2019a; WTW 2008).

3.3 Perlorodka říční (*Margaritifera margaritifera*)

3.3.1 Systematické zařazení

Systematické zařazení perlorodky říční

- Kmen: *Mollusca* (měkkýši)
- Třída: *Bivalvia* (mlži)
- Podtřída: *Eulamellibranchiata* (listožábří)
- Řád: *Unionoida*
- Čeleď: *Margaritiferidae* (perlorodkovití)
- Rod: *Margaritifera* (perlorodka)
- Druh: *Margaritifera margaritifera* (perlorodka říční)

3.3.2 Popis druhu

Perlorodka říční je sladkovodní mlž protáhlého ledvinovitého tvaru. Lastury dospělých jedinců dosahuje délky 130 mm, šířky 61 mm a výšky 40 mm (Ložek 1956). Bauer (1992) uvádí, že velikost lastury a délka života jedinců je velmi závislá na zeměpisné šířce a dalších faktorech prostředí. U mladých jedinců je lastura tmavě hnědá (obr. 5), v dospělosti téměř černá a s minimálním leskem. Jedná se o tlustostěnné a těžké schránky, jež jsou spojeny silným vazem. Významným znakem je vždy konkávní spodní okraj lastury. Zámek se vyznačuje tupými zámkovými zuby a zámkovou lištou, která se dozadu rozšiřuje (Ložek 1956).



Obr. 5 Perlorodka říční ve svém habitatu, juvenilní jedinec fotografie: Ondřej Simon.

3.3.3 Životní cyklus perlorodky říční

Perlorodka říční je dlouhověký mlž, jehož rozmnožovací cyklus je velmi složitý. Za běžných podmínek jsou perlorodky odděleného pohlaví, ale v případě nízké populační hustoty dochází k tomu, že samice mohou být hermafroditní (Bauer 1987).

Rozmnožování nastává na začátku léta, kdy samci vypouští volně do vody velké množství spermií, které samice nasávají z vody a dochází k oplození vajíček. Po oplození nastává inkubační doba, dlouhá několik týdnů, po jejímž ukončení vypouštějí samičky volně do vody larvy, zvané glochidie, do vody (Hastie 1999). Jsou vypouštěny larvy o velikosti 0,04-0,08 mm a v obrovském množství (jedná se až o miliony na jednu samici) (Buddensiek 1991). K vypouštění glochidií dochází ke konci léta a je závislé na teplotě v předchozích měsících. Vypuštěné glochidie jsou unášené proudem vody a čekají na vhodného hostitele (Young et Williams 1984).

V tuto chvíli nastává kritická fáze, neboť larvy ve volné vodě přežijí přibližně 6 dnů a během této doby je nutné, aby došlo k uchycení na hostitelskou rybu. Během této fáze dochází k vysoké úmrtnosti vypuštěných larev (AOPKČR 2013; Bauer 1988). Bauer (1992) udává, že pouze 10 larev z milionu se dostane na žábra vhodného hostitele. Zatímco Buddensiek (1995) uvádí, že přežije 1 % glochidií. Po uchycení na žábřách hostitele se vytvoří cysta, ve které započne metamorfóza na juvenilního jedince, která trvá několik měsíců a její délka opět závisí na teplotě (AOPKČR 2013). Poté, co juvenilní perlorodka doroste velikosti cca 0,4 mm, aktivně prořízne cystu a juvenilního jedince vypadne na dno (Young et Williams 1984).

V okamžik vypadnutí juvenilní perlorodky nastává druhá kritická fáze. Mladí jedinci jsou velmi citliví a mají velmi vysoké nároky na kvalitu a stabilitu prostředí a potravy. Jestliže tyto potřeby nejsou naplněny, dochází k jejich úhynu (AOPKČR 2013). Pomocí svalnaté nohy se mladé perlorodky zahrabou do substrátu dna (Buddensiek 1995). Zde žijí prvních několik let. Ve věku 15-20 let začínají postupně vystupovat na povrch dna (Vaníčková et al. 2014; Young et Williams 1984).

3.3.4 Nároky na prostředí a ohrožení

Perlorodka říční obývá chladné a oligotrofní (na živiny chudé) potoky a menší řeky v oblastech, které nejsou tvořené vápennými horninami, neboť nesnáší vysoký obsah vápníku, železa a huminových látek (Ložek 1956). Perlorodka je závislá, na

vysoké kvalitě vody volně proudící v řece (např. tab. 3) a procesech probíhajících v povodí, ve všech svých vývojových fázích (Vaníčková a kol. 2014).

Parametr	Bauer (1988)	Absolón a Hruška (1999)	Degerman a kol (2009)
Dusičnany	< 0,5 mg/l	-	< 125 µg/l (med)
Amoniak	-	< 0,1	-
Fosforečnany	< 30 µg/l		-
Celkový fosfor	-	< 20-35 µg/l	< 5-15 µg/l (prům)
pH	-	6-7,1	>= 6,2 (min)
Konduktivita	< 70 µS/cm	50-80 µS/cm	-
Teplota	-	-	< 25°C (max)

Tab. 3 Přehled vybraných nároků na prostředí podle různých autorů.

Nároky na detail mikrohabitatů dna nejsou dosud detailně popsány. Pilotní studie (Geist et Auerswald 2007) poukázala zejména při porovnání různých úspěšně se rozmnožujících evropských populací na důležitost faktorů jako je zejména množství jemných sedimentů, protože tyto negativně působí na výměnu vody mezi povrchovým tokem a hyporeálem. To se projevuje naměřením vysokých rozdílů redoxních hodnot mezi volně tekoucí vodou a intersticiálními prostory.

Skandinávské příznivé biotopy charakterizuje (Degerman et al. 2009) zejména jako zalesněné horní části povodí vodních toků, jenž jsou charakteristické větším sklonem, a tedy rychlejším prouděním a nižší sedimentací. Dalšími nezbytnými charakteristikami těchto biotopů je: dostatečně okysličená voda a hyporeál, stabilní teplota a průtok.

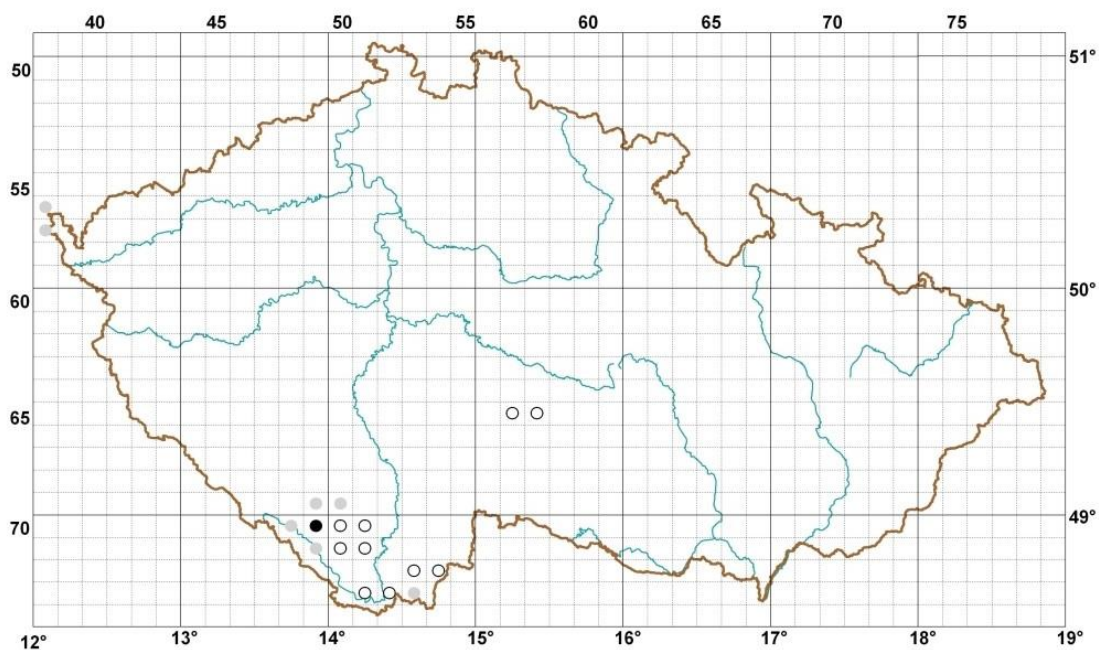
Práce z Britských ostrovů uvádějí, že ve svém biotopu perlorodka vyžaduje stabilní dno složené z valounů a štěrkopísku s minimem jemného sedimentu. Dospělci jsou z velké části zahrábáni ve dně, nade dno je vysunuta obvykle čtvrtina až polovina délky lastury. Juvenilní jedinci tráví průměrně prvních 5-10 let kompletně zahrábáni ve dně. V místech, kde je minimum jemného sedimentu, je umožněna výměna vody mezi povrchovým tokem a hyporeálem. Tato výměna vody zabezpečuje dostatečné okysličení dna, což je základní podmínkou pro přežití mladých jedinců (Moorkens a kol. 2017).

Chemické složení pórové vody dna v biotopech příznivých pro perlorodku je velmi špatně prozkoumáno. Geist et Auerswald (2007) poukazuje zejména na důležitost malého rozdílu redoxního potenciálu vody intersticiálních prostor od vody volně proudící nade dnem. Pilotní práce využívající přímé měření kyslíku v mělkém hyporeálu (Černá et al. 2018) dokladuje výrazné zvýšení úmrtnosti a snížený růst při poklesu saturace kyslíkem pod 65 %. Analogické práce zaměřené na jiné mlže žijící v mělkém hyporeálu dochází k závěru, že významnější stresový faktor je nízká koncentrace kyslíku než zvýšené koncentrace amoniaku (Roley et Tank 2016). Detailní studie zohledňující časovou a prostorovou variabilitu dosud chybí.

Nejvýznamnějším ohrožením perlorodek v minulosti byl lov perel. Dnes je na ústupu zejména kvůli úbytku vhodných habitatů, který je způsobený především eutrofizací tekoucích vod. Hrozbu představuje degradace přilehlých suchozemských systémů, což se může negativně projevit na teplotním, splaveninovém a vodním režimu. Rizika spočívají též v používání pesticidů, hnojení, pastvě zvířat, přeměně přilehlých ploch na zemědělské atd. (Moorkens et al. 2017; Vaničková et al. 2014). Negativně působí i úpravy koryta vodních toků. Vznik příčných překážek, např. jezy a přehrad, představují migrační bariéry pro hostitelské druhy a ovlivňují procesy v hyporeálu (Boulton et al. 1998).

3.3.5 Rozšíření a ochrana

Jedná se o rod s holarktickým rozšířením, vyskytuje se v severní a západní Evropě s přesahem do severní Afriky, východní Sibíři a Severní Americe. Vlastní druh perlorodka říční obývá areál zahrnující východ Severní Ameriky a Evropu (Bolotov et al. 2016; Lopes-Lima et al. 2016). Areál perlorodky je nesouvislý a na rozsáhlých územích chybí (Ložek 1956; Moorkens et al. 2017). Na našem území se perlorodka vyskytovala v povodí Labe a okrajově i Odry. V současnosti se u nás vyskytuje pouze na několika málo lokalitách (obr. 6). Těžiště výskytu se nyní nachází v Jihočeském kraji v povodí Vltavy, Blanice a Zlatého potoka. Jedince je také možné nalézt na řece Malši, jenž tvoří hranici mezi Českou republikou a Rakouskem (Matasová et al. 2013; Simon et al. 2015a; Vaničková et al. 2014).

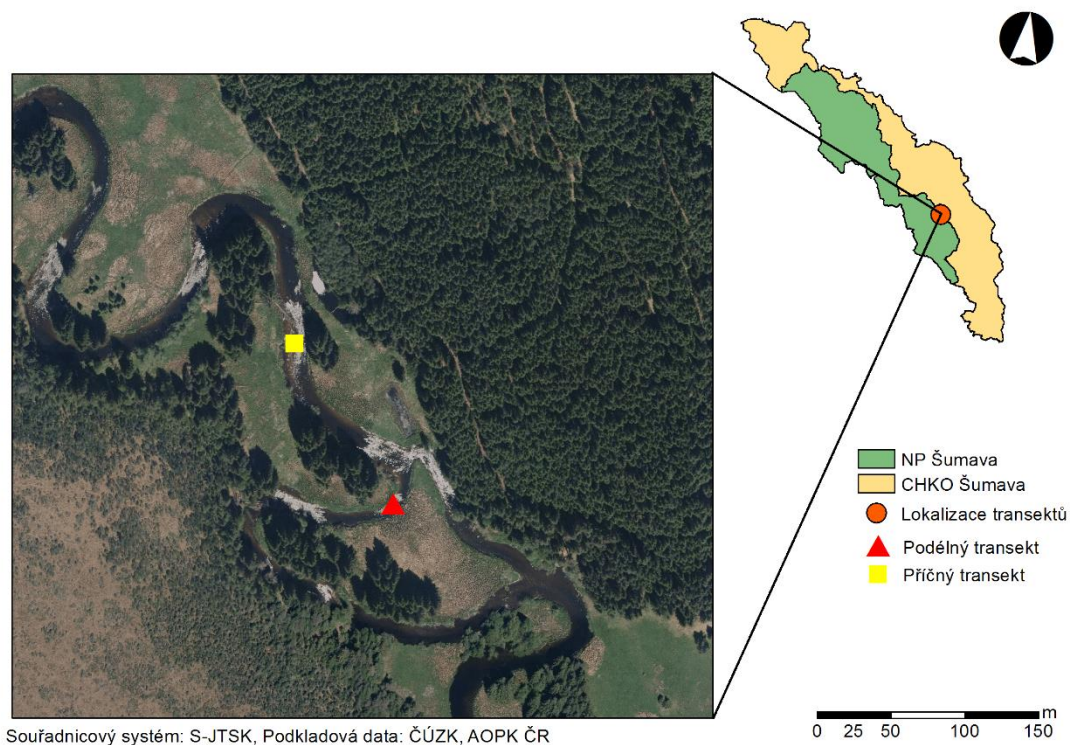


Obr. 6 Rozšíření perlorodky říční v České republice, zdroj: AOPK ČR (2006).

Perlorodka říční je dle zákona 114/1992 Sb., o ochraně přírody a krajiny, a Přílohy č. III prováděcí vyhlášky 395/1992 Sb. je zařazena mezi kriticky ohrožený druh a vztahuje se na ni zvláštní druhová ochrana. Dle Červeného seznamu ohrožených druhů České republiky bezobratlých je perlorodka rovněž v kategorii kriticky ohrožených druhů (Hejda et al. 2017). Podle celosvětového Červeného seznamu se řadí do kategorie ohrožených druhů (Moorkens a kol. 2017). Dále je perlorodka říční uvedena, jako chráněný druh, v příloze III Bernské úmluvy a je též chráněna dle evropské směrnice o stanovištích (přílohy II a III). V Evropě byl přijat Akční plán pro perlorodku říční (Araujo et Ramos 2001). V České republice, od roku 2013, probíhá třetí etapa záchranného programu (první etapa od roku 1993, druhá etapa od roku 2000) (AOPKČR 2013).

Perlorodka říční je považována za mimořádný příklad druhu splňujícího současně charakteristiky indikátorového, klíčového i vlajkového druhu (Geist 2010; Geist 2011; Kalinkat et al. 2016).

4 Zájmová lokalita



Obr. 7 Umístění zájmové lokality v rámci NP Šumava, lokalizace příčného a podélného transektu, fotografie transektů v příloze 1 a 2, zdroj: ČÚZK, AOPK ČR.

Zájmová lokalita na Teplé Vltavě se nachází v Jihočeském kraji u města Volary v NP Šumava (obr. 7). Tato oblast je charakteristická malým sklonem a nízkou výškovou členitostí. Z hlediska geomorfologického zařazení se jedná o podcelek Vltavická brázda (Demek 1987).

V geologickém podloží dominují granity, granodiority a diority. Říční niva je tvořena především z hlíny, písku a štěrku (ČGS 1998; Demek 1987; Simon et al. 2015b).

Samotné koryto se vyznačuje malým spádem a místy je široké okolo 15 m. Řeka zde tedy teče pomaleji, tvoří meandry, slepá ramena a tůně. Rychlejší proudění je pouze v peřejnatých úsecích. Dno je tvořeno zejména štěrkopískovými až kamenitými úseky a v proudových stínech dochází ke vzniku pískových lavic (Kladivová 2010).

Chemismus volně tekoucí vody v řece je popsán v článku Černá et al. (2018). Tento konkrétní úsek byl vybrán především proto, že se zde přirozeně vyskytuje zbytková populace perlorodky říční včetně malého počtu subadultních jedinců.

5 Metodika

Před začátkem prací byla vždy dotčená oblast dna zkontrolována na přítomnost perlorodek. Následně byly vytyčeny 2 transekty – příčný a podélný (umístění transektů obr. 7). Oba transekty byly vytyčeny tak (příloha 1 a 2), aby byla pokryta variabilita substrátu dna a různé hloubky volně tekoucí vody. Měření parametrů hyporeálu bylo prováděno po 0,5 m tak, že na dno byl umístěn rámeček 30 x 30 cm a uvnitř něho byla provedena veškerá měření.

5.1 Příčný transekt

Příčný transekt byl vytyčen v místě, kde koryto řeky bylo 14 m široké, a tedy následující parametry dna byly zjišťovány na 28 místech.

5.1.1 Penetrační odpor dna

Penetrační odpor byl měřen ručním statickým penetrometrem ve třech hloubkách (3 cm, 13 cm a 23 cm). Všechny hloubky byly měřeny v jednom bodě postupným zasouváním penetrometru do dna. Metoda byla upravena podle (Geist et Auerswald 2007) a nepublikovaných postupů (Jahelková a kol. nepublikováno). Více o měření penetrometrem v kapitole 1.2.1.

5.1.2 Konduktivita, rozpuštěný kyslík, metodický pokus

K měření konduktivity a obsahu kyslíku v hyporeálové vodě byl využit multimetr WTW. Vzorky vody pro měření těchto parametrů byly odebírány z hyporeálu z hloubek 3 cm a 13 cm. Z každého místa a každé hloubky byly odebrány dva vzorky hyporeálové vody po 10 ml a naměřené hodnoty byly zaznamenány. Prvních 10 ml bylo určeno k propláchnutí celého systému (trubička, hadička, stříkačka/měrná nádoba) a zamezení prevence kontaminace povrchovou říční vodou. Pro následující vyhodnocení byly použity vždy naměřené hodnoty z druhého vzorku. Oba dva vzorky byly využity pro metodické měření.

V každém odebraném vzorku hyporeálové vody se nejdříve měřila konduktivita (rychlá odezva sondy) a následně obsah kyslíku (pomalá odezva sondy).

Postup odebírání vzorků hyporeálové vody

K odebírání vzorků vody byla využita PVC trubička o délce 30 cm, napojena k flexibilní hadičce se škrůtkem a ke stříkačce, která se používala k vytvoření podtlaku

a odebrání vzorku intersticiální vody. Trubička byla označena barevnými pruhy pro odebírání vzorků z 3 cm a 13 cm (příklad odběru vzorku vody v příloze 3).

Při odebírání vzorků vody z 13 cm bylo nutné nejprve využít ocelovou raznici, která umožnila umístění PVC trubičky do požadované hloubky. Raznice se skládá z vnitřní tyčky, kterou je možné vložit do vnější trubičky, kde má minimální vůli. Celá raznice je zasunuta či zatlučena do požadované hloubky a následně dojde k nahrazení vnitřní tyčky PVC trubičkou. Dále je nutné odstranit vnější část raznice, čímž dojde k sesypání sedimentu dna k plastové trubičce a tím se zamezí kontaminaci hyporeálové vody vodou povrchovou.

Vždy po odebrání prvních 10 ml vody bylo nejdříve uzavřeno škrtko na hadičce a poté byla stříkačka odpojena a vzorek vody byl přemístěn do nádoby, kde se měřila nejprve konduktivita a následně obsah kyslíku.

Měření obsahu rozpuštěného kyslíku bylo prováděno tak, aby měřený vzorek nebyl v kontaktu se vzduchem. Toho bylo docíleno tak, že na kyslíkovou sondu byl umístěn gumový o-kroužek, který měl větší průměr než polyethylenová nádoba, ve které se měření provádělo. Dále bylo nutné z nádoby vytlačit veškeré vniklé bubliny vzduchu otevřením uzávěru a zatlačením na kyslíkovou sondu. Doba, kdy byla hladina vzorku v kontaktu se vzduchem se tak omezila vždy na méně než 2 minuty (pouze na měření konduktivity). Výsledky metodického měření viz. kap. 6.1.

Všechny naměřené hodnoty byly odečteny po ustálení. Při měření konduktivity k němu docházelo v řádu sekund. Kyslíková sonda se za určitých okolností ustalovala více než 5 minut. Byla proto vždy uchovávána ve vzorku a pouze rychle přesunuta do vzorku nového, tak aby doba, kdy je sonda na vzduchu v kyslíkem bohatém prostředí zkrácena na minimum.

Konstrukce raznice byla přejata od Bílého (ústní sdělení), ostatní postupy jsou originální.

5.2 Podélný transekt

Podélný transekt byl 14,5 m dlouhý, čímž vzniklo 29 míst, kde se zjišťovaly následující parametry mělkého hyporeálu.

5.2.1 Penetrační odpor dna

U podélného transektu se penetrační odpor měřil v hloubkách 3 cm a 13 cm a pokaždé bylo provedeno 7 opakování v každém čtverci. Více o měření penetrometrem v kapitole 1.2.1.

5.2.2 Obsah rozpuštěného kyslíku

Obsah rozpuštěného kyslíku se měřil pouze ve vzorcích z hloubky 3 cm. Způsob odběru byl stejný jako v kapitole 3.1.2.

5.2.3 Redoxní potenciál

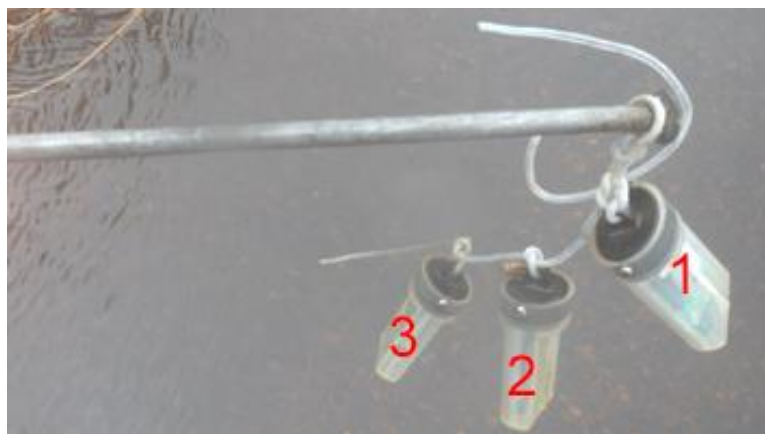
K měření redoxního potenciálu byla využita kusově vyrobená platinová zapichovací redox sonda. Elektrický potenciál mezi Pt sondou a referenční Ag/AgCl byl měřen ručním voltmetrem WTW (tj. redoxní potenciál byl zjišťován mezi hyporeálem a volně tekoucí vodou).

Redoxní potenciál se měřil v hloubce 3 cm a bylo provedeno vždy 7 opakování. Při každém opakování byla Pt sonda umístěna v hyporeálu po dobu 1 minuty a následně byla odečtena naměřená hodnota. Na ustálení hodnoty se nečekalo, neboť nejvýraznější změny nastaly právě do jedné minuty.

První měření redoxního potenciálu proběhlo 26.10.2018 a 27.10.2018 a opakované měření proběhlo 16.11.2018 a 17.11.2018.

5.2.4 Teploměry

Ke zjištění tepelného gradientu bylo do hyporeálu umístěno 29 sad teploměrů HOBO fy Onset. Každá sada se skládala z 20 cm dlouhého hřebíku, na který byly ocelovým lankem instalovány 3 teploměry. První teploměr měřil teplotu hyporeálu ve 13 cm, druhý teploměr měřil teplotu ve 3 cm a třetí teploměr měřil teplotu volné vody – tedy byl nad povrchem dna (př. sady teploměrů na obr. 8, sada teploměrů umístěná ve dně – příloha 4). Teploměry kromě teploty zaznamenávají také data o osvitě slunečním zářením v Luxech, což lze využít pro kontrolu pozice teploměru pode dnem v průběhu celé expozice.



Obr. 8 Sada teploměrů vytažená ze dna, č. 1 – 13 cm, č. 2 – 3 cm, č. 3 – volná voda, hřebík zcela bez stop rzi, příklad hřebíku se rzí v příloze 5, zdroj: vlastní fotografie.

Každá sada teploměrů byla do dna instalována pomocí úderů kladiva do ocelové tyče umístěné na hlavičce hřebíku. Jednalo se o nejšetrnější způsob umístění teploměrů do dna koryta. Pokud to bylo nutné, byl substrát před vlastní instalací rozvolněn pomocí zapíchnutí zahradní lopatky a mírným páčením do stran.

Teploměry byly umístěny do dna 26.10.2018 a vyjmuty 6.12.2018. Každý teploměr zaznamenal naměřené teploty v hodinovém kroku. Naměřené hodnoty byly z teploměrů staženy pomocí čtecí hlavičky připojené k PC a exportovány programem HOBOWare do formátu csv.

Metoda měření pomocí tří záznamových teploměrů na hřebíku byla přejata od týmu pracujícího na Malši (Simon, Ryšavý a Jahelková, nepublikováno). Tyto sady teploměrů bylo možné využít kromě měření teploty také ke zjištění přítomnosti/nepřítomnosti kyslíku v hyporeálu ve větší hloubce. V případě oxického prostředí byl hřebík pokrytý vrstvou rzi a naopak. Data je možné vyhodnotit binárně (nerezavý/rezavý) anebo se zachycením mikrogradientu (délka rezavé části měřeno od hlavičky hřebíku). Druhý případ byl dále použit jako informace o kyslíkových poměrech v hloubce 13–33 cm pod povrchem dna.

5.2.5 Znázornění a vyhodnocení dat

Porovnání prvního a druhého vzorku hyporeálové vody

Porovnání naměřených hodnot obsahu rozpuštěného kyslíku a konduktivity v prvním vzorku 10 ml hyporeálové vody a druhém vzorku 10 ml hyporeálové vody (v obou hloubkách, tj. 3 cm a 13 cm) bylo provedeno v programu RStudio. Za dodržení předpokladu normality dat byl použit párový t-test, v opačném případě byl využit párový Wilcoxonův test. Normalita dat se ověřovala Shapiro-Wilkovým testem.

Penetrační odpor dna, redoxní potenciál, rozpuštěný kyslík, konduktivita

Podélný transekt

U opakovaných měření (penetrační odpor dna, redoxní potenciál) se naměřené hodnoty v jednom čtverci vždy zprůměrovaly. Detailnější pohled na data pak dávají krabicové grafy uvedené v příloze (příloha 7 a 8). K zjištění závislosti jednotlivých parametrů byla využita korelační analýza. Při splnění předpokladu týkajícího se normality dat se využil Pearsonova korelačního koeficientu, jinak byl použit Spearmanův korelační koeficient. Normalita dat se ověřovala Shapiro-Wilkovým testem.

Tyto chemicko-fyzikální parametry hyporeálu byly následně zobrazeny v kombinovaných grafech.

Příčný transekt

Příčný transekt byl zobrazen a vyhodnocen stejně jako podélný s tím rozdílem, že se zde neměřil redoxní potenciál a penetrační odpor se měřil v každém čtverci pouze v jednom bodě. A navíc zde byla měřena konduktivita intersticiální vody a volné vody.

Teplotní data

Ověření teplotních dat

Nejprve je nutné ověřit, zda naměřené teploty odpovídají hloubkám, do kterých teploměry byly umístěny, neboť během jejich expozice v/na povrchu dna může dojít k jejich zahrabání, nebo vyhrabání volně tekoucí vodou.

Ověření je možné provést za využití fotografií, které byly pořízené před vytažením teploměrů ze dna a dat ze samotných teploměrů. Teploměry kromě teploty zaznamenávají také data o osvitě slunečním zářením.

V případě vyhrabání/zahrabání 1 teploměru z/do sedimentu dojde v dané sadě teploměrů k změně hloubky umístění (kategorie) teploměrů (přehled v tabulce 4).

Typ změny	Pozice teploměrů při instalaci	Pozice teploměrů po ověření dat
Beze změny	Volná voda	Volná voda
	3 cm	3 cm
	13 cm	13 cm
Vyhrabání 1 teploměru	Volná voda	Zánik této kategorie
	3 cm	Volná voda
	13 cm	3 cm
Zahrabání 1 teploměru	Volná voda	3 cm
	3 cm	13 cm
	13 cm	23 cm

Tab. 4 Přehled změn hloubek při zahrabání/vyhrabání teploměrů, příklad vyhrabaného teploměru v příloze 6.

Vyhodnocení a zobrazení teplotních dat

Pro vyhodnocení teplotních dat byla vytvořena referenční teplota volné vody, a to tím způsobem, že všechny naměřené teploty volné vody byly zobrazeny ve spojnicovém grafu. Ty datové řady, které obsahovaly ostré píky (dané přímým osvitem teploměru, př. v příloze 16) byly odstraněny a zbylé řady byly zprůměrovány.

Dále byly vypočteny rozdíly teplot mezi hloubkou 13 cm a referenční volnou vodou a mezi 3 cm a referenční volnou vodou. Přičemž nízká hodnota rozdílu vyjadřuje vnořování volné vody do sedimentu dna, a naopak vysoká hodnota rozdílu vyjadřuje vnořování spodní vody (v zimním období, v letním období naopak) (Grinsven 2010).

Pro hloubky 3 cm a 13 cm byl též vypočten variační koeficient (vzorec 1), který byl následně srovnán s variačním koeficientem referenční volné vody. Uvedené srovnání koeficientů ukazuje na míru ovlivnění jednotlivých hloubek povrchovou a podpovrchovou vodou (Grinsven 2010).

$$c_v = \frac{\sigma}{\mu}$$

Vzorec 1. Variační koeficient, σ – směrodatná odchylka, μ – střední hodnota

Z vypočtených hodnot byly sestaveny krabicové grafy (vypočtené rozdíly) a sloupcové grafy (variační koeficient) a následně byly tyto grafy mezi sebou porovnávány.

Naměřená teplotní data byla zobrazena pomocí prostorových grafů, neboť tyto datové řady vykazují jak časovou, tak i prostorovou variabilitu.

6 Výsledky

Celkově bylo roce 2018 instalováno 185 kontinuálních záznamových sond převážně do hyporeálového prostředí, získáno bylo přibližně 14015 sondo dní záznamu. Přehled dat a délky instalace ukazuje tabulka 5. Série měření z první poloviny roku byla využita především metodicky a datové sady nejsou v této práci podrobněji vyhodnoceny. Datové sady z povodí řeky Malše, na jejichž získání a vyhodnocení jsem se podílel jen částečně, jsou zde jen stručně prezentovány jako srovnávací datová sada.

Lokalita	Počet teploměrů	Expozice od	Expozice do	Počet záznamů
Hučina	3	19.1.2018	28.4.2018	7 146
Prameniště Říhovina	3	19.1.2018	9.5.2018	7 926
Studená Vltava	4	22.2.2018	9.5.2018	7 280
Teplá Vltava druhý meandr pod doberským žel. Mostem	3	20.1.2018	10.5.2018	7 992
Teplá Vltava Perlorodkový meandr	13	22.2.2018	9.5.2018	23 660
Volarský potok	9	22.2.2018	9.5.2018	16 380
Malše - Bifurkace	40	3.7.2018	20.10.2018	104 600
Malše - Dolní Příbrání	9	4.7.2018	10.10.2018	21 222
Malše - Cetviny	7	3.7.2018	10.10.2018	14 707
Blanice - Odchovna	7	22.2.2018	17.11.2018	44 800
Teplá Vltava - nátok Perlorodkového meandru	87	26.10.2018	6.12.2018	80 640
Suma	185	-	-	336 353

Tabulka 5 Přehled umístěných teploměrů a počtu naměřených hodnot v hodinovém kroku.

Ručním měřením parametrů v hyporeálu bylo získáno 1120 hodnot různých parametrů hyporeálového prostředí. Všechna měření i vyhodnocení jsem prováděl vlastnoručně, obvykle s jednou další osobou pro zápis naměřených hodnot.

6.1 Metodické porovnání prvního a druhého vzorku hyporeálové vody

Statisticky významný rozdíl mezi prvním a druhým odběrem vzorku vody byl zjištěn pouze u odběru ze 13 cm při měření konduktivity (u druhých vzorků byly naměřeny vyšší hodnoty než u prvního, viz tabulka 6). U zbylých měření nebyl rozdíl mezi prvním a druhým odběrem pozorován (vstupní data v příloze 9).

Z výše uvedeného vyplývá, že i nadále je vhodné pro měření parametrů intersticiální vody používat druhého odebraného vzorku.

	n	Shapiro-wilkův test p-hodnota	Wilcoxonův test p-hodnota	t-test p-hodnota
Con3	21	0,02779	0,3411	X
Con13	21	0,008092	0,02508	X
O ₂ 3	21	0,9992	X	0,8095
O ₂ 13	21	0,3523	X	0,3523

Tab. 6 P-hodnoty provedených testů, červeně jsou označené signifikantní hodnoty.

6.2 Metodický pokus ovlivnění koncentrace kyslíku

Byl proveden metodický pokus, aby byla zjištěna míra ovlivnění koncentrace kyslíku ve vzorku, během manipulace při měření. Tento pokus byl proveden tak, že byl odebrán vzorek hyporeálové vody, která byla umístěna do kádinky a byla v kontaktu se vzduchem (naměřené hodnoty v tab. 7).

Čas	15.21	15.22	15.23	15.24	15.25	15.26	15.31
Koncentrace kyslíku [%]	34,3	35,4	36,1	37,8	39,8	42,2	49,6

Tab. 7 Metodický pokus.

6.3 Příčný a podélný transekt

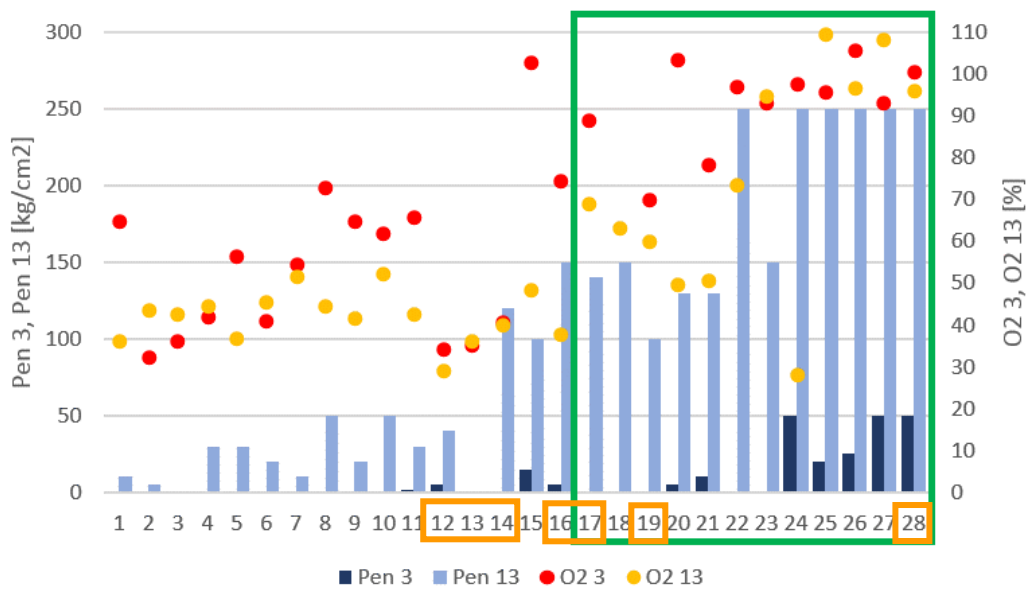
6.3.1 Příčný transekt

Měření v každém čtverci v příčném transektu trvalo průměrně 25 minut, přičemž nejvíce času bylo třeba na odebrání vzorků hyporeálové vody a měření obsahu rozpuštěného kyslíku.

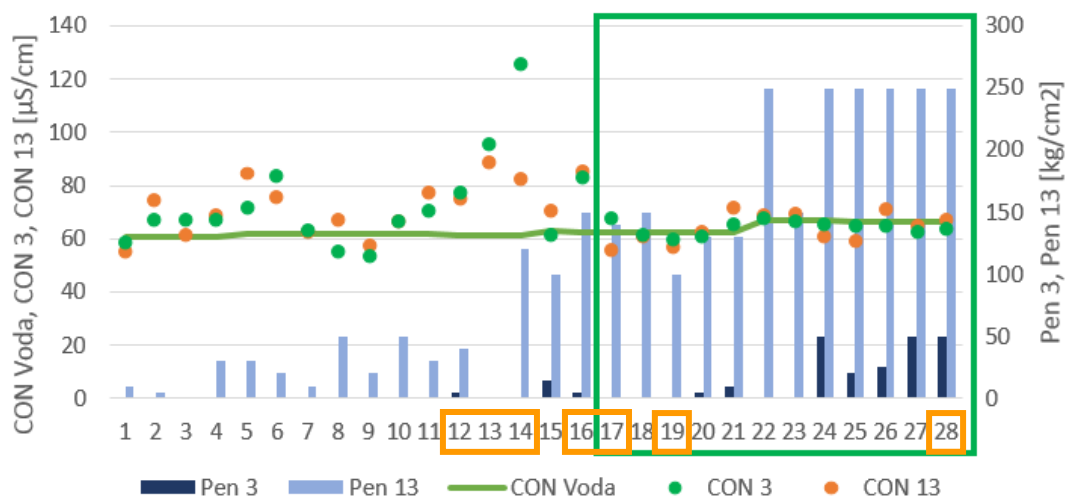
Naměřené hodnoty jsou zobrazeny na obrázcích 9 a 10 a jejich vzájemné závislosti byly zjištěny pomocí Spearmanova korelačního koeficientu (tab. 8). Z obrázků 9 a 10 plyne, že v levé polovině koryta vodního toku se nachází hrubší sediment dna, který umožňuje lepší propojení hyporeálu a povrchové vody. Toto se projevuje tím, že v těchto místech se zpravidla naměřila vyšší koncentrace rozpuštěného kyslíku v hyporeálu a hodnota konduktivity hyporeálové vody byla téměř totožná s konduktivitou vody povrchové.

	O ₂ 3	O ₂ 13	Pen 3	Pen 13
O ₂ 3	1			
O ₂ 13	0,5806187	1		
Pen 3	0,5492533	0,2071363	1	
Pen 13	0,8149806	0,5858491	0,6202098	1

Tab. 8 Spearmanovy korelační koeficienty.



Obr. 9 Grafické znázornění penetračního odporu a obsahu rozpuštěného kyslíku. Měření probíhalo od pravého břehu. Zelený rámeček značí místa, kde pravděpodobně dochází k downwellingu. Oranžové rámečky značí výskyt makrofyt.



Obr. 10 Vyobrazení penetračního odporu a konduktivity volné vody a hyporeálu. Měření probíhalo od pravého břehu. Zelený rámeček značí místa, kde pravděpodobně dochází k downwellingu. Oranžové rámečky značí výskyt makrofyt.

6.3.2 Podélný transekt

Na podélném transektu se měřil redoxní potenciál (poprvé 26.-27.10.2018 a podruhé 16.-17.11.2018), aby byla zjištěna jeho časová proměnlivost. Data v podobě krabicových grafů uvádí příloha 7 a 8. Další měřené parametry byly: penetrační odpor dna, obsah rozpuštěného kyslíku (+ rez na kotvících hřebících teploměřů) a teplota (vyhodnocení teplotních dat v samostatné kapitole 4.3, teploměry byly do dna umístěny 26.10.2018 a vyjmuty 6.12.2018).

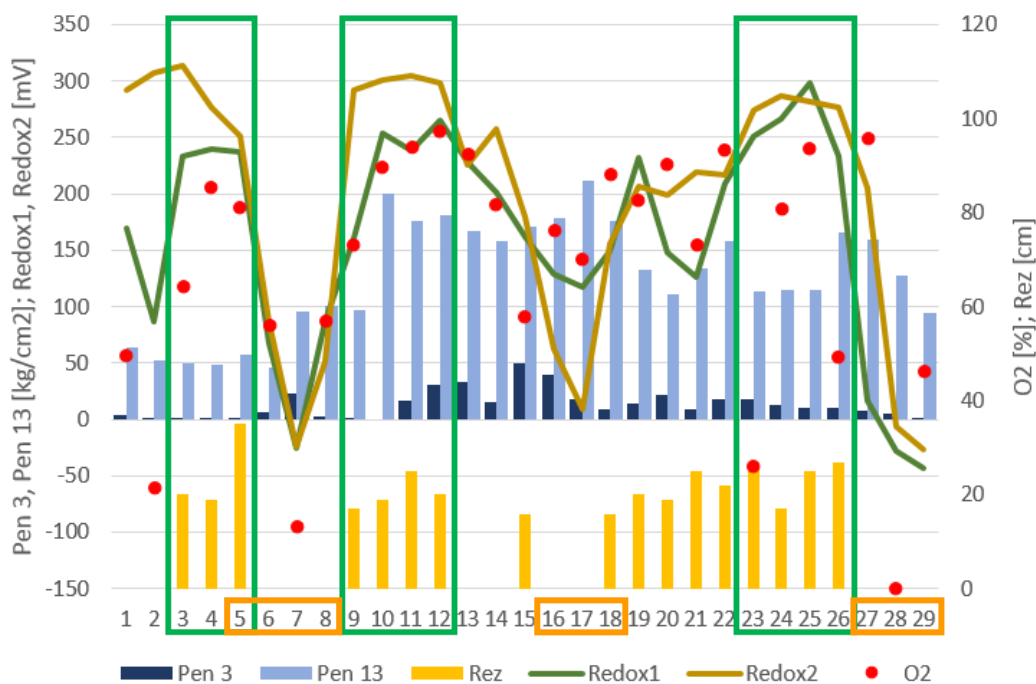
Všechny parametry dna na podélném transektu (kromě teplotních dat) jsou zobrazeny v obrázku 11 a jejich vzájemné vztahy jsou v tabulce 9 vyjádřeny pomocí Spearmanova korelačního koeficientu.

Rez na kotvících hřebících teploměřů indikuje přítomnost/nepřítomnost kyslíku za celé období umístění sad teploměřů (26.10.-6.12.2018). V případě, že na hřebíku se žádná rez nenachází, tak to vypovídá o tom, že v daném místě po celou dobu expozice panují anoxické podmínky. Pokud se na hřebíku rez objevila, tak víme, že v daném místě byly oxické podmínky buď po celou dobu expozice, anebo alespoň po kratší časový interval.

Obdobně jako u příčného transektu, tak i zde, kde byl naměřen vyšší penetrační odpor dna, tak byla často zjištěna vyšší hodnota koncentrace rozpuštěného kyslíku a posléze redoxního potenciálu. Místa, kde došlo k průniku vysokých hodnot redoxních potenciálů (u obou měření blízkých vodě proudící v řece), koncentrace rozpuštěného kyslíku a rezatých kotvících hřebíků, tak odpovídají místům, kde byl zjištěn downwelling pomocí naměřených teplotních dat (kapitola 4.3).

	Redox1	Redox2	O ₂ 3	Pen 3	Pen 13
Redox1	1				
Redox2	0,7077226	1			
O ₂ 3	0,4892228	0,2832512	1		
Pen 3	0,1021313	-0,2512934	0,232816	1	
Pen 13	0,1776737	-0,06455587	0,4585438	0,5242144	1

Tab. 9 Spearmanovy korelační koeficienty vybraných parametrů hyporeálu.



Obr. 11 Znáornění redoxních potenciálů, penetračního odporu, obsahu rozpuštěného kyslíku a zjištěné rzi na kotvících hřebících. Rez byla zjišťována v hloubce 15 cm + délka zobrazená v grafu. Zelenými rámečky jsou označena místa, kde dochází k downwellingu. Oranžové rámečky značí výskyt makrofyt.

6.3.3 Využití penetračního odporu a redoxního potenciálu k měření obsahu rozpuštěného kyslíku

Z našich výsledků plyne, že pro orientační zjištění obsahu rozpuštěného kyslíku v intersticiální vodě je možné využít *in situ* měření penetračního odporu sedimentu dna (tabulka 6 a 7, obrázek 9 a 11). Jedná se o velmi jednoduchou a rychlou metodu měření. Při naměření vyšší hodnoty penetračního odporu je možné obecně očekávat vyšší prokysličení hyporeálu.

Další možností jak rychle a jednoduše orientačně stanovit obsah rozpuštěného kyslíku v hyporeálové vodě je pomocí zapichovací platinové redoxní sondy (tabulka 7, obrázek 11). Výhodou této metody je, že se jedná o *in situ* měření a poskytuje přesnější data o okysličení hyporeálu než penetrometrie. Avšak měření redoxního potenciálu je nepatrně náročnější a jedná se též o nákladnější metodu.

6.4 Teplotní data z podélného transektu

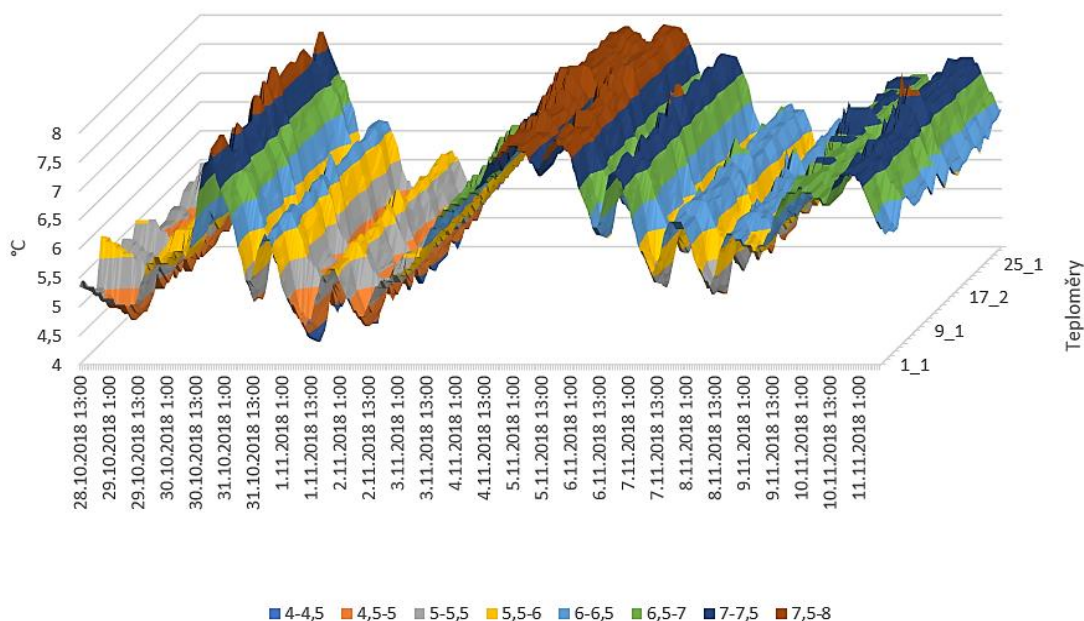
Z 29 sad umístěných na dno koryta došlo u 16 sad k vyhrabání teploměrů z hloubek 3 cm. K vyhrabání došlo u následujících sad teploměrů č. 1, č. 2, č. 3, č. 4, č. 6, č. 7, č. 9, č. 10, č. 11, č. 12, č. 14, č. 22, č. 23, č. 25, č. 26 a č. 29 (příklad vyhrabaného teploměru v příloze 6). Tímto u těchto sad teploměrů došlo k zániku kategorie 13 cm (viz tab. 5).

Naměřené teploty se mezi hloubkami 3 cm a 13 cm lišily jen velmi nepatrně (tab. 10). Rozsah naměřených teplot vycházel u hloubek 13 cm nižší než u hloubky 3 cm, i když ve „studeném“ období tento rozdíl činil pouze 0,002°C. Naše výsledky naznačují, že prostředí hlouběji v sedimentu dna je stabilnější a celkově nepatrněji teplejší (v podzimním období).

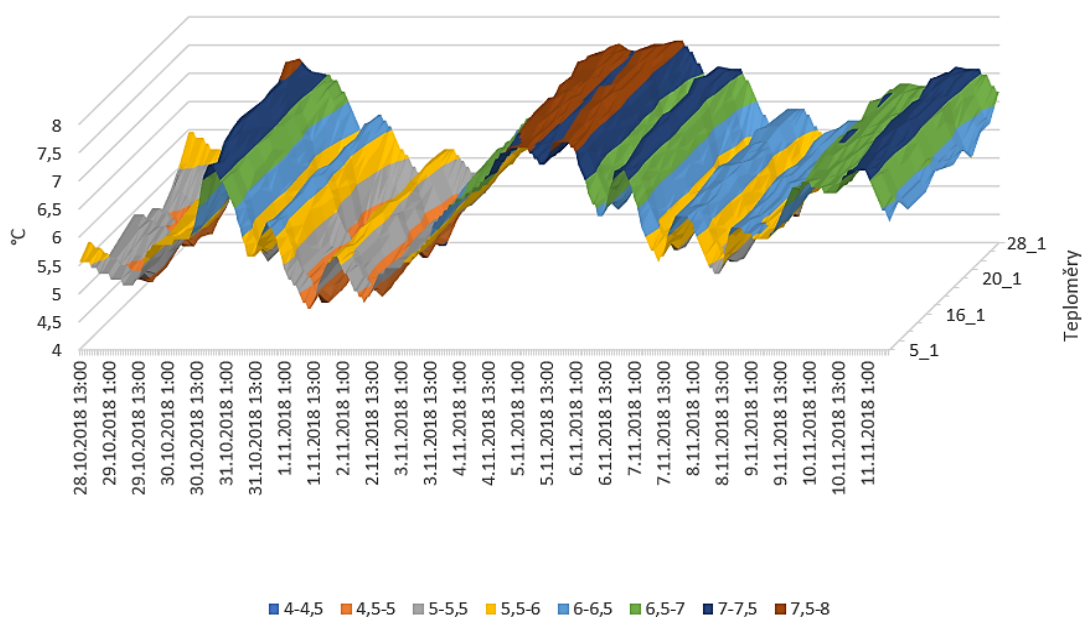
	„Teplé“ období (28.10.-11.11.2018)		„Studené“ období (28.11.-3.12.2018)	
	3	13	3	13
Hloubka [cm]	3	13	3	13
Počet teploměrů	29	13	29	13
Počet měření	9686	4342	3248	1456
Minimum [°C]	3,998	4,102	0,01	0,121
Maximum [°C]	8,128	7,882	1,33	1,439
Průměr [°C]	6,187	6,200	0,337	0,417
Rozsah [°C]	4,13	3,78	1,32	1,318

Tab. 10 Základní charakteristiky měření za „teplé“ a „studené“ období počítané ze všech příslušných teploměrů na podélném transektu. Průběh teplot u teploměrové sady 15 v „teplém“ období je znázorněno v příloze 17.

Následující obrázky (obr. 12 a 13) znázorňují prostorovou a časovou variabilitu teploty na podélném transektu v hloubkách 3 cm a 13 cm. Při porovnání těchto obrázků je patrné, že teplotní amplitudy jsou ve 3 cm vyšší a dochází zde ke vzniku teplotních špiček a prostorová proměnlivost je též vyšší. Zatímco teploty ze 13 cm kopírují změny, které se dějí ve 3 cm, ale jsou pozvolnější a nedosahují tak extrémních hodnot. Tato zjištění vedou k závěru, že v hloubce 13 cm se ve větší míře projevuje vliv hyporeálové/spodní vody, zatímco v hloubce 3 cm je ovlivněna zejména fluktuacemi v teplotě povrchové vody.

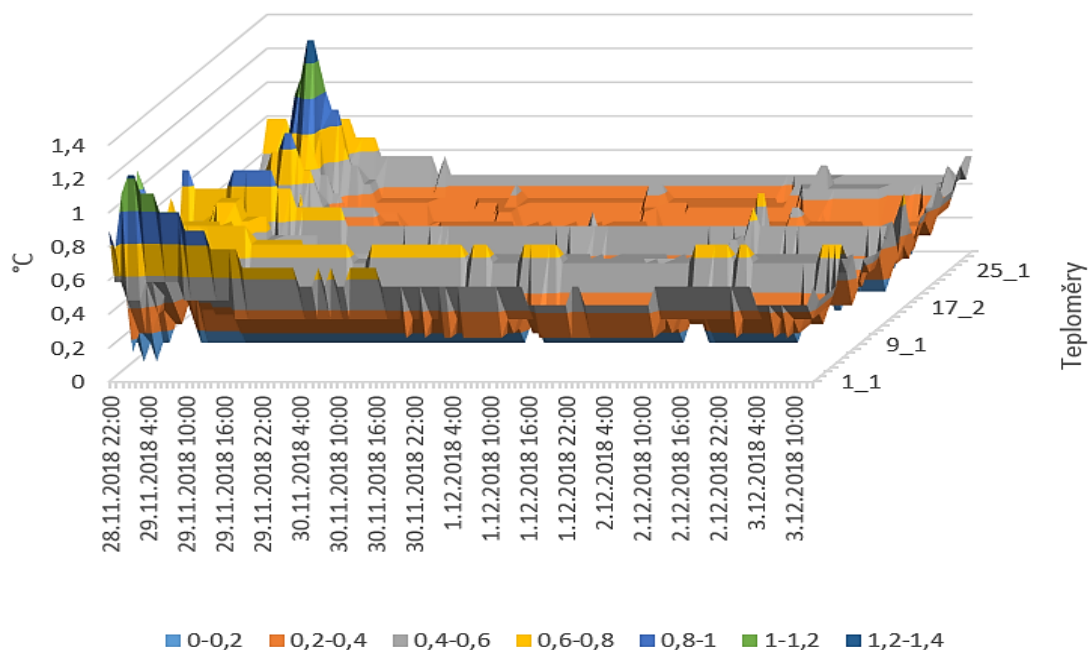


Obr. 12 Znáornění průběhu teplot u jednotlivých teploměřů v období od 28.10.-11.11.2018 v hloubce 3 cm, ve vysokém rozlišení v příloze 10.

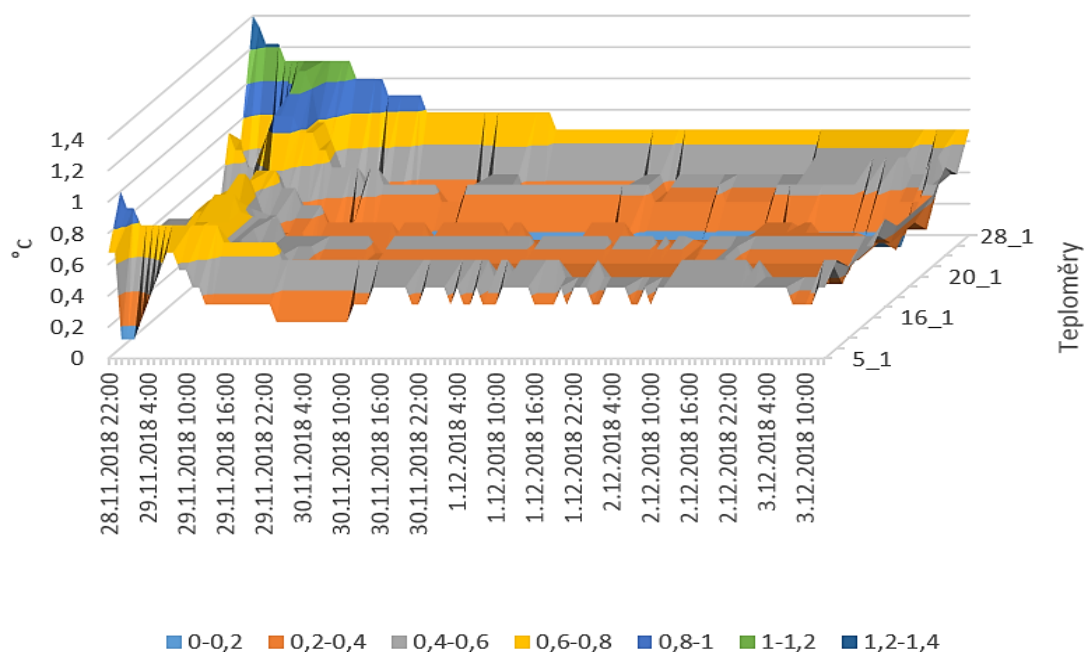


Obr. 13 Znáornění průběhu teplot u jednotlivých teploměřů v období od 28.10.-11.11.2018 v hloubce 13 cm, ve vysokém rozlišení v příloze 11.

V případě chladného období, kdy se teploty pohybovaly těsně nad 0°C, se rozdíly teplot mezi hloubkami 3 cm a 13 cm podstatně zmenšily (obr. 14 a 15). I v tomto případě je možné pozorovat, že v menší hloubce dochází opět k teplotním špičkám. Na obr. 15 je názorně vidět, že teploměr 28_1 měří v daném období nejvyšší teploty a tento trend bylo již možné pozorovat na obr. 11 a obr. 12. Tato skutečnost naznačuje, že v daném místě dochází k upwellingu hyporeálové/spodní vody.



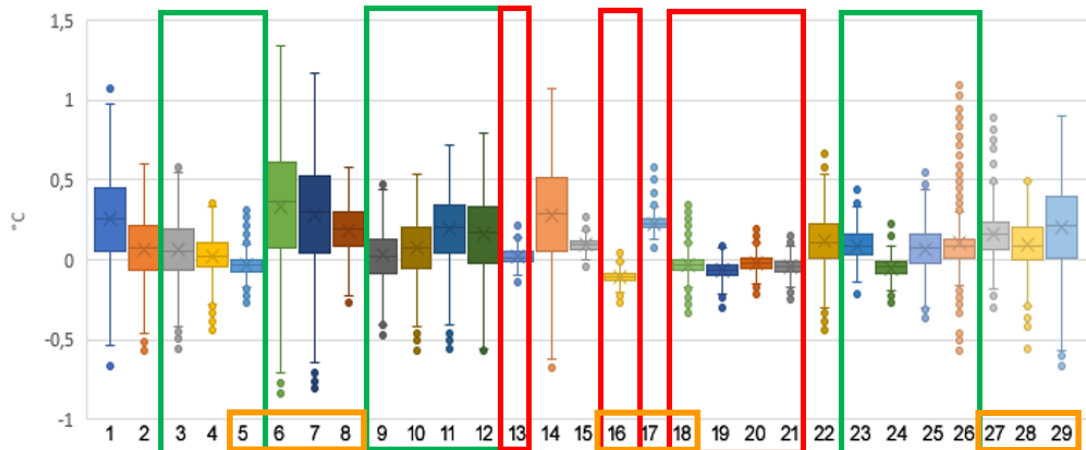
Obr. 14 Znáornění průběhu teplot u jednotlivých teploměřů v období od 28.11.-3.12.2018 v hloubce 3 cm, ve vysokém rozlišení v příloze 12.



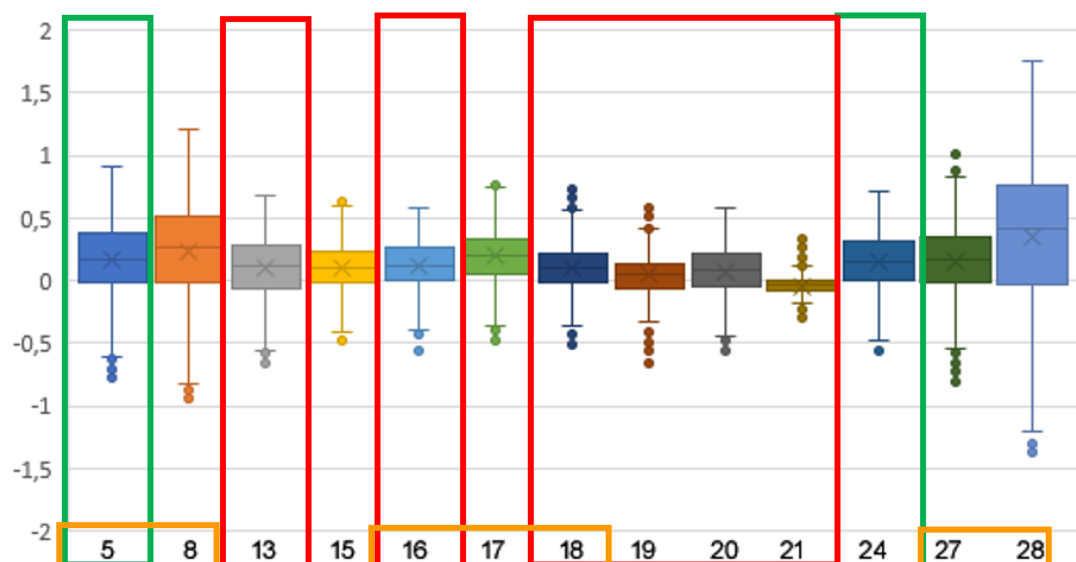
Obr. 15 Znáornění průběhu teplot u jednotlivých teploměřů v období od 28.11.-3.12.2018 v hloubce 13 cm, ve vysokém rozlišení v příloze 13.

Pro zjištění míst, kde dochází k downwellingu a upwellingu byly využity teplotní datové řady s hodinovým krokem, jejichž měření probíhalo 28.10.-6.12.2018. U 16 teploměrových sad došlo k vyhrabání teploměřů, a proto u hloubky 13 cm je zobrazeno pouze 13 měření (obr. 17). Místa, kde se povrchová voda zanořuje do sedimentu se vyznačují malým teplotním rozdílem mezi hyporeálem a povrchovou

vodou (vyznačeno na obr. 16 a 17). Naopak tam, kde dochází k vynořování hyporeálové vody, jsou tato místa charakterizována vyššími rozdíly mezi hyporeálem a volnou vodou. Ke stejným výsledkům se dospělo i pomocí výpočtu variačních koeficientů referenční volné vody a teplot v příslušných hloubkách. Variační koeficienty jsou přiloženy v příloze (příloha 18 a 19).



Obr. 16 Zobrazení rozdílů mezi 3 cm a volnou vodou. Zelené rámečky značí místa, kde podle obrázku 11 a teplotních dat dochází k downwellingu a jsou zde vhodné podmínky. Červené rámečky značí místa, kde podle teplotních dat dochází k downwellingu, ale ostatní parametry nejsou vyhovující (obr. 11). Oranžové rámečky značí výskyt makrofyt. Neoznačené datové řady představují upwelling.



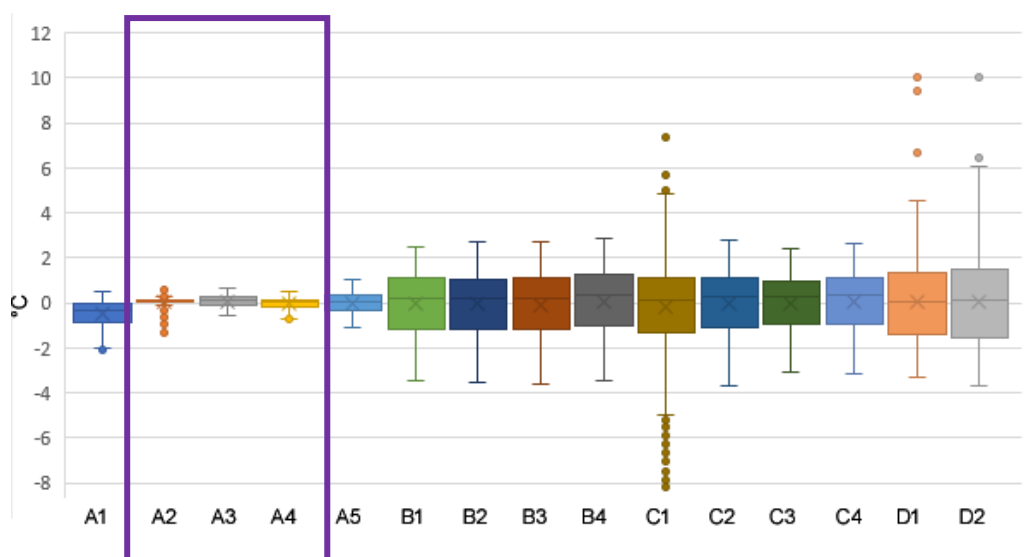
Obr. 17 Znázorněné rozdíly mezi 13 cm a volnou vodou. Zelené rámečky značí místa, kde podle teplotních dat dochází k downwellingu a jsou zde vhodné podmínky i z hlediska dalších parametrů (obr. 11). Červené rámečky značí místa, kde podle teplotních dat dochází k downwellingu, ale ostatní parametry jsou nevhovující. Oranžové rámečky značí výskyt makrofyt. Neoznačené datové řady představují upwelling.

6.5 Srovnání s Malší¹

Pro zjištění míst, kde docházelo k downwellingu a upwellingu byly využity rozdíly teplot mezi příslušnou hloubkou a referenční volnou vodou. Pro vyhodnocení byla využita data z řeky Malše lokality Bifurkace, z letního období (3.7.-31.8.2018) (zobrazení průběhu teplot v 3 cm a 13 cm v období 4.7.-31.7.2018 v příloze 20 a 21). Vzhledem k tomu, že se jedná o letní měsíce, tak nízké teplotní rozdíly mezi hyporeálem a volnou vodou značí vnořování hyporeálové vody a vysoké hodnoty vnořování vody povrchové.

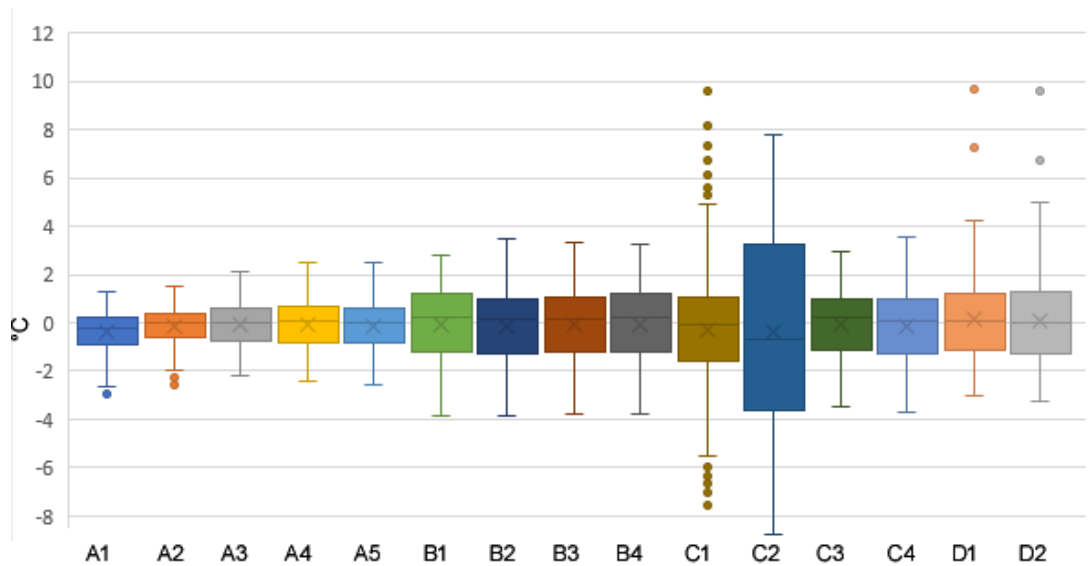
Na základě vypočtených a zobrazených rozdílů teplot mezi hyporeálem a volnou vodou nelze jednoznačně určit, kde docházelo pouze k downwellingu nebo upwellingu (obr. 18 a 19). Výjimku tvoří místa A2, A3 s A4 v hloubce 3 (obr. 18, fialový rámeček), kde docházelo během sledovaného období především k vnořování povrchové vody, ale došlo zde několikrát i k vnořování hyporeálové vody.

Ze zjištěných skutečností vyplývá, že Malše v letním období je mnohem proměnlivější než Vltava v zimním období (obr. 16 a 17). Na Vltavě bylo možné pomocí teplotních dat jasně definovat místa, kde docházelo k upwellingu a downwellingu. To na Malši nebylo možné, neboť datové řady jednotlivých teploměrů mají velký rozsah, což indikuje, že během měřeného období docházelo ke střídání obou jevů (vnořování a vnořování vody).



Obr. 18 Znárodnění rozdílů teplot mezi hloubkou 3 cm a referenční volnou vodou. Fialový rámeček označuje místa, kde docházelo především k vnořování vody povrchové, ale vyskytlo se zde několik epizod, při kterých zde docházelo k vnořování hyporeálové vody.

¹ Data z Malše byla poskytnuta M. Rojtvou, na jejich získání jsem se podílel jen částečně.



Obr. 19 Znázornění rozdílů teplot mezi hloubkou 13 cm a referenční volnou vodou.

7 Diskuze

7.1 Metody měření rozpuštěného kyslíku

Základním předpokladem pro zjišťování parametrů intersticiální vody je využití vhodných diagnostických metod. Zjistit hodnoty jednotlivých parametrů hyporeálu je často obtížné, protože se pracuje v proudící vodě a prostředí dna vodního toku se vyznačuje vysokou prostorovou a časovou proměnlivostí.

Jedním z nejdůležitějších parametrů intersticiální vody je množství rozpuštěného kyslíku. Rozpustnost kyslíku ve vodě závisí především na faktorech, kterými jsou parciální tlak plynu a teplota vody (Boyd 2000; Marzadri et al. 2013). Tyto skutečnosti mohly mít vliv na naměřené hodnoty koncentrace rozpuštěného kyslíku, neboť byla měřena *ex situ*. Při odebrání vzorků hyporeálové vody dochází k vytvoření podtlaku, aby bylo možné vzorek vody odebrat a současně tato změna tlaku může mít vliv na následně naměřené hodnoty (Geist et Auerswald 2007). Dále při měření koncentrace kyslíku v odebraném vzorku vody dochází ke změně jeho teploty, což opět ovlivňuje výsledky měření (Bílý 2019, ústní sdělení).

Naměřená vysoká koncentrace rozpuštěného kyslíku na daném místě ještě nemusí znamenat, že je zde hyporeál dobře prokysličený. Ale pokud dojde k naměření nízké hodnoty koncentrace rozpuštěného kyslíku, tak na tento výsledek se můžeme spolehnout (Simon 2019, ústní sdělení). Tato situace může nastat, pokud vzorky hyporeálové vody jsou odebrány v hrubém substrátu dna a z malé hloubky, neboť v tomto případě může dojít k nasátí povrchové vody místo vody intersticiální (Geist et Auerswald 2007). Jiným případem je nasátí množství vody, které překračuje objem vody, jež se aktuálně se v sedimentu v dané hloubce vyskytuje. Pak dojde vždy k nasátí vody buď ze svrchní vrstvy případně i z vrstvy spodní. Zvolený objem 2 x 10 ml se jevil pro případ našich zrnitostí adekvátní. Naše výsledky poukazují na to, že nedocházelo při vzorkování k míchání povrchové a intersticiální vody, neboť vždy byly zjištěny významné rozdíly mezi intersticiální a volně tekoucí vodou.

Dle našich výsledků je možné k orientačnímu *in situ* měření prokysličení svrchní vrstvy dna použít i penetrometr. Neboť pomocí penetračního odporu dna je možné zjistit míru utužení sedimentu dna a tím pádem toto měření podává informaci o propojení či oddělení povrchové a hyporeálové vody (Geist et Auerswald 2007; Johnson et Brown 2000). Tento vzájemný vztah má značný vliv na okysličení

sedimentu dna a na přítomné organismy (Veličkonić 2005). Tento postup však nelze použít v místech s výrazným upwellingem.

Pro plošné měření dostupnosti rozpuštěného kyslíku v hyporeálu je tedy vhodnější použít zapichovací redoxní sondu, neboť se jedná o *in situ* metodu, a proto není nutné odebírat vzorky vody. Jedná se o metodu, která je mnohem jednodušší na provedení, a tedy i spolehlivější, neboť je zde mnohem nižší riziko chyby a časová náročnost je také mnohonásobně nižší (Geist et Auerswald 2007). Z našich výsledků vyplývá, že pro plošné měření okysličenosti by bylo vhodné použít kombinaci měření redoxního potenciálu (respektive rozdílu mezi hodnotami ve volné vodě a hyporeálem) a na několika kontrolních lokalitách změřit rozpuštěný kyslík pomocí *ex situ* metody.

Podle dostupných údajů je právě koncentrace kyslíku pro mlže žijící zanořené v hyporeálu zásadním limitujícím parametrem (Černá et al. 2018; Roley et Tank 2016). Obsah dalších látek je považován za méně významný.

7.2 Teplotní data

Z metodického pohledu považujeme umístění teplotních sond přímo do sedimentu, pouze vzájemně spojených lankem, za přesnější pro měření teplotních rozdílů v mělkém hyporeálu. Například metoda používaná Hatchem et al. (2006), kde jsou teplotní senzory umístěny v perforované trubce, vytváří cestu preferenčního proudění a měření je tak nutně málo přesné. Naší metodou bylo vždy možné naměřit rozdíly mezi hloubkou 3 cm pod povrchem sedimentu a volnou vodou v řece (viz obr. 16) i v případě downwellingu.

Většina publikovaných prací se zaměřuje spíše na studium hlubších vrstev hyporeálu (Rau et al. 2014), které jsou však z pohledu biotopu juvenilních perlorodek říčních málo významné (Černá et al. 2018).

K zjištění průběhu teplot v hyporeálu a volné vodě a k zjištění míst, kde dochází k downwellingu a upwellingu (Constantz 1998; Constantz et Stonestorm 2003; Kurylyk et al. 2017; Rau et al. 2014) bylo do dna umístěno 29 sad teploměrů v hloubkách 13 cm, 3 cm a na povrchu sedimentu dna. Během měřicího období došlo k vyhrabání teploměrů u 16 sad, což potvrzuje naše předpoklady, že prostředí vodního toku je v čase velmi proměnlivé.

Z kontinuálních dlouhodobých měření bylo zjištěno, že ve větší hloubce v hyporeálu jsou teploty stálejší a nedochází zde k tak výrazným teplotním výkyvům jako v sedimentu těsně pod povrchem dna, neboť tyto jsou závislé na teplotních fluktuacích povrchové vody. Naše výsledky jsou v souladu s dalšími studii (Malcolm et Soulsby 2002; Silliman et Booth 1993; Winter et al. 1999).

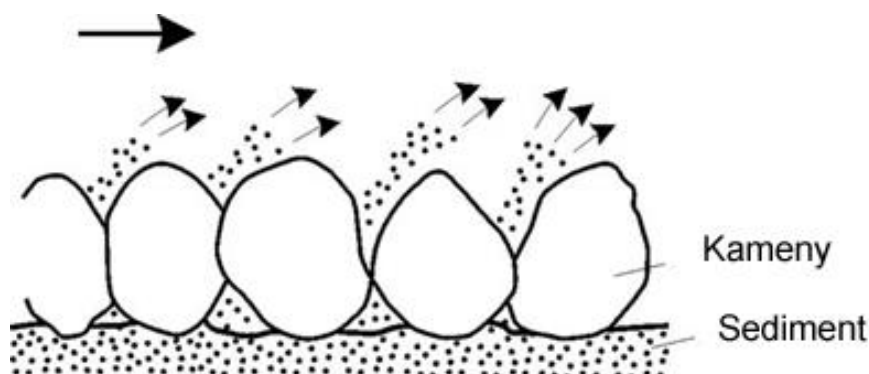
Díky teplotním datům došlo k zjištění míst, kde dochází k downwellingu a upwellingu (obr. 16). Na místech, kde docházelo k upwellingu (obr. 16, neoznačené datové řady) byly zjištěny nízké koncentrace rozpuštěného kyslíku a nízké hodnoty redoxního potenciálu (obr. 11). Toto zjištění je v souladu, že vynořující se hyporeálová/spodní voda je chudší na rozpuštěný kyslík (Dent et al. 2001; Fraser et Williams 1998; Winter et al. 1999).

Byla zjištěna také místa, kde dochází k downwellingu (obr. 16, zelený a červený rámeček). Místa označená zeleným rámečkem na obrázku 16 splňují předpoklady, že hyporeál v místech, kde dochází k vnořování povrchové vody jsou dobře prokysličená (obr. 11) (Findlay et al. 1993). Avšak byla zjištěna i místa, kde podle teplotních dat dochází k downwellingu volně tekoucí vody, ale prokysličení těchto míst je velmi nízké (obr. 16, červený rámeček).

Nízký obsah rozpuštěného kyslíku v místech, kde dochází k vnořování povrchové vody je pravděpodobně způsoben přítomnými makrofyty. Neboť v místech, kde nebyla přítomna a docházelo k downwellingu, tak zde bylo prokysličení vysoké. Svendsen et Kronvag (1993) a Schulz et Guecker (2005) tuto skutečnost vysvětlují tak, že přítomná makrofyta snižují rychlost proudění nad povrchem dna, čímž dochází ke zvýšené sedimentaci živin, jemných částic a zpomalují vnořování povrchové vody. Dále kyslíkový deficit v těchto místech způsobuje bakteriální rozklad biomasy vzniklé z přítomných makrofyt (Rooney et Kalff 2003).

Rosenberry et al. (2012) uvádí, že na míru hyporeálové výměny má významný vliv topografie dna a jeho zrnitost. V případě výskytu jemného sedimentu (tj. nízkého penetračního odporu) by došlo k zpomalení, či přerušení hyporeálové výměny. Zatímco při výskytu hrubého sedimentu (charakterizovaného vyšším penetračním odporem) je umožněna rychlá hyporeálové výměna. Neboť v tomto případě dochází při vyšším průtoku k odnášení jemného sedimentu, ale povrch dna se nemusí změnit

(obr. 20). Míra hyporeálové výměny má vliv na prokysličení a teplotní stratifikaci sedimentu.



Obr. 20 Odnášení jemného sedimentu při vyšším průtoku, povrch dna zůstává nezměněn, zdroj: (Dixen et Mutlu Sumer 2008).

Z našich výsledků vyplývá, že zvolené měřítko 0,5 m bylo vhodně zvolené, neboť podchytilo většinu variability dna a z toho důvodu nebyly obvykle zaznamenány výrazné výkyvy střední hodnoty mezi jednotlivými měřenými plochami (obr. 9-11). Ale byla zaznamenána variabilita u opakovaných měření redoxního potenciálu uvnitř většiny plošek. U měření redoxního potenciálu se velmi často vyskytovaly 2-3 zcela odlišné naměřené hodnoty uvnitř jedné plošky (příloha 7 a 8). Zatímco opakované měření penetračního odporu uvnitř jednotlivých plošek nevykazovalo velké výkyvy (příloha 14 a 15). Vysvětlením by mohly být malé prostory vyplněné organickým materiálem ve stadiu rozkladu, který může lokálně změnit kyslíkové (oxidačně-redukční) podmínky. Ukazovalo by to na velkou prostorovou přesnost měření redoxní sondou.

V případě měření teploty je námi zvolené měřítko vyhovující (obr. 12-15). Naměřená data je proto možné s výhodou zpracovat do podoby 3D plošných grafů.

7.3 Využitelnost nových metod pro hodnocení biotopu perlorodky říční v podmínkách ČR

V rámci DP bylo vyzkoušeno v reálných podmínkách přirozených biotopů 5 metod, které mohou přispět k popisu mikrohabitatu perlorodky říční v mělkém hyporeálu (Švanyga et al. 2013). Jedná se o:

- ruční měření *in situ* penetrační redox sondou,
- ruční měření *ex situ* rozpuštěného kyslíku ve vodě odsáté ze dna,
- ruční měření penetrometrického odporu říčního dna,
- kontinuální rozdílové měření teploty ve 3 hloubkách mělkého hyporeálu,
- ruční měření *ex situ* vodivosti ve vodě odsáté ze dna.

7.3.1 Přesnost získaných dat s ohledem na juvenilní a adultní perlorodky a doporučená kombinace metod pro popis habitatu

Perlorodky říční potřebují nepřetržitý přísun velmi prokysličené vody, jak v povrchové vodě (dospělci), tak i v hyporeálu (juvenilní jedinci). Přičemž přerušení dodávky dostatku kyslíku má fatální následky, zejména pro mladé jedince (Geist et Auerswald 2007).

Přímé zjištění koncentrace rozpuštěného kyslíku ve volně tekoucí vodě je snadno proveditelné, ale přímé měření obsahu kyslíku v hyporeálu je značně komplikované a časově náročné. Proto autoři Geist et Auerswald (2007) k tomuto měření doporučují využít *in situ* metody – penetrometrii a zapichovací redoxní sondu, neboť výsledky těchto měření dobře odlišují kvalitní a nekvalitní habitaty. Naše výsledky potvrzují tyto závěry.

7.3.2 Časová náročnost získání dostatečně podrobných dat k podchycení lokální variability

Časová náročnost se především odvíjí od typu použité metody, zejména zda se jedná o *ex situ* nebo *in situ* metodu.

***Ex situ* metody**

U těchto metod největší komplikací představuje samotné odebrání vzorku především pokud se odebírá ze substrátu, který by bylo možné charakterizovat jako písek až hrubý písek. V tomto typu substrátu dochází velmi často k ucpání PVC trubičky, kterou se vzorek odebírá, což způsobilo zpomalení odběru vody nebo i opakování celého odběru z daného místa. Dalším negativním faktorem působícím na dobu odběru vzorku je teplota vody. Při teplotách vody 10°C a méně dochází k významnému snížení jemné motoriky lidské ruky ponořené do vody (Cakir et al. 2016), což opět celý proces velmi komplikuje.

Rychlost změření parametrů, zde konduktivity a obsahu kyslíku záleží pouze na délce odezvy jednotlivých sond (u konduktivity se pohybovala v řádu desítek sekund, kyslíková sonda reagovala během několika minut).

Doba odebrání a změření 4 vzorků z jedné plošky trvalo v průměru 25 minut s tím, že jedna osoba vzorky odebírala a druhá měřila a zapisovala data.

In situ metody

Měření penetračního odporu představuje nejjednodušší a nejrychlejší metodu měření vlastností mělkého hyporeálu. Měření pomocí penetrometru dle metodiky (Jahelková et al., nepublikováno) se v jedné plošce pohybovalo okolo 2 minut s naměřením 7 hodnot penetračního odporu v hloubkách 3 cm, 13 cm a 23 cm.

Hodnoty redoxního potenciálu je možné zjistit též ve velmi krátké době podle metodiky (Geist et Auerswald 2007). Zjištění 7 hodnot redoxního potenciálu v jedné plošce se uskutečnilo do 10 minut.

Časová náročnost instalace teploměrů dle (Simon, Ryšavý a Jahelková, nepublikováno) je velmi proměnlivá, neboť silně závisí na typu sedimentu, zejména na jeho tvrdosti. Pro získání objektivních a vypovídajících dat je nutné ponechat instalované teploměry v sedimentu dna po delší časový úsek, např. měsíc a déle (Kurylyk et al. 2017; Rau et al. 2014; Silliman et Booth 1993). Výhodou tohoto typu měření je, že se jedná o kontinuální druh měření a podává nám detailní informace o průběhu teplot v jednotlivých vrstvách sedimentu.

7.3.3 Cena přístrojového vybavení a riziko zničení při práci v terénu

Nejpravděpodobnější poškození multimetru a voltmetru spočívá v tom, že dojde k upuštění přístroje do vodního toku. Tato zařízení jsou vodě odolná, ale nejsou dimenzovaná jako vodotěsná a tedy nevydrží ponoření do vody (WTW 2008) (přehled jednotlivých metod v tab. 11).

Přípojná sonda k měření konduktivity se vyznačuje vysokou odolností a k poškození nedojde ani při nešetrném zacházení. Zatímco u kyslíkové sondy je riziko poškození vyšší, neboť nevydrží rázy z důvodu optického senzoru (WTW 2008; WTW 2010).

Měření redoxního potenciálu může být problematické, pokud měření probíhá v sedimentu s vyšší tvrdostí. Při neodborném zacházení by mohlo dojít ke zlomení platinové zapichovací sondy. Velmi zranitelnou částí je referenční elektroda, neboť se z velké části skládá ze skla. Proto je nutná velmi šetrná manipulace jak při měření, tak i přepravě (Bier 2010).

Záznamové teploměry mají velmi odolnou konstrukci a vydrží i hrubší zacházení, např. zapravení do sedimentu dna. Cena jednoho teploměru je relativně

nízká, ale ve výsledku se jedná o velmi nákladnou metodu, neboť aby se získaly průkazné výsledky, tak je nutné mít k dispozici vysoký počet těchto teploměrů.

Penetrometrie ze všech uvedených metod vychází jako nejméně nákladná a také se jedná o metodu, kde je velmi nízká pravděpodobnost zničení vybavení.

Přístroj/zařízení	Cena v Kč	Riziko poškození
Multimetr	45 000	Střední
Voltmetr	20 000	Střední
Sonda k měření vodivosti	15 000	Nízké
Kyslíková sonda	30 000	Střední
Pt redox sonda	5 000	Střední
Referenční elektroda k redoxu	5 000	Vysoké
1 ks záznamového teploměru	3 000	Nízké
Penetrometr	6 000	Nízké

Tab. 11 Přehled orientačních cen měřících přístrojů nutného k měření parametrů mělkého hyporeálu. Riziko poškození je uváděno ve stupních: nízké, střední a vysoké. Zdroje: (Anonym 2019; Bier 2010; Ilabo 2019; Tempcon 2019; WTW 2008; WTW 2010).

7.3.4 Riziko poškození mikrohabitatů s výskytem juvenilů perlorodky říční a jak jim předcházet

Juvenilní perlorodky říční mají specifické nároky na mikrohabitat a uchycují se pouze na stabilních místech na dně, kde se nachází velmi čistý a prokysličený substrát (Hastie et al. 2000). Obecně největší riziko pro juvenilní perlorodky je nadměrná sedimentace jemného materiálu akutní či chronické povahy. Částice o velikosti 2-20 μm způsobují stres po požití a částice o velikosti $> 20 \mu\text{m}$ zapříčiňují zavírání lastur juvenilů i dospělců (Baker et Levinton 2003; Moorkens et al. 2017). Dále zvýšené množství jemného materiálu snižuje přísun kyslíku do mělkého hyporeálu (Braun et al. 2012; Geist et Auerswald 2007).

Mikrohabitat juvenilních jedinců i samotné perlorodky mohou být ohrožené při měření fyzikálně chemických parametrů hyporeálu. Z tohoto důvodu je nutné před počátkem činnosti ve vodním toku zjistit přítomnost a lokalizaci jednotlivých jedinců (Geist et Auerswald 2007) a ty si patřičným způsobem označit, aby se snížila pravděpodobnost jejich poškození. U juvenilních perlorodek žijící v sedimentu jsou při měření ohroženy zejména přímým kontaktem, jako je rozšlapání či zásahem při vlastním měřením, např. penetrometrem.

Vzhledem k tomu, že juvenilní perlorodky ke svému vývoji potřebují stabilní prostředí (Hastie et al. 2000), tak není doporučeno v jejich blízkosti aplikovat silně invazivní metody, které by měnily charakter substrátu dna.

8 Závěr

Cílem této práce bylo zjistit fyzikálně chemické podmínky (penetrační odpor dna, obsah rozpuštěného kyslíku, redoxní potenciál, kontinuální měření tepelného gradientu a vodivost) mělkého hyporeálu v hloubkách 3 cm a 13 cm na rozdílných lokalitách na Vltavě.

Z našich výsledků byla zjištěna vysoká prostorová a časová variabilita prostředí vodního toku.

V místech, kde byl změřen vyšší penetrační odpor, byly obvykle zjištěny nižší rozdíly ve vodivosti a obsahu kyslíku mezi volně tekoucí a hyporeálovou vodou, což představuje lepší propojení povrchového toku a prostředí hyporeálu. S koncentrací rozpuštěného kyslíku korelovaly naměřené hodnoty redoxního potenciálu.

Vyhodnocení teplotních dat poukázalo na odlišný průběh teplot v jednotlivých hloubkách sedimentu dna. Přičemž průběh teplot ve vrstvě v hloubce 3 cm byl ovlivněn zejména teplotou povrchové vody. Teplotní data nám také umožnila detekovat místa, kde docházelo k downwellingu a upwellingu, což má zásadní vliv na prokysličení sedimentu. Downwelling představoval místa, která byla velmi dobře zásobena kyslíkem, pokud se zde nenacházela makrofyta. Ta dokázala změnit chemické parametry míst s downwellingem tak, že se spíše podobala místům s upwellingem, pro která byl charakteristický nízký obsah kyslíku.

Z našich výsledků plyne, že kvalita habitatu pro perlorodku říční je velmi úzce spjata s propojením volně tekoucí vody a prostor hyporeálu. Míru tohoto propojení je možné popsat pomocí fyzikálně chemických parametrů. Pro zhodnocení kvality habitatu je doporučena kombinace jednotlivých metod.

Zde použité metody a postupy poskytují nástroj, který je možné následně prakticky použít při ochraně zvláště chráněného druhu perlorodky říční a ostatních organismů žijících v sedimentu.

9 Seznam použité literatury

Vyhláška č. 395/1992 Sb., kterou se provádějí některá ustanovení zákona České národní rady č. 114/1992 Sb., o ochraně přírody a krajiny.

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

Absolón, K. & J. Hruška, 1999. Perlorodka říční v ČR. AOPK ČR, Praha.

Allan, J. D. & M. M. Castillo, 2007. Stream ecology: Structure and function of running waters: Second edition.

Anonym, 2012. In. http://www.derox.eu/f/products/1/101307_1.png cit. 3.9.2019.

Anonym, 2019. In. <https://www.eshop-zemedelske-potreby.cz/penetrometr-pudni-rucni-wile-tester-kompaktnosti-pudni-vrstvy-p8565/> cit. 4.15.2019.

AOPKČR, 2013. Záchranný program perlorodky říční *Margaritifera margaritifera* v České republice. In. <http://www.zachranneprogramy.cz/perlorodka-ricni/zachranny-program-zp/?action=download&aId=3421> cit. 2.14 2019.

Araujo, R. & M. Á. Ramos, 2001. Action plans for *Margaritifera auricularia* and *Margaritifera margaritifera* in Europe. Council of Europe Publishing, Štrasburg.

Baker, S. M. & J. S. Levinton, 2003. Selective feeding by three native North American freshwater mussels implies food competition with zebra mussels. *Hydrobiologia* 505:97-105.

Bauer, G., 1987. Reproductive strategy of the freshwater pearl mussel *Margaritifera margaritifera*. *Journal of Animal Ecology* 56(2):691-704.

Bauer, G., 1988. Threats to the Freshwater Pearl Mussel *Margaritifera margaritifera* L. in Central Europe. *Biological Conservation* 45:239-253.

Bauer, G., 1992. Variation in the Life Span and Size of the Freshwater Pearl Mussel. *The Journal of Animal Ecology* 61(2):425-436.

Bengough, A. G., D. J. Campbell & M. F. O'Sullivan, 2000. Penetrometer techniques in relation to soil compaction and root growth Soil and environmental analysis. CRC Press, 389-416.

Bier, A., 2010. pH elektrody: what users should know. In: GmbH, H.-L. (ed). Düsseldorf.

- Bolotov, I. N., I. V. Vikhrev, Y. V. Bessalaya, M. Y. Gofarov, A. V. Kondakov, E. S. Konopleva, N. N. Bolotov & A. A. Lyubas, 2016. Multi-locus fossil-calibrated phylogeny, biogeography and a subgeneric revision of the Margaritiferidae (Mollusca: Bivalvia: Unionoida). *Molecular Phylogenetics and Evolution* 103:104-121.
- Boulton, A. J., S. Findlay, P. Marmonier, E. H. Stanley & H. M. Vallet, 1998. The functional significance of the hyporheic zone in streams and rivers. *Annual Review of Ecology and Systematics* 29:59-81.
- Bouteldja, F., P. Breul & D. Boissier, 2011. Experimental Validation of an Method for In Situ Estimation of Hydraulic Conductivity of Water Treatment Granular Materials. *Geotechnical and Geological Engineering* 29(6):1009-1021.
- Boyd, C. E., 2000. *Water quality: an introduction*. Kluwer Academic Publishers, New York.
- Braun, A., K. Auerswald & J. Geist, 2012. Drivers and spatio-temporal extent of hyporheic patch variation: implications for sampling. *PloS one* 7(7):1-10.
- Brunke, M. & T. Grosner, 1997. The ecological significance of exchange processes between rivers and groundwater. *Freshwater Biology* 37:1-33.
- Buddensiek, V., 1991. Untersuchungen zu den aufwuchsbedingungen flubperlmuschel *Margaritifera margaritifera* L. in ihrer fruhen postparasitared phase. Tierarztlichen Hochschule Hannover, Hannover.
- 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(1):33-40.
- Cakir, E., S. Yüksek, B. Asma & E. Arslanoglu, 2016. Effects of Different Environment Temperatures on Some Motor Characteristics and Muscle Strength. *INTERNATIONAL JOURNAL OF ENVIRONMENTAL & SCIENCE EDUCATION* 11(10):3985-3993.
- Carrara, M., A. Castrignanò, A. Comparetti, P. Febo & S. Orlando, 2007. Mapping of penetrometer resistance in relation to tractor traffic using multivariate geostatistics. *Geoderma* 142(3-4):294-307.

- Constantz, J., 1998. Interaction between stream temperature, streamflow, and groundwater exchanges in Alpine streams. *Water Resources Research* 34(7):1609-1615.
- Constantz, J. & D. Stonestrom, 2003. Heat as a Tool for Studying the Movement of Ground Water Near Streams. U.S. Geological Survey, Reston, Virginia.
- Constantz, J., C. L. Thomas & G. Zellweger, 1994. Influence of diurnal variations in stream temperature on streamflow loss and groundwater recharge. *Water Resources Research* 30:3253-3264.
- Černá, M., O. P. Simon, M. Bílý, K. Douda, B. Dort, M. Galová & M. Volfová, 2018. Within-river variation in growth and survival of juvenile freshwater pearl mussels assessed by in situ exposure methods. *Hydrobiologia* 810(1):393-414.
- ČGS, 1998. Databáze významných geologických lokalit: 2147. In. <http://lokality.geology.cz/2147> cit. 2.4. 2019.
- Davidson, D. T., 1965. Penetrometer measurements. In Black, C. A., D. D. Evans, L. E. Ensminger, J. L. White & F. E. Clark (eds) *Methods of Soil Analysis Part 1 Physical and Mineralogical Properties, Including Statistics of Measurement and Sampling*. 472-484.
- Degerman, E., S. Alexanderson, J. Bergengren, L. Henrikson, B.-E. Johansson, B. M. Larsen & H. Söderberg, 2009. Restoration of freshwater pearl mussel streams. WWF Sweden, Solna.
- Demek, J., 1987. *Zeměpisný lexikon ČSR - hory a nížiny*. Academia, Praha.
- Dent, C. L., N. B. Grimm & S. G. Fisher, 2001. Multiscale effects of surface–subsurface exchange on stream water nutrient concentrations. *Journal of the North American Benthological Society* 20:162-181.
- Dixen, F. & B. Mutlu Sumer, 2008. Suction Removal of Sediment from between Armor Blocks. II: Waves. *Journal of Hydraulic Engineering* 134(10):1405-1420.
- Dole-Olivier, M., 1998. Surface water–groundwater exchanges in three dimensions on a backwater of the Rhone River. *Freshwater Biology* 40:93-109.

- Edwards, R. T., 1998. The hyporheic zone. In Naiman, R. J. & R. E. Bilby (eds) River ecology and management: lessons from the pacific coastal ecoregion. Springer-Verlag, New York.
- Eijkelkamp, 2012. Penetrologger with GPS and soil moisture sensor.
- Eijkelkamp, 2019. HAND PENETROMETER EIJKELKAMP. Eijkelkamp Soil & Water, Giesbeek.
- Englund, D., A. Brunberg & G. Jacks, 2008. A case study of a freshwater pearl mussel (*Margaritifera margaritifera*) population in Central Sweden. *Geografiska Annaler Series A Physical Geography* 90(4):251-258.
- Findlay, S., 1995. Importance of surface-subsurface Exchange in stream ecosystems: The hyporheic zone. *Limnology and Oceanography* 40(1):159-164.
- Findlay, S., D. Strayer, C. Goumbala & K. Gould, 1993. Metabolism of streamwater dissolved organic carbon in the shallow hyporheic zone. *Limnology and Oceanography* 38(7):1493-1499.
- Fraser, B. G. & D. D. Williams, 1998. Seasonal boundary dynamics of a groundwater/surface-water ecotone. *Ecology* 79:2019-2031.
- Freeze, R. A. & J. A. Cherry, 1979. Groundwater. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J.
- Geist, J., 2010. Strategies for the conservation of endangered freshwater pearl mussels (*Margaritifera margaritifera* L.): a synthesis of Conservation Genetics and Ecology. *Hydrobiologia* 644(1):69-88.
- Geist, J., 2011. Integrative freshwater ecology and biodiversity conservation. *Ecological Indicators* 11(6):1507-1516.
- Geist, J. & K. Auerswald, 2007. Physicochemical stream bed characteristics and recruitment of the freshwater pearl mussel (*Margaritifera margaritifera*). *Freshwater Biology* 52(12):2299-2316.
- Grinsven, M. V., 2010. Estimation of Vertical Groundwater Fluxes into a Streambed through Continuous Temperature Profile Monitoring and the Relationship of

Groundwater Fluxes to Coaster Brook Trout Spawning Habitat. Master's Thesis Dep
In: Michigan Technological University

Hargrave, B. T., 1972. Oxidation-reduction potentials, oxygen concentration and oxygen uptake of profundal sediments in a eutrophic lake. *Oikos* 23:167-177.

Harvey, J. W. & K. E. Bencala, 1993. The effect of streambed topography on surface–subsurface water exchange in mountain catchments. *Water Resources Research* 29(1):89-98.

Hastie, L. C., 1999. Conservation and ecology of the freshwater pearl mussel, *Margaritifera margaritifera* (L.). University of Aberdeen, Aberdeen.

Hastie, L. C., P. J. Boon & M. R. Young, 2000. Physical microhabitat requirements of freshwater pearl mussels, *Margaritifera margaritifera* (L.). *Hydrobiologia* 429:59-71.

Hejda, R., J. Farkač & K. Chobot, [eds], 2017. Červený seznam ohrožených druhů České republiky bezobratlí. *Příroda*(36):1-612.

Herrick, J. E. & T. L. Jones, 2002. A dynamic cone penetrometer for measuring soil penetration resistance. *Soil Science Society of America Journal* 66(4):1320-1324.

Hruška, J. & O. Volf, 2003. 20 let výzkumu a aktivní ochrany perlířky říční v ČR. *Ochrana přírody* 58(6):168-171.

Chapman, D. W., 1988. Critical review of variables used to define effects of fines in redds of large salmonids. *Transactions of the American Fisheries Society* 117:1-21.

Ilabo, 2019. In. <https://www.ilabo.cz/produkty/laboratorni-pristroje-pro-analyzu-vody-elektrochemie/> cit. 4.15.2019.

Irvine, D. J., M. A. Briggs, I. Cartwright, C. R. Scruggs & L. K. Lautz, 2017. Improved Vertical Streambed Flux Estimation Using Multiple Diurnal Temperature Methods in Series. *Groundwater* 55(1):73-80.

Irvine, D. J. & L. K. Lautz, 2015. High resolution mapping of hyporheic fluxes using streambed temperatures: Recommendations and limitations. *Journal of Hydrology* 524:137-146.

Johnson, P. D. & K. N. Brown, 2000. The importance of microhabitat factors and habitat stability to the threatened Louisiana pearl shell, *Margaritifera hembeli* (Conrad). *Canadian Journal of Zoology* 78(2):271-277.

Kalinkat, G., J. S. Cabral, W. Darwall, G. F. Ficetola, J. L. Fisher, D. P. Giling, M. P. Gosselin, H. P. Grossart, S. C. Jähnig, J. M. Jeschke, K. Knopf, S. Larsen, G. Onandia, M. Pätzig, W. C. Saul, G. Singer, E. Sperfeld & I. Jarić, 2016. Flagship umbrella species needed for the conservation of overlooked aquatic biodiversity. *Conservation Biology*

Kladivová, V., 2010. Výprava pod hladinu Teplé Vltavy. *Šumava* 14:14-15.

Kurylyk, B. L., D. J. Irvine, S. K. Carey, M. A. Briggs, D. D. Werkema & M. Bonham, 2017. Heat as a groundwater tracer in shallow and deep heterogeneous media: Analytical solution, spreadsheet tool, and field applications. *Hydrological Processes* 31(14):2648-2661.

Lellák, J. & F. Kubiček, 1992. *Hydrobiologie*. Univerzita Karlova, Praha.

Lopes-Lima, M., R. Sousa, J. Geist, D. C. Aldridge, R. Araujo, J. Bergengren, Y. Bernal, E. Bódís, L. Burlakova, D. Van Damme, K. Douda, E. Froufe, D. Georgiev, C. Gumpinger, A. Karatayev, U. Kebapçı, I. Killeen, J. Lajtner, B. M. Larsen, R. Lauceri, A. Legakis, S. Lois, S. Lundberg, E. Moorkens, G. Motte, K. O. Nagel, P. Ondina, A. Outeiro, M. Paunovic, V. Prié, T. von Proschwitz, N. Riccardi, M. Rudzite, M. Rudzitis, C. Scheder, M. Seddon, H. Şereflişan, V. Simić, S. Sokolova, K. Stoeckl, J. Taskinen, A. Teixeira, F. Thielen, T. Trichkova, S. Varandas, H. Vicentini, K. Zajac, T. Zajac & S. Zogaris, 2016. Conservation status of freshwater mussels in Europe: State of the art and future challenges. *Biological Reviews*

Ložek, V., 1956. *Klíč československých měkkýšů*. Vydavatel'stvo Slovenskej akademie vied, Bratislava.

Malcolm, I. A. & C. Soulsby, 2002. Thermal regime in the hyporheic zone of two contrasting salmonid spawning streams: ecological and hydrological implications. *Fisheries Management and Ecology* 9:1-10.

Malcolm, I. A., C. Soulsby, A. F. Youngson & J. Petry, 2003. Heterogeneity in groundwater surface water interactions in the hyporheic zone of a salmonid spawning

stream, towards integrating hydrometric and tracer approaches. *Hydrological Processes* 17:601-617.

Marzadri, A., D. Tonina & A. Bellin, 2013. Quantifying the importance of daily stream water temperature fluctuations on the hyporheic thermal regime: Implication for dissolved oxygen dynamics. *Journal of Hydrology* 507(2013):241-248.

Matasová, K., O. P. Simon, B. Dort, K. Douda & M. Bílý, 2013. Recent distribution of freshwater pearl mussel (*Margaritifera margaritifera*) at historical localities in the upper part of the Vltava River basin (Czech Republic). *Silva Gabreta* 19(3):139-148.

Moorkens, E., J. Cordeiro, M. B. Seddon, T. von Proschwitz & D. Woolnough, 2017. *Margaritifera margaritifera* (errata version published in 2018). The IUCN Red List of Threatened Species 2017. In. <http://oldredlist.iucnredlist.org/details/12799/0> cit. 2.14. 2019.

Onset, 2019a. HOBO U24-001 Data Logger.

Onset, 2019b. HOBO U26-001 Data Logger. In: Onset (ed).

Rau, G. C., M. S. Andersen, A. M. McCallum, H. Roshan & R. I. Acworth, 2014. Heat as a tracer to quantify water flow in near-surface sediments. *Earth-Science Reviews* 129:40-58.

Roley, S. S. & J. L. Tank, 2016. Pore water physicochemical constraints on the endangered clubshell mussel (*Pleurobema clava*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 73(12):1712-1722.

Rooney, N. & J. Kalff, 2003. Submerged macrophyte-bed effects on water-column phosphorus, chlorophyll a and bacterial production. *Ecosystems* 6:797-807.

Rosenberry, D. O., P. Z. Klos & A. Neal, 2012. In situ quantification of spatial and temporal variability of hyporheic exchange in static and mobile gravel-bed rivers. *Hydrological Processes* 26(4):604-612.

Schulz, M. & B. Guecker, 2005. Macrophytes increase spatial patchiness of fluvial sedimentary records and effect temporal particulate nutrient storage. *Aquatic Geochemistry* 11:89-107.

Silliman, S. E. & D. F. Booth, 1993. Analysis of time-series measurements of sediment temperature for identification of gaining vs. losing portions of Juday Creek, Indiana. *Journal of Hydrology* 146:131-148.

Simon, O. P., I. Vaníčková, M. Bílý, K. Douda, H. Patzenhauerová, J. Hruška & A. Peltánová, 2015a. The status of freshwater pearl mussel in the Czech republic: several successfully rejuvenated populations but the absence of natural reproduction. *Limnologia* 50:11-20.

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

Skopalová, J., M. Kotouček & P. Adamovský, 2008. Výpočty z elektroanalytických metod. In: <http://ach.upol.cz/ucebnice2/index.html> cit. 3.12.2019.

Soulsby, C., I. A. Malcolm & A. F. Youngson, 2001. Hydrochemistry of the hyporheic zone in salmon spawning gravels, a preliminary assessment in a degraded agricultural stream. *Regulated Rivers, Research and Management* 76:651-665.

Stanford, J. A. & J. V. Ward, 1988. The hyporheic habitat of river ecosystems. *Nature* 335:64-66.

Svendsen, L. M. & B. K. Kronvag, 1993. Retention of nitrogen and phosphorus in a Danish lowland river system - implications for the export from the watershed. *Hydrobiologia* 251:123-135.

Švanyga, J., O. P. Simon, T. Mináriková, O. Spisar & M. Bílý, 2013. Záchranný program pro perlrodku říční v ČR (Action plan for the endangered freshwater pearl mussel in the Czech Republic) (in Czech). In: NCA CR, K., CZ-148 00, Prague (ed). 1-76.

Tempcon, 2019. In: <https://www.tempcon.co.uk/shop/data-loggers/onset-hobo-data-loggers?p=3>.

Vanags, C., B. Minasny & A. B. McBratney, 2004. The dynamic penetrometer for assessment of soil mechanical resistance. *Proceedings of the SuperSoil*

- Vaničková, I., O. P. Simon & B. Dort, 2014. Omlazení populací perlorodky říční. *Ochrana přírody* 6:10-15.
- Vaux, W. G., 1962. Interchange of stream and intragravel water in a salmon spawning riffle. US Department of the Interior, Fish and Wildlife Service, Washington DC.
- Vaux, W. G., 1968. Intragravel flow and interchange of water in a streambed. *Fishery Bulletin* 663:479-489.
- Veličkonić, B., 2005. Colmation as one of the processes in interaction between the groundwater and surface water. *Facta universitas - series Architecture and Civil Engineering* 3(2):165-172.
- Vepraskas, M. J., 2002. Redox Potential Measurements. In. <http://www.water-research.net/course/RedoxWriteup.pdf> cit. 3.12.2019.
- Wafer, C. C., J. B. Richards & D. L. Osmond, 2004. Construction of Platinum-Tipped Redox Probes for Determining Soil Redox Potential. *Journal of Environmental Quality* 33(6):2375-2379.
- Wetzel, R. G., 2001. *Limnology* third edition. Academic Press, London.
- Whalley, W., P. Leeds-Harrison, L. Clark & D. Gowing, 2005. Use of effective stress to predict the penetrometer resistance of unsaturated agricultural soils. *Soil and Tillage Research* 84(1):18-27.
- White, D. S., 1993. Perspectives on defining and delineating hyporheic zones. *Journal of the North American Benthological Society* 12(1):61-69.
- Winkler, L. W., 1888. Die Bestimmung des im Wasser gelösten Sauerstoffes. *Berichte der Deutschen Chemischen Gesellschaft* 21(2):2843-2855.
- Winter, T. C., J. W. Harvey, O. Lehn Franke & W. M. Alley, 1999. *Ground Water and Surface Water A Single Resource*. U.S. Geological Survey, Denver, Colorado.
- WTW, 2008. WTW laboratorní katalog.
- WTW, 2010. Operating manual FDO925. WTW GmbH, Weilheim.
- Young, M. R. & J. C. Williams, 1984. The reproductive biology of the freshwater pearl mussel *Margaritifera margaritifera* (Linn.) in Scotland. I. Field studies. *Archiv fur Hydrobiologie* 99:405-422.

10 Seznam tabulek

Tab. 1 Porovnání parametrů přípojné a kontinuální sondy.

Tab. 2 korekční hodnoty na standardní vodíkovou elektrodu dle různých autorů.

Tab. 3 Přehled vybraných nároků na prostředí podle různých autorů.

Tab. 4 Přehled změn hloubek při zahrabání/vyhrabání teploměrů, příklad vyhrabaného teploměru v příloze 6.

Tabulka 5 Přehled umístěných teploměrů a počtu naměřených hodnot v hodinovém kroku.

Tab. 6 P-hodnoty provedených testů, červeně jsou označeny signifikantní hodnoty.

Tab. 7 Metodický pokus.

Tab. 8 Spearmanovy korelační koeficienty.

Tab. 9 Spearmanovy korelační koeficienty vybraných parametrů hyporeálu.

Tab. 10 Základní charakteristiky měření za „teplé“ a „studené“ období počítané ze všech příslušných teploměrů na podélném transektu. Průběh teplot u teploměrové sady 15 v „teplém“ období je znázorněno v příloze 16.

Tab. 11 Přehled orientačních cen měřících přístrojů nutného k měření parametrů mělkého hyporeálu. Riziko poškození je uváděno ve stupních: nízké, střední a vysoké. Zdroje: (Anonym 2019; Bier 2010; Ilabo 2019; Tempcon 2019; WTW 2008; WTW 2010).

11 Seznam obrázků

Obr. 1 Přehled jednotlivých měřítek, zdroj: vlastní zhotovení.

Obr. 2 Schéma downwellingu a upwellingu, zdroj: White (1993), upraveno.

Obr. 3 Statický a dynamický penetrometr, zdroj: (Anonym (2012); Vanags et al. (2004)), upraveno.

Obr. 4 Schéma měření redoxního potenciálu, zdroj: vlastní zhotovení.

Obr. 5 Perlorodka říční ve svém habitatu, juvenilní jedinec fotografie: Ondřej Simon.

Obr. 6 Rozšíření perlorodky říční v České republice, zdroj: AOPK ČR (2006).

Obr. 7 Umístění zájmové lokality v rámci NP Šumava, lokalizace příčného a podélného transektu, fotografie transektů v příloze 1 a 2, zdroj: ČÚZK, AOPK ČR.

Obr. 8 Sada teploměrů vytažená ze dna, č. 1 – 13 cm, č. 2 – 3 cm, č. 3 – volná voda, hřebík zcela bez stop rzi, příklad hřebíku se rzi v příloze 5, zdroj: vlastní fotografie.

Obr. 9 Grafické znázornění penetračního odporu a obsahu rozpuštěného kyslíku. Měření probíhalo od pravého břehu. Zelený rámeček značí místa, kde pravděpodobně dochází k downwellingu. Oranžové rámečky značí výskyt makrofyt.

Obr. 10 Vyobrazení penetračního odporu a konduktivity volné vody a hyporeálu. Měření probíhalo od pravého břehu. Zelený rámeček značí místa, kde pravděpodobně dochází k downwellingu. Oranžové rámečky značí výskyt makrofyt.

Obr. 11 Znázornění redoxních potenciálů, penetračního odporu, obsahu rozpuštěného kyslíku a zjištěné rzi na kotvících hřebících. Rez byla zjišťována v hloubce 15 cm + délka zobrazená v grafu. Zelenými rámečky jsou označena místa, kde dochází k downwellingu. Oranžové rámečky značí výskyt makrofyt.

Obr. 12 Znázornění průběhu teplot u jednotlivých teploměrů v období od 28.10.-11.11.2018 v hloubce 3 cm, ve vysokém rozlišení v příloze 10.

Obr. 13 Znázornění průběhu teplot u jednotlivých teploměrů v období od 28.10.-11.11.2018 v hloubce 13 cm, ve vysokém rozlišení v příloze 11.

Obr. 14 Znázornění průběhu teplot u jednotlivých teploměrů v období od 28.11.-3.12.2018 v hloubce 3 cm, ve vysokém rozlišení v příloze 12.

Obr 15 Znázornění průběhu teplot u jednotlivých teploměrů v období od 28.11.-3.12.2018 v hloubce 13 cm, ve vysokém rozlišení v příloze 13.

Obr. 16 Zobrazení rozdílů mezi 3 cm a volnou vodou. Zelené rámečky značí místa, kde podle obrázku 11 a teplotních dat dochází k downwellingu a jsou zde vhodné podmínky. Červené rámečky značí místa, kde podle teplotních dat dochází k downwellingu, ale ostatní parametry nejsou vyhovující (obr. 11). Oranžové rámečky značí výskyt makrofyt. Neoznačené datové řady představují upwelling.

Obr. 17 Znázorněné rozdíly mezi 13 cm a volnou vodou. Zelené rámečky značí místa, kde podle teplotních dat dochází k downwellingu a jsou zde vhodné podmínky i z hlediska dalších parametrů (obr. 11). Červené rámečky značí místa, kde podle teplotních dat dochází k downwellingu, ale ostatní parametry jsou nevyhovující. Oranžové rámečky značí výskyt makrofyt. Neoznačené datové řady představují upwelling.

Obr. 18 Znázornění rozdílů teplot mezi hloubkou 3 cm a referenční volnou vodou. Fialový rámeček označuje místa, kde docházelo především k vnořování vody povrchové, ale vyskytlo se zde několik epizod, při kterých zde docházelo k vnořování hyporeálové vody.

Obr. 19 Znázornění rozdílů teplot mezi hloubkou 13 cm a referenční volnou vodou.

Obr. 20 Odnášení jemného sedimentu při vyšším průtoku, povrch dna zůstává nezměněn, zdroj: (Dixen et Mutlu Sumer 2008).

12 Seznam příloh

Příloha 1 Místo, kde byl vytyčen podélný transekt, foto: J. Horáčková.

Příloha 2 Lokalita příčného transektu, umístování kontinuálních sond do dna, zdroj: vlastní fotografie.

Příloha 3 Odběr vzorku hyporeálové vody za využití stříkačky, flexibilní hadičky a PVC trubičky, foto: O. Simon.

Příloha 4 Příklad jedné sady teploměrů umístěné ve dně, vlastní fotografie.

Příloha 5 Příklad kotvícího hřebíku z velké části pokrytého rzí, vlastní fotografie.

Příloha 6 Příklad sady teploměrů, kde došlo k vyhrabání teploměru z hloubky 3 cm, vlastní fotografie.

Příloha 7 Krabicové grafy redoxního potenciálu měřeného 26.-27.10.2018.

Příloha 8 Krabicové grafy redoxního potenciálu měřeného 16.-17.11.2018.

Příloha 9 Vstupní data pro porovnání 1. a 2. vzorku odebrané hyporeálové vody. Pro srovnání vzorků bylo použité měření 1-21. U měření 22-28 se z časových důvodů konduktivita a obsah kyslíku měřil pouze u 2. odebraného vzorku. Kyslík je uváděn v % a konduktivita v $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Příloha 10 Znázornění průběhu teplot u jednotlivých teploměrů v období od 28.10.-11.11.2018 v hloubce 3 cm.

Příloha 11 Znázornění průběhu teplot u jednotlivých teploměrů v období od 28.10.-11.11.2018 v hloubce 13 cm.

Příloha 12 Znázornění průběhu teplot u jednotlivých teploměrů v období od 28.11.-3.12.2018 v hloubce 3 cm.

Příloha 13 Znázornění průběhu teplot u jednotlivých teploměrů v období od 28.11.-3.12.2018 v hloubce 13 cm.

Příloha 14 Krabicové grafy penetračního odporu sedimentu dna ve 3 cm.

Příloha 15 Krabicové grafy penetračního odporu sedimentu dna ve 13 cm.

Příloha 16 Ukázka píku teploměru volné vody v sadě 21 (označeno červenými kroužky). Teploměry s těmito píky byly odstraněny pro vytvoření referenční volné vody.

Příloha 17 Ukázka průběhu teplot v období 28.10.-11.11.2018 u sady teploměrů 15.

Příloha 18. Variační koeficienty hloubky 3 cm. Bližší hodnota k referenční volné vodě značí vyšší ovlivnění povrchovou vodou.

Příloha 19 Variační koeficienty hloubky 13 cm. Bližší hodnota k referenční volné vodě značí vyšší ovlivnění povrchovou vodou.

Příloha 20 Průběh teplot na Malši v Bifurkaci v období 4.7.-31.7.2018 v hloubce 3 cm.

Příloha 21 Průběh teplot na Malši v Bifurkace v období 4.7.-31.7.2018 v hloubce 13 cm.

13 Přílohy



Příloha 1 Místo, kde byl vytyčen podélný transekt, foto: J. Horáčková.



Příloha 2 Lokalita příčného transektu, umístování kontinuálních sond do dna, zdroj: vlastní fotografie.



Příloha 3 Odběr vzorku hyporeálové vody za využití stříkačky, flexibilní hadičky a PVC trubičky, foto: O. Simon.



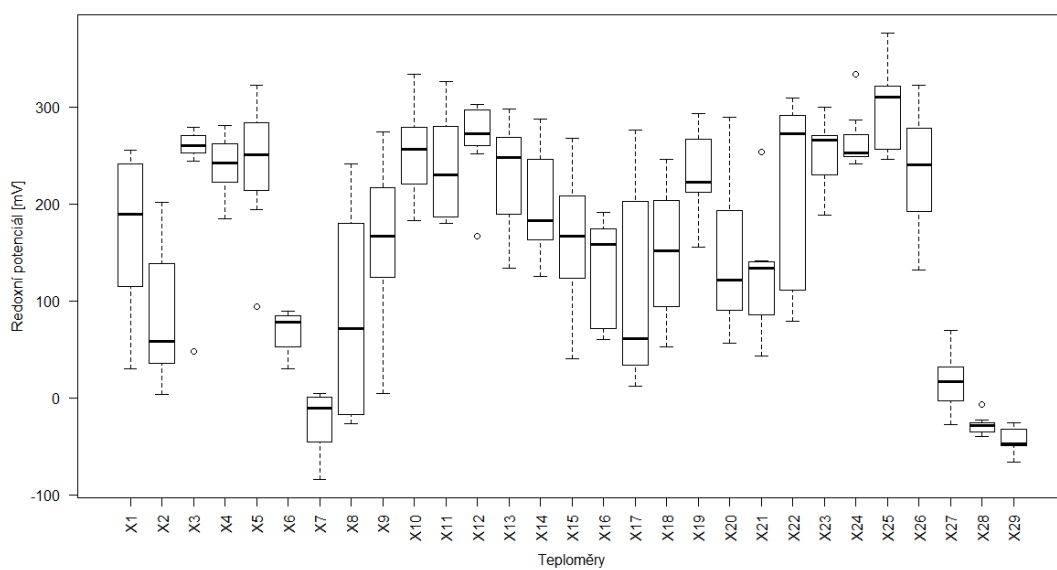
Příloha 4 Příklad jedné sady teploměrů umístěné ve dně, vlastní fotografie.



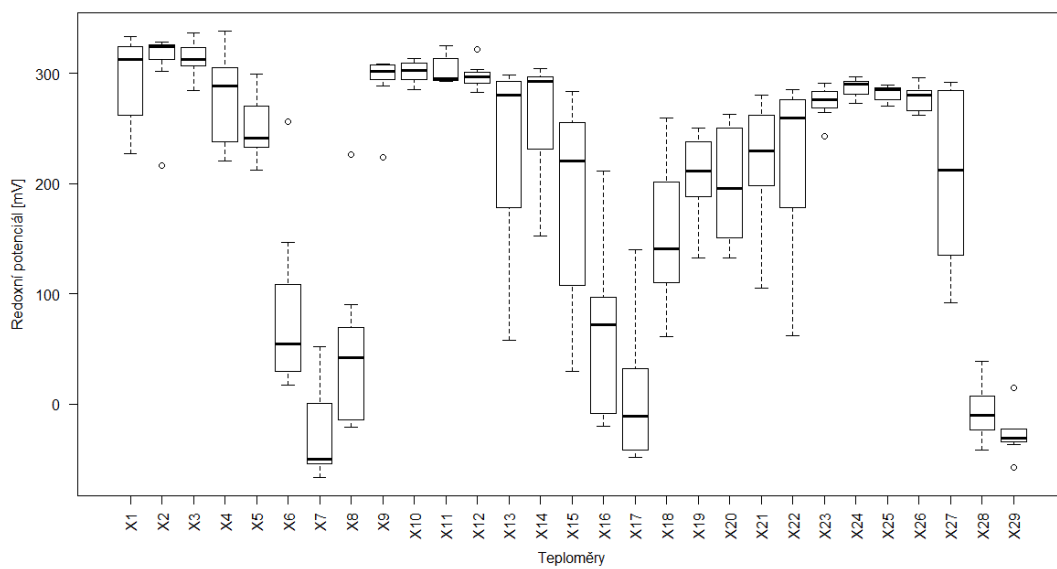
Příloha 5 Příklad kotvícího hřebíku z velké části pokrytého rží, vlastní fotografie.



Příloha 6 Příklad sady teploměrů, kde došlo k vyhrabání teploměru z hloubky 3 cm, vlastní fotografie.



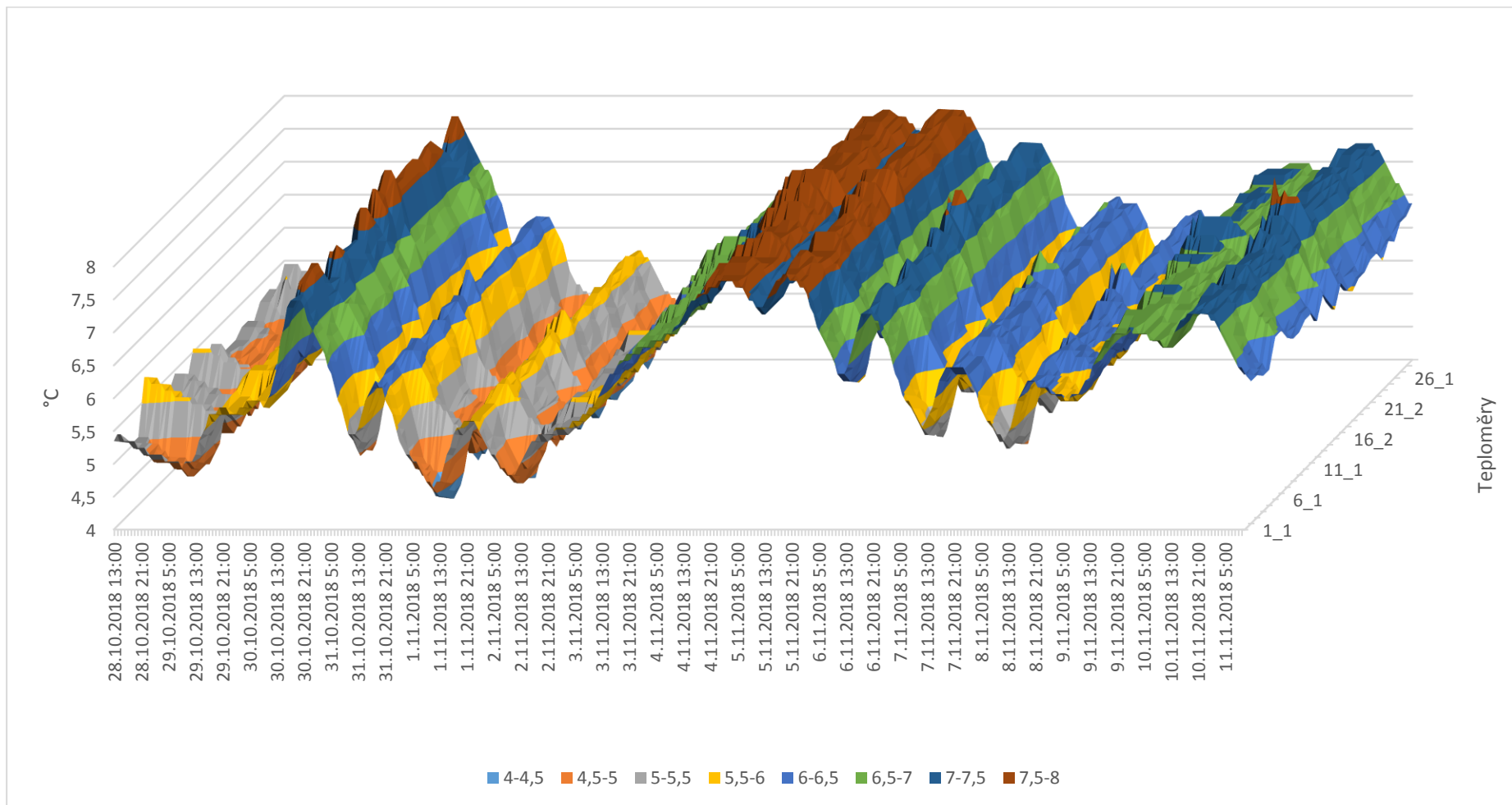
Příloha 7 Krabicové grafy redoxního potenciálu měřeného 26.-27.10.2018.



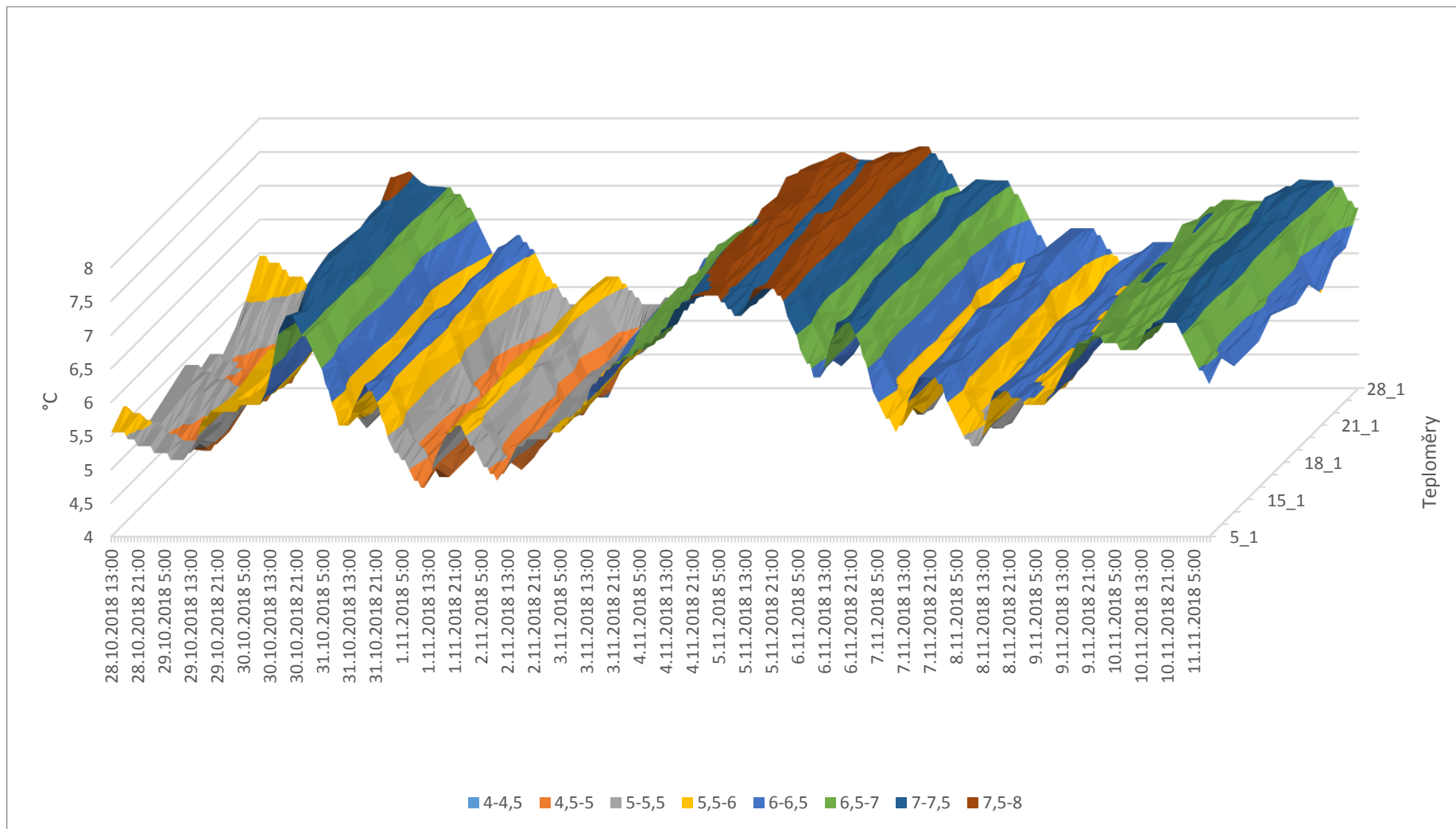
Příloha 8 Krabicové grafy redoxního potenciálu měřeného 16.-17.11.2018.

Měření	CON3	CON3_2	CON13	CON13_2	O ₂ _3	O ₂ _3_2	O ₂ _13	O ₂ _13_2
1	64,5	58,2	55,1	55,1	81,6	64,5	56,4	36,4
2	66,8	66,8	70,9	74,1	57,5	32,2	54,5	43,7
3	66,3	67,5	62,1	61,7	47,2	36	52,5	42,6
4	66,1	67	67,9	69	55,9	42	62,4	44,4
5	76,3	72,2	78,1	84,4	62,9	56,5	38,3	36,8
6	81,7	84	73,1	76,3	32,3	41	55,1	45,6
7	72,2	63,3	62,7	62,5	44	54,5	34	51,6
8	58,7	55,4	64,3	66,8	67,7	73	41,2	44,5
9	56,5	54	59,4	57,6	67,5	64,9	49,1	41,4
10	68,7	66,1	68,2	66,5	62,5	62	51,9	52,1
11	70	70,1	74,3	77,2	66,6	65,5	36,3	42,5
12	74,8	77,2	71,7	74,8	49	34,3	41,9	28,8
13	91,1	95,6	84,6	88,4	39,1	35,1	29,3	36,4
14	111,2	126,2	69,1	81,9	46,6	40,5	45,6	40,3
15	62,5	61,8	69,3	70,4	100,8	102,8	54,3	48,5
16	80	83,1	84,9	85,5	81,3	74,6	51	37,7
17	70,2	68,3	59,9	55,9	73	88,9	49,9	68,9
18	60,6	61,3	57,7	60,5	101,1	118,5	63,1	63,4
19	61,4	60,4	59,3	56,8	62,6	70,2	67,1	59,8
20	63,5	61	61,4	62,5	80,5	103,5	67,4	49,8
21	71,3	65,7	59,2	71,8	72,7	78,2	49,8	50,6
22		68		68,5		97,1		73,2
23		66,4		69,9		93		94,8
24		65,6		60,5		97,6		27,8
25		64,6		59,5		95,6		109,5
26		64,8		70,8		105,5		96,8
27		62,8		64,6		93		108,3
28		63,7		67,1		100,2		96,3

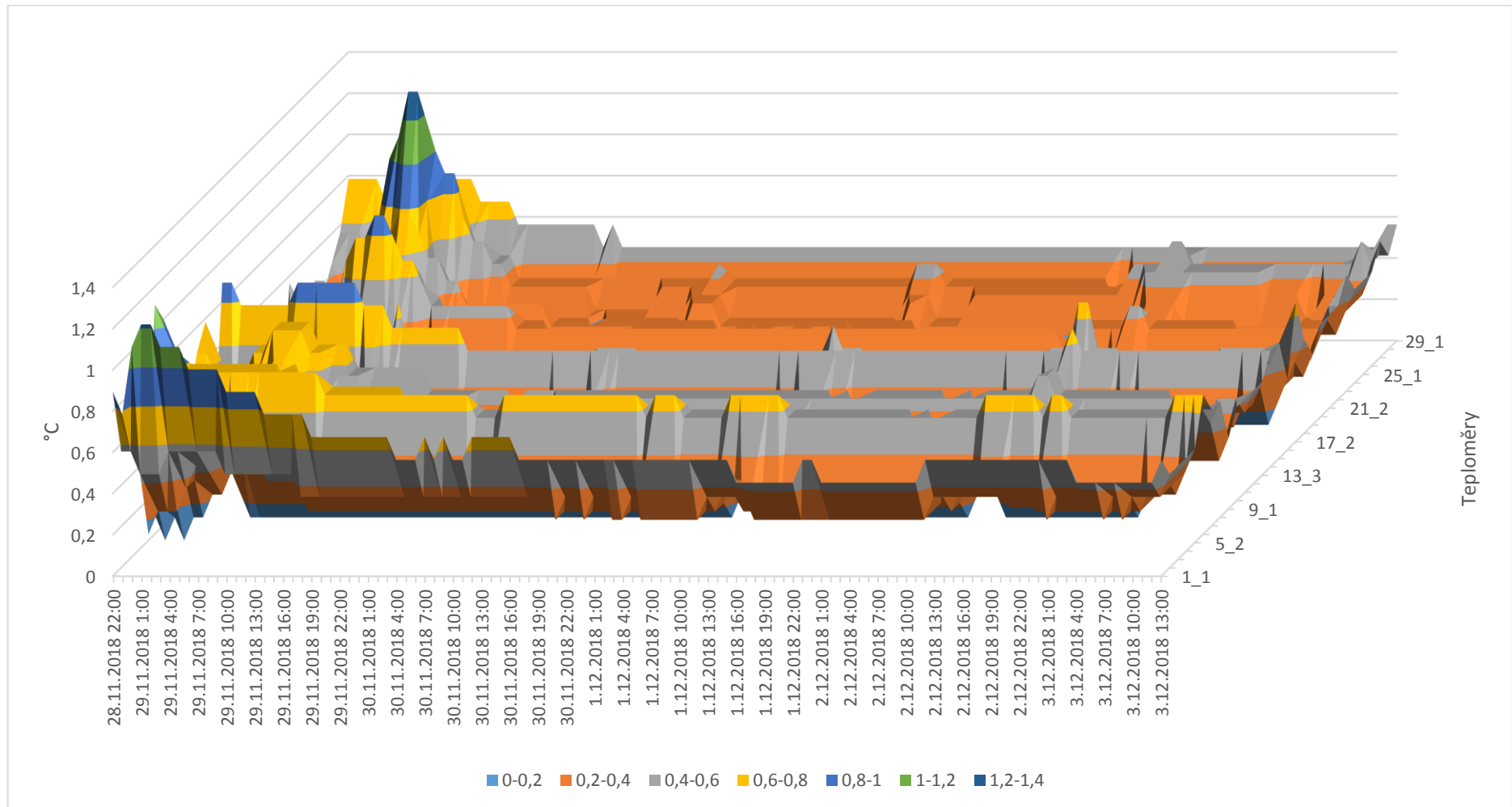
Příloha 9 Vstupní data pro porovnání 1. a 2. vzorku odebrané hyporeálové vody. Pro srovnání vzorků bylo použité měření 1-21. U měření 22-28 se z časových důvodů konduktivita a obsah kyslíku měřil pouze u 2. odebraného vzorku. Kyslík je uváděn v % a konduktivita v $\mu\text{S}/\text{cm}$.



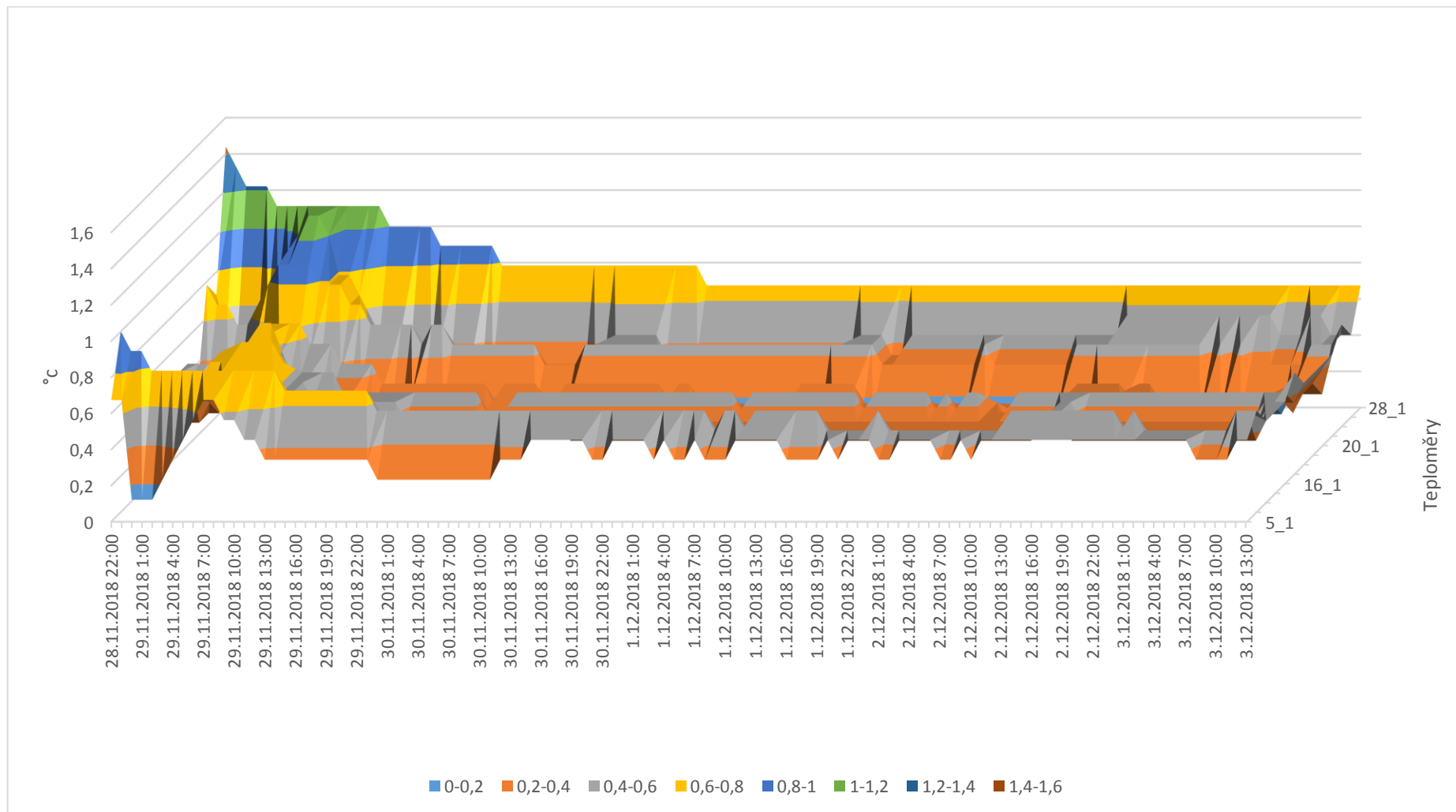
Příloha 10 Znáornění průběhu teplot u jednotlivých teploměřů v období od 28.10.-11.11.2018 v hloubce 3 cm.



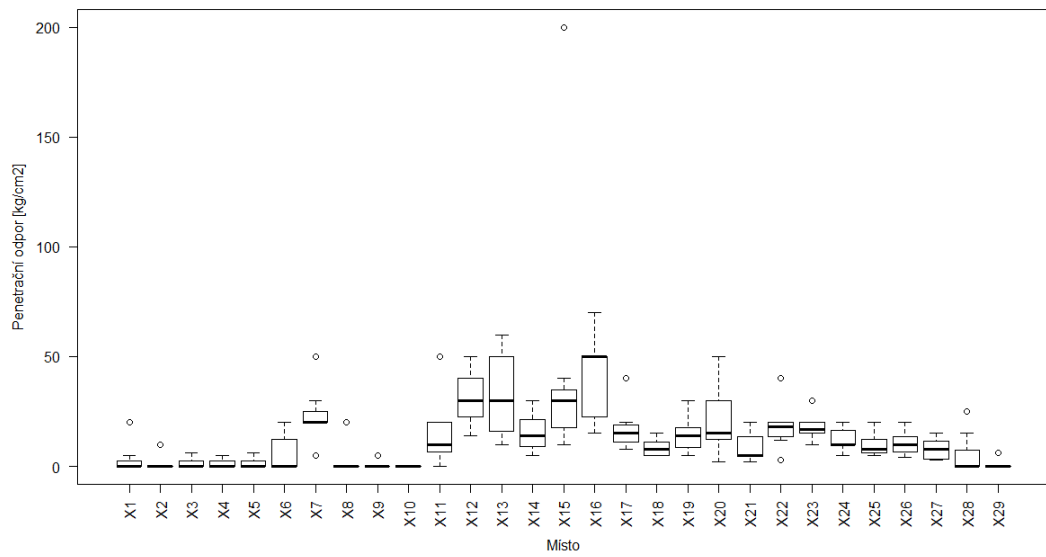
Příloha 11 Znáornění průběhu teplot u jednotlivých teploměřů v období od 28.10.-11.11.2018 v hloubce 13 cm.



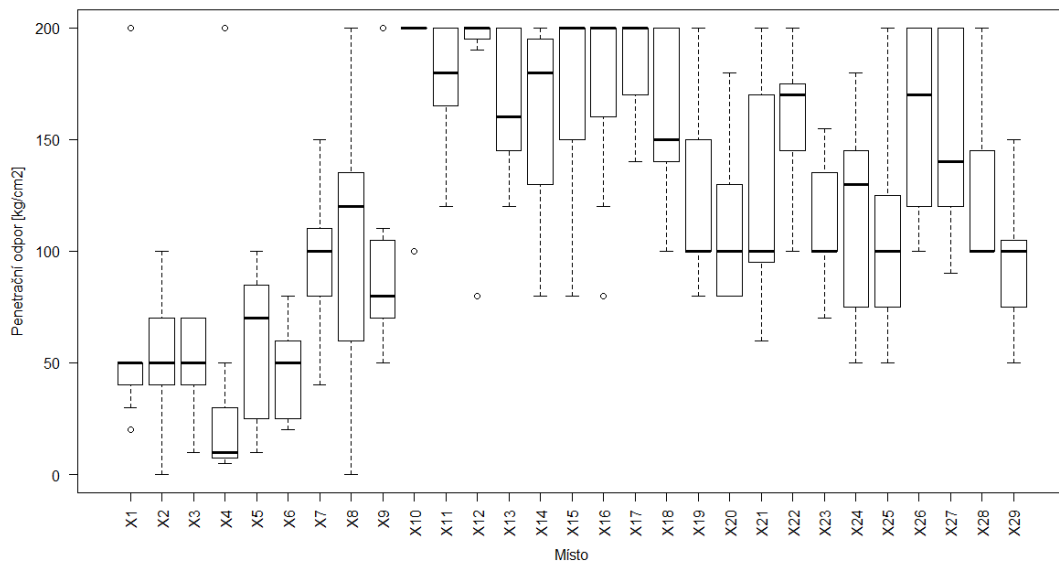
Příloha 12 Znáornění průběhu teplot u jednotlivých teploměřů v období od 28.11.-3.12.2018 v hloubce 3 cm.



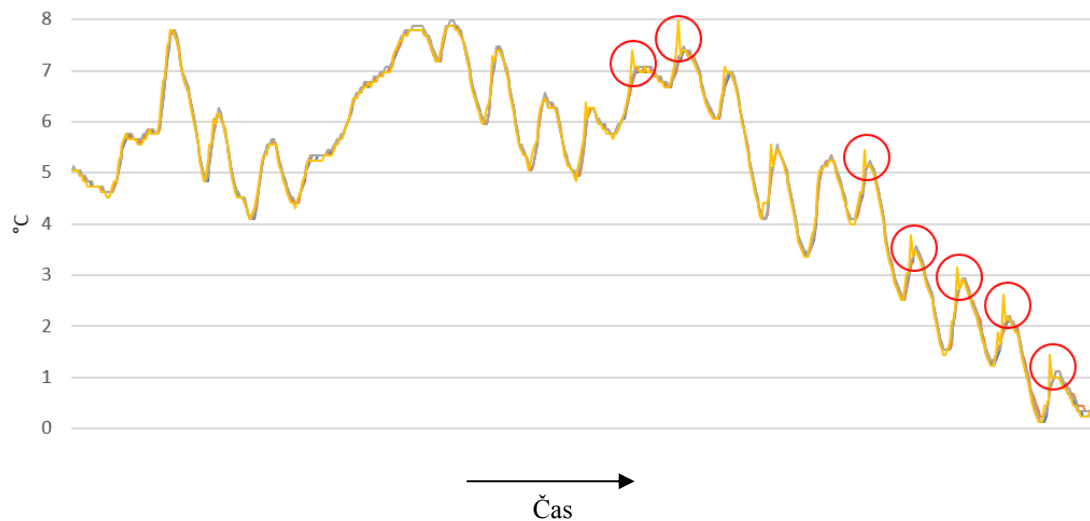
Příloha 13 Znáornění průběhu teplot u jednotlivých teploměů v období od 28.11.-3.12.2018 v hloubce 13 cm.



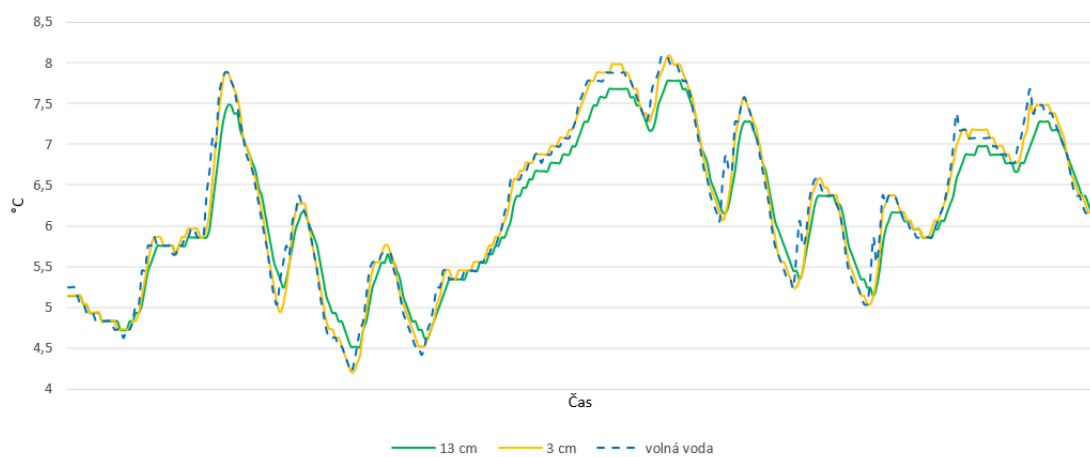
Příloha 14 Krabicové grafy penetračního odporu sedimentu dna ve 3 cm.



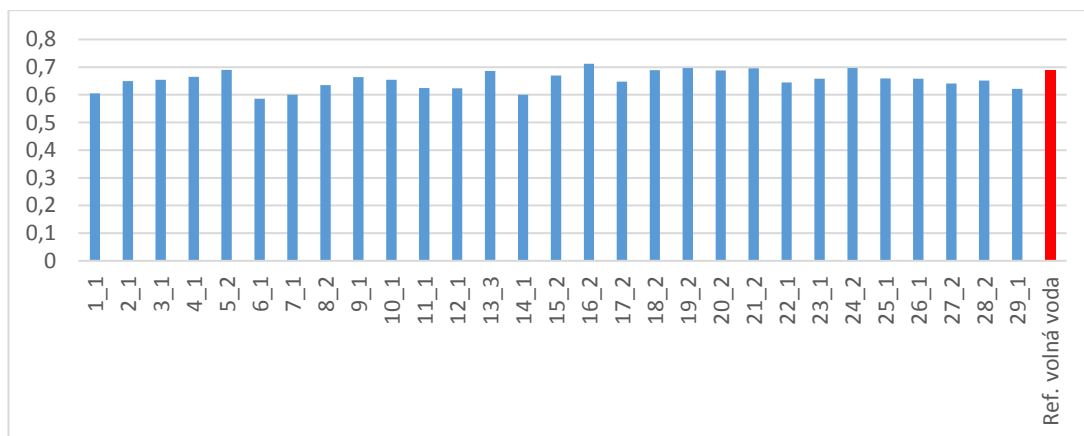
Příloha 15 Krabicové grafy penetračního odporu sedimentu dna ve 13 cm.



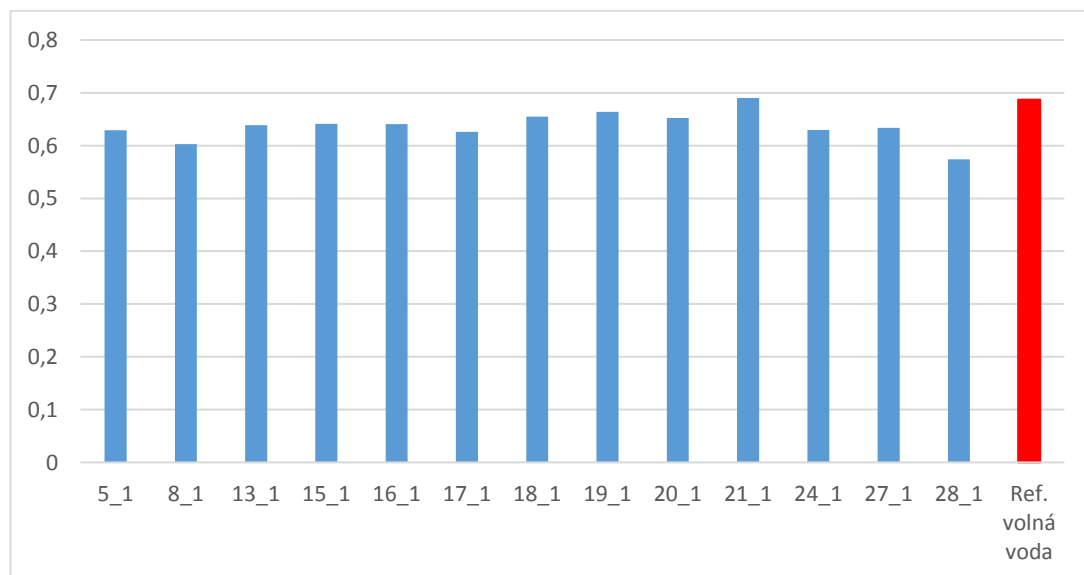
Příloha 16 Ukázka píku teploměru volné vody v sadě 21 (označeno červenými kroužky). Teploměry s těmito píky byly odstraněny pro vytvoření referenční volné vody.



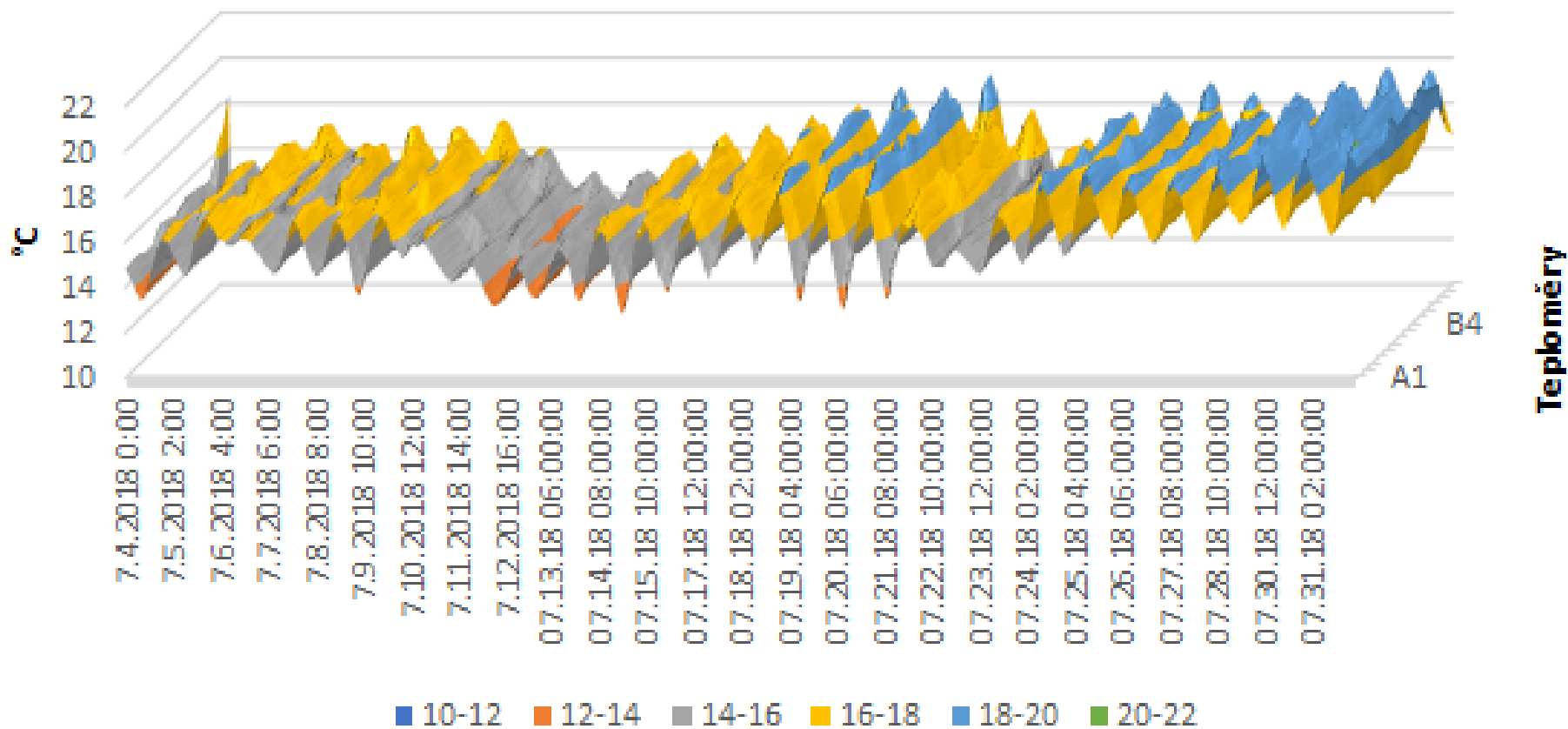
Příloha 17 Ukázka průběhu teplot v období 28.10.-11.11.2018 u sady teploměrů 15.



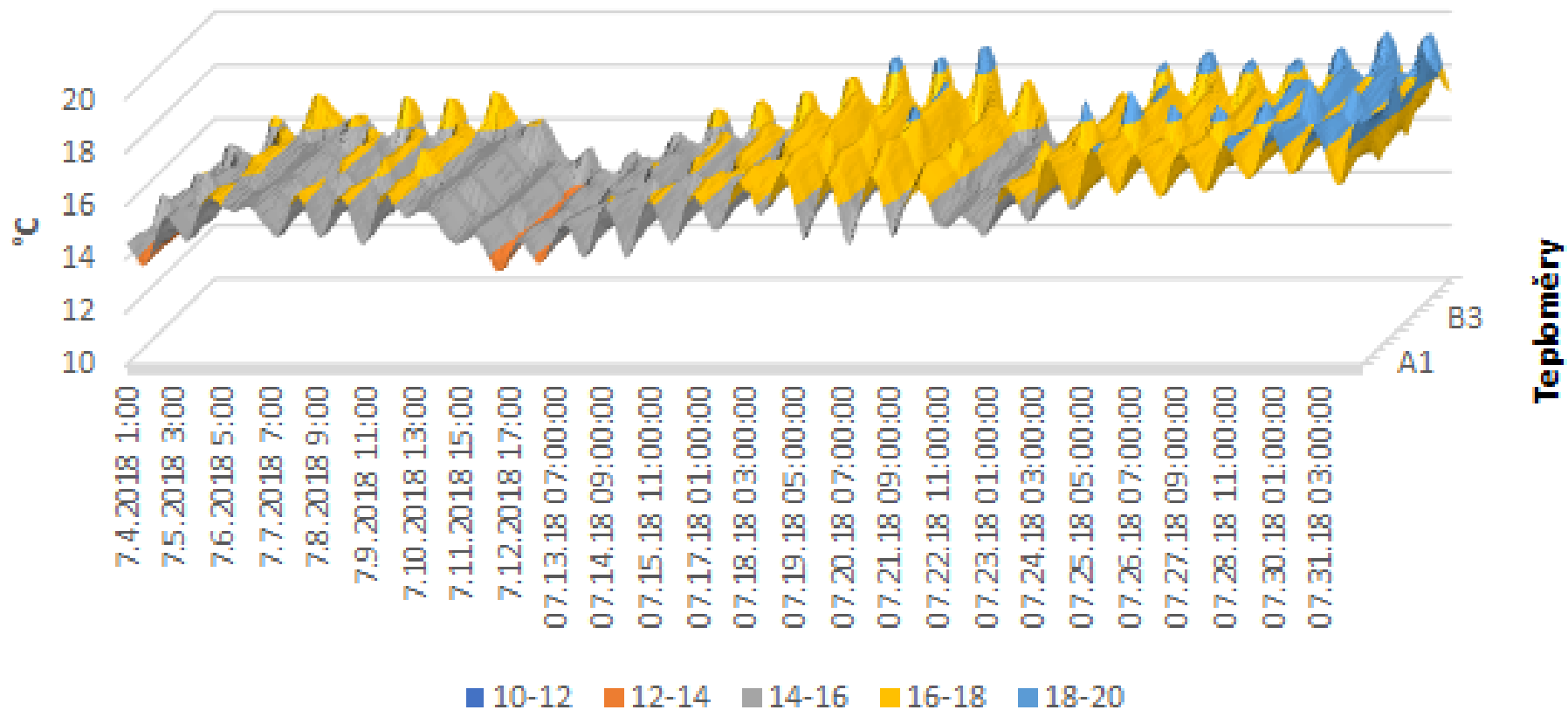
Příloha 18 Variační koeficienty hloubky 3 cm. Bližší hodnota k referenční volné vodě značí vyšší ovlivnění povrchovou vodou.



Příloha 19 Variační koeficienty hloubky 13 cm. Bližší hodnota k referenční volné vodě značí vyšší ovlivnění povrchovou vodou.



Příloha 20 Průběh teplot na Malši v Bifurkaci v období 4.7.-31.7.2018 v hloubce 3 cm.



Příloha 21 Průběh teplot na Malši v Bifurkace v období 4.7.-31.7.2018 v hloubce 13 cm.