

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

KATEDRA EKOLOGIE



VARIABILITA VÝMĚNY HYPOREÁLNÍ A
POVRCHOVÉ VODY NA EXPERIMENTÁLNÍM
ÚSEKU TEPLÉ VLTAVY

DIPLOMOVÁ PRÁCE

VEDOUCÍ PRÁCE:

Mgr. MICHAL BÍLÝ, Ph.D.

AUTOR:

Bc. PETR MAXA

2023

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Petr Maxa

Voda v krajině

Název práce

Variabilita výměny hyporeální a povrchové vody na experimentálním úseku Teplé Vltavy

Název anglicky

Hyporheic and surface water change variability in Tepla Vltava River experimental stretch.

Cíle práce

Popsat variabilitu teplotních rozdílů a pravděpodobných směrů pohybu vody ve dvou různých hloubkách mělkého hyporeálu v rámci experimentálního říčního úseku.

Metodika

Na experimentálním úseku Teplé Vltavy bude instalována série kontinuálních teplotních čidel, umístěných po dvojicích do dvou hloubkových horizontů hyporeálu.

Základními sériemi budou: a) liniový transekt ve směru proudu se sledovanými body vzdálenými od sebe 50 cm a b) experimentální čtverec 1 x 1 m se sítí 9 sledovaných bodů. Obě tyto série reprezentují běžný typ dna toku v tomto úseku. Doplňkově budou čidla umístěna též do vybraných dnových mikrohabitatů, kde lze předpokládat odlišné hydrodynamické podmínky (porost makrofyt, stagnující bahnitě dno).

Vyhodnocení bude spočívat v porovnání teplotního chodu v obou hloubkových horizontech jednotlivých bodů s teplotním chodem ve volně proudící vodě, který bude též kontinuálně měřen. Na základě hodnotových a časových rozdílů teplotních oscilací pak bude možno charakterizovat variabilitu výměny povrchové a hyporeální vody v tomto experimentálním úseku toku .

Při hodnocení budou využita též průtoková data a data z bodových měření rozpuštěného kyslíku v hyporeálu daného úseku.

Výsledky budou sloužit pro poznání zákonitostí pohybů hyporeální vody. V budoucnu by měly být použity při volbě habitatů vhodných k výsadku juvenilních jedinců perlorodky říční v rámci jejího záchranného programu.

Časový harmonogram vypracování DP:

Příprava experimentu: IV – V 2022

měření v terénu : VI – VII 2022

vyhodnocení výsledků : VIII – IX 2022

sepsání práce: XII 2022 -III 2023

Doporučený rozsah práce

40 stran

Klíčová slova

hyporeál, teplota, Teplá Vltava

Doporučené zdroje informací

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



Předběžný termín obhajoby

2022/23 LS – FŽP

Vedoucí práce

Mgr. Michal Bílý, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra ekologie

Elektronicky schváleno dne 13. 3. 2023

prof. Mgr. Bohumil Mandák, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 23. 3. 2023

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.

Děkan

V Praze dne 24. 03. 2023

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma „Variabilita výměny hyporeální a povrchové vody na experimentálním úseku Teplé Vltavy“ vypracoval samostatně a citoval jsem všechny informační zdroje, které jsem v práci použil a které jsem uvedl na konci práce v seznamu použitých informačních zdrojů.

Jsem si vědom, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.

Přijímám, že odevzdáním diplomové práce souhlasím s jejím zveřejněním podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Svým podpisem rovněž prohlašuji, že elektronická verze práce je totožná s verzí tištěnou a že s údaji uvedenými v práci bylo nakládáno v souvislosti s GDPR.

V Praze dne:

Podpis autora:

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval svému vedoucímu práce Mgr. Michalu Bílému, Ph.D., za velmi obětavý a pečlivý přístup v průběhu celé práce. Dále bych chtěl poděkovat Mgr. Ondřeji Simonovi, Ph.D., a RNDr. Jitce Horáčkové, Ph.D. za pomoc a za poskytnuté informace při práci nejen v terénu. Velké díky patří RNDr. Zuzaně Hořické, Ph.D. z Výzkumného ústavu vodohospodářského T.G. Masaryka, v.v.i., za poskytnutá data k lokalitě a za asistenci. V neposlední řadě bych rád poděkoval své rodině, partnerce a přátelům za podporu, kteří mi byli oporou během celého studia.

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá variabilitou výměny povrchové a hyporeální vody v mělkém hyporeálu Teplé Vltavy. Pro účely práce byly přímo do hyporeálu v roce 2022 instalovány kontinuální autonomní čidla pro sledování teploty. Hlavním cílem této práce je popsat variabilitu teplotních rozdílů a pravděpodobných směrů pohybu vody ve dvou různých hloubkách mělkého hyporeálu v rámci experimentálního říčního úseku.

Klíčová slova: hyporeál, teplota, Teplá Vltava

ABSTRACT

This thesis deals with the variability of surface and hyporheic water exchange in the shallow hyporheic of the Teplá Vltava River. For the purpose of the thesis, continuous autonomous temperature monitoring sensors were installed directly into the hyporeal in 2022. The main objective of this work is to describe the variability of temperature differences and probable directions of water movement at two different depths of the shallow hyporeal within the experimental river reach.

Key words: hyporeal, temperature, Teplá Vltava

Obsah

1	Úvod	1
2	Cíle práce.....	2
3	Literární rešerše	3
3.1	Obecná hydrologie proudících vod	3
3.2	Průtokové poměry ve vodách a jejich měření.....	6
3.2.1.	Metody měření rychlosti proudění	7
3.2.2.	Metody měření výšky hladiny a průtoku vody	9
3.3	Fyzikální a chemické vlastnosti vody	10
3.4	Světelné podmínky (světlo jako faktor) a sluneční záření ve vodě	12
3.4.1.	Metody měření průhlednosti vody.....	12
3.5	Teplotní režim vod.....	13
3.5.1.	Zdroje tepelné energie	13
3.5.2.	Časová proměnlivost teplotního režimu	13
3.5.3.	Izolační a tlumící tepelné procesy	14
3.5.4.	Říční proces výměny tepla.....	15
3.5.5.	Hyporeálová výměna.....	16
3.5.6.	Metody měření hyporeálové výměny	17
3.6	Koloběh kyslíku ve vodách	17
3.6.1.	Metody měření obsahu kyslíku	18
3.7	Životní prostředí vod	18
3.8	Geomorfologie a geologie podloží	19
3.8.1.	Množství splavenin.....	20
3.9	Pohyb sedimentů.....	20
3.10	Hyporeál	21
3.11	Souvislosti se zájmovým územím	23
4	Metodika	25
4.1	Experimentální lokalita.....	25
4.2	Metodika měření.....	25
4.3	Terénní práce.....	28
4.4	Doplňující měření – rozpuštěný kyslík a výška hladiny.....	29
4.5	Porovnání paralelních měření – validace dat a jejich vyhodnocení	30
5	Výsledky.....	32
5.1	Volná voda.....	32
5.2	Transekt.....	33
5.3	Superčtverec.....	38

5.4	Makrofyta	43
5.5	Bahna.....	45
6	Diskuze	47
7	Závěr a přínos práce.....	49
8	Literatura a použité zdroje.....	50
9	Seznam obrázků	54
10	Seznam tabulek	59

1 Úvod

Horní úsek Teplé Vltavy protéká nádhernou šumavskou krajinou. Říční koryto je v této části ještě velmi úzké, samovolně meandruje, mělčiny střídají hluboké tůně, nezdědká řeka připlaví padlý strom. Voda je krásně průzračná s typickou načervenalou barvou.

Úživnost sledovaného toku má oligotrofní charakter. Takové vody obsahují jen malé množství rozpuštěných látek. Oligotrofní toky produkují výrazně méně organické hmoty, potenciálních živin, oproti jiným třídám trofie.

Zásadní fyzikální parametr vody pro přežití různých organismů představuje její teplota a rozpuštěný kyslík. Teplotní poměry v říčním hyporeálu jsou hlavním předmětem této práce. Hyporeál představuje část sedimentů plně nasycených vodou, které doprovází říční toky. Z hydrologického pohledu definujeme hyporeál jako „střední vrstvu“ mezi vodou v korytě a nadpodzemní vodou (pokud je přítomna) (Boano et al., 2014).

V říčním prostředí narazíme na oblasti, ve kterých dochází k zanořování nebo vynořování vody do dna. Proces, ve kterém dominuje zanořování do říčního dna, nazýváme downwelling. Tento způsob výměny v říčním prostředí poskytuje vhodné okysličené prostředí. Naopak vzestupný proud, zvaný upwelling, obvykle přináší do mělkého hyporeálu kyslíkový deficit. Takové místo bude pro většinu organismů nevhodné.

Předkládaná práce hodnotí teplotní rozdíly na určených místech hyporeálu Teplé Vltavy. V rámci experimentu byla nainstalována síť teplotních senzorů umístěných ve dvou hloubkách se zaměřením na variabilitu směru proudění vody. Doplňkové měření zahrnovalo jak koncentraci rozpuštěného kyslíku, tak tlakovou výšku hladiny, jež přispěla k pochopení dynamiky říčních procesů. Na základě porovnání teplotních dat z různých vrstev hyporeálu byl vyhodnocen pravděpodobný směr pohybu vody.

2 Cíle práce

Účelem předkládané práce je blíže charakterizovat časově-prostorovou heterogenitu teplotních rozdílů na předem určených lokalitách krátkého úseku řeky Teplé Vltavy. Experiment se specializuje na horizont mělkého hyporeálu (3 a 13 cm) v období od května do října 2022.

V rámci experimentálního úseku řeky byla zřízena síť teplotních senzorů, umístěných systematicky do určených hloubkových horizontů. Experiment se zabýval variabilitou pravděpodobných směrů proudění vody v celkem čtyřech sériích. Série tvoří jakýsi průnik ploch, které lze běžně v prostředí říčního toku objevit. Vývoj teplotního chodu volně proudící vody rovněž dostal kontinuálnímu měření.

Dále byl experiment zaměřen na sběr dat koncentrace rozpuštěného kyslíku ve vybraných dnech s různými meteorologickými podmínkami. Doplňující měření zahrnovalo autonomní kontinuální snímání tlakové výšky hladiny.

Vyhodnocení je založeno na vzájemném porovnání dvou hloubkových horizontů jednotlivých bodů s teplotní variabilitou povrchové volné vody ve zmíněném úseku. V souvislosti odhalených teplotních i časových rozdílů lze vystihnout heterogenitu výměny vody mezi říčním a hyporeálovým prostředím.

Výsledky práce poslouží pro rozšíření povědomí o zákonitostech říčního prostředí. Do budoucna získané poznatky mohou být aplikovány pro hledání habitatů určených k výsadku juvenilních jedinců perlorodky říční na základě vlastního záchranného programu.

3 Literární rešerše

3.1 Obecná hydrologie proudících vod

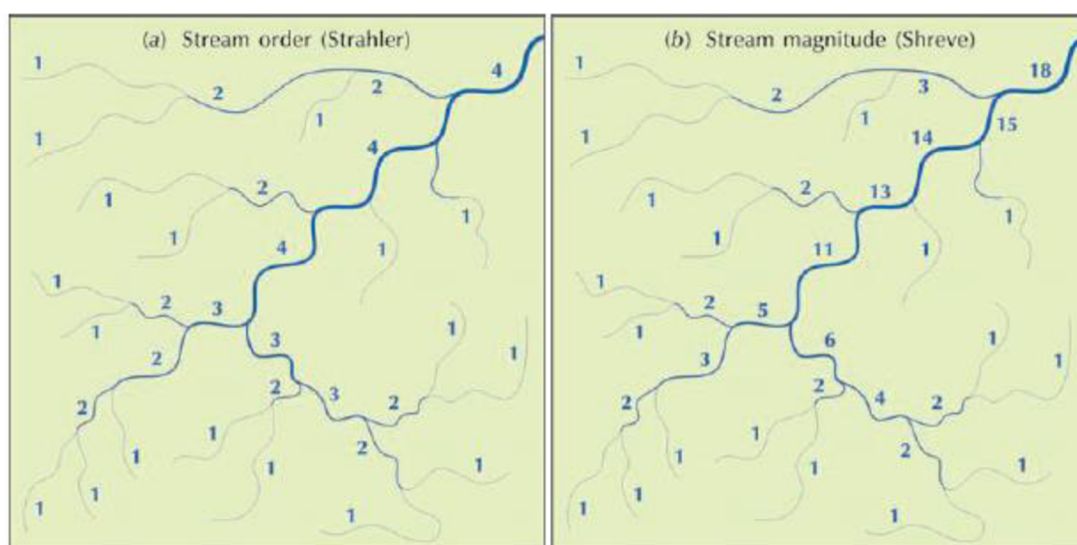
Řeky od pradávna měly velký vliv na činnosti člověka v různých koutech světa. Byly prostředkem pro komunikaci, obchod, dopravu, energii, rekreaci, tvoří přirozené hranice, či měly vliv na průběh válek. Jsou to jakési tepny odvádějící vodu, živiny a sedimenty z povodí pryč. Malé potoky a bystřiny se spojují ve větší řeky, až nakonec ústí do moře (Galia, 2017). Voda přináší lidstvu prostředek k pití, mytí, zemědělství. Voda v sobě skrývá nejen život, ale také katastrofální povodně s ničivou silou. Aby se tomuto předešlo, vznikají velké nádrže, díky nimž dojde k zásadní změně přirozeného říčního koloběhu (Czernuszenko, 2009).

Voda pochází ze srážek (déšť, sníh, led), u kterých nedochází k výparu, k záchytu na vegetaci, ani k vsaku do půdy. Taková voda odtéká po povrchu do říčních sítí. Povrchový odtok spolu s podzemními vodami vytváří propojené vodní toky v hydrografické síti, které následně odvodňují celé povodí (Ambrožová, 2003; Czernuszenko, 2009; Lellák & Kubíček, 1992). Řeky nenásilně proudí jednosměrně z vyšších poloh do nižších napříč územím (Huggett, 2011; Velde et al., 2009).

Ke zlepšení popisu tras, kudy se původem srážková voda přesouvá k závěrovému profilu povodí, využíváme Hortonovy zákony. Zákony později revidoval Strahler, díky čemuž známe tzv. Strahlerovo číslování (Máca, 2010; Máca, 2014; Velde et al., 2009).

Pro lepší identifikaci jednotlivých toků v povodích bylo zavedeno Strahlerovo číslování (Obr. 3.1.1.a). Na základě pravidel týkajících se uspořádání říční sítě umožníme rozdělení plochy povodí do subpovodí, jenž odvodňují toky s přiděleným řádem. Dle Strahlerova pořadí, úsek 1. řádu vytéká z pramene. Úsek 2. řádu vzniká soutokem dvou toků 1. řádu. Úsek 3. řádu vzniká spojením dvou toků 2. řádu atp. Hodnota řádu není zvýšena, pokud dojde k soutoku s jiným tokem nižšího řádu (Máca, 2010; Máca, 2014; Velde et al., 2009).

Méně využívaný způsob rozlišování řádu představuje Shreveovo číslování (Obr.3.1.1.b). Na rozdíl od Strahlera definuje řád úseku jako celkovou sumu přítoků, které do toku ústí (Huggett, 2011).



Obrázek 3.1.1 Řády toků říční sítě; a) Strahlerovo číslování; b) Shreveovo číslování; (Huggett, 2011)

Příslušnosti podle řádů můžeme rozlišit jemným, nebo hrubým dělením. Jemné dělení obsahuje hierarchicky strukturovaný dvanácti místní kód, zatímco hrubé dělení využívá pouze sedmi místní (Linhartová & Zbořil, 2006). Jedna pozice kódu vždy určuje jednoznačné přiřazení vodního toku k úmoří (Labe: 1; Odra: 2; Dunaj: 4). Takový systém číslování toků přiřazuje každému číslu hydrologického pořadí jednoznačné zařazení ploch povodí na celém území ČR dle hydrologické posloupnosti (Linhartová & Zbořil, 2006).

Povodím rozumíme depresní útvar zemského povrchu, ohraničený rozvodnicí, soustředící vodu do daného profilu vodního toku (Lehotský & Grešková, 2004). Území s různou rozlohou oddělují linie nejvyšších hřebenů a sedel, tedy rozvodí. Hranici okolo povodí nazýváme rozvodnicí. Z rozvodí stékají srážkové vody do vlastních povodí. Obvykle povodí vymezuje uzávěrový profil a rozvodnice (Máca, 2014).

Standardním způsobem vymezujeme dva typy povodí:

Povodí povrchových vod - v případě nepropustného povrchu povodí. Linii vymezující takové území nazýváme rozvodnicí orografickou. Klikněte nebo klepněte sem a zadejte text.

Hydrogeologické povodí - v závislosti na hydrogeologické poměry v povodí stanovujeme hydrogeologickou rozvodnicí. Hydrogeologická rozvodnice nemusí kopírovat rozvodnicí orografickou (Máca, 2014).

Povodí bývají charakteristická svojí hustotou říční sítě, součinitelem tvaru povodí, střední šířkou, nebo sklonem povodí. Rozlišujeme rovněž tvary povodí vějířovitá, přechodná, protáhlá atp. Průběh odtoku daného povodí přímo závisí na jeho tvaru (Máca, 2014).

Mezi časové charakteristiky srážko-odtokových událostí řadíme dobu dotoku a koncentrace. Doba dotoku znamená čas potřebný k tomu, aby voda spadlá na určité místo v povodí dotekla do určeného uzávěrového profilu. Doba koncentrace vymezuje dobu, kterou částička vody potřebuje k dotoku z nejvzdálenějšího místa v povodí do jeho uzávěrového profilu (Máca, 2014; Hrádek & Kuřík, 2002).

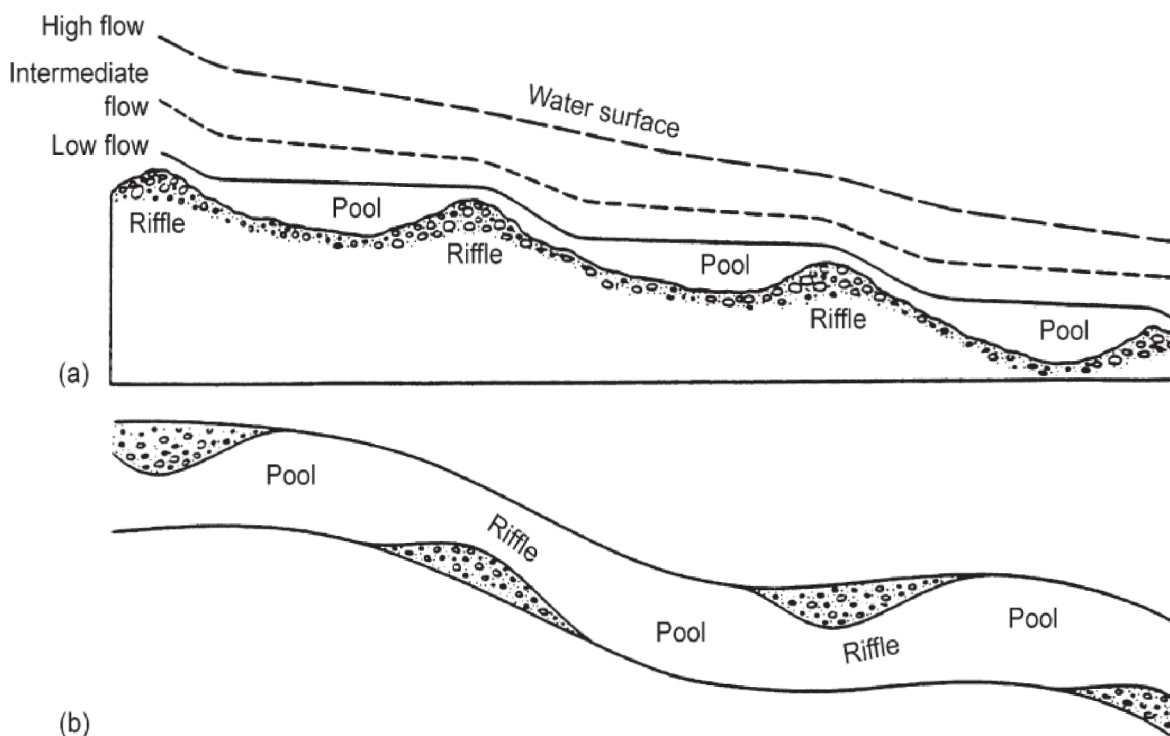
Doba dotoku (Lag Time) bývá odhadnuta několika způsoby. Nejčastěji jej definujeme jako rozdíl mezi těžištěm hyetogramu efektivního deště a těžištěm hydrogramu. Hyetogramem označujeme záznam deště. Hydrogram (jednotkový) – „*Hydrogram, který má jednotkový objem a je způsoben jednotkovým deštěm, který rovnoměrně zasáhl povodí a jehož objem je rovněž roven jedné jednotce*“ Máca (2010; 2014).

Odhad doby koncentrace povodí popisuje několik rovnic (např.: Kirpichova, Chowova, NERC, Snyderova), výsledek udává čas dotoku v hodinách (Máca, 2014).

Vodní toky definují přírodní nebo umělá koryta, která mají různé příčné a podélné profily. Příčným profilem rozumíme svislý průřez vodním tokem kolmo na osu koryta. Podélný profil definuje svislý průřez osou koryta toku (Lehotský & Grešková, 2004). Podélný sklon patří mezi určující parametry charakteru a rychlosti proudění v daném korytě, jak uvádí Langhammer (a, 2009).

Koryta mohou být i nespojitá, tvořená hlavním tokem a bočním korytem. Boční koryta bývají aktivní během vysokého průtoku hlavním korytem. V častěji zaplavovaných oblastech tvar koryt (meandrující systém) bývá měněn po desetiletí, ale i náhle (Poole & Berman, 2001). Přirozenou

tendenci každého toku bývá vytváření hlubších a mělčích úseků (Obr.3.1.2). Hlubší úseky nazýváme tůň (pools), mělčí jsou peřeje (riffle) (Carling, 2009; Huggett, 2011).



Obrázek 3.1.2 a) Podélný profil s ukázkou střídání tůň – peřej, znázornění podmínek vysokého, středního a nízkého průtoku; b) Pohled shora na sekvenci tůň a peřej (Allan & Castillo, 2007)

Dále můžeme toky rozlišovat dle hydrologických poměrů spád toku, délky, velikosti a charakteru povodí. Tekoucí vody představují prameny, studánky, bystřiny, horské toky, potoky, říčky, řeky a veletoky (Ambrožová, 2003; Lellák & Kubíček, 1992). V České republice charakterizujeme zhruba 80 % z celkové délky říční sítě jako drobnější vodoteče (Spurný et al., 2015).

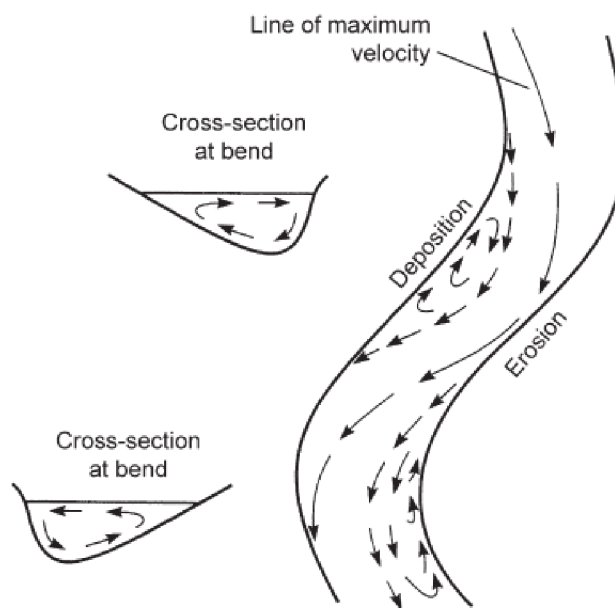
Díky zaústění řek do moří i oceánů zajišťují vodní toky migraci organismů mezi sladkou a slanou vodou (Spurný et al., 2015).

Proudící vody definuje zákon 254/2001 Sb. O vodách (Vodní zákon) jako tekoucí povrchovou vodu s vlastním spádem, soustředěnou v korytě trvale nebo alespoň po převážnou část roku. Součástí vodních toků jsou i vody uměle vzduté v korytech, nebo slepá ramena. Dále zákon považuje za proudící vody úseky přechodně tekoucích přirozenými dutinami pod zemským povrchem, nebo zakrytými úseky. Rozhodnutí, zda vodním tokem lze považovat i jiné vody než uvedené, vydává vodoprávní úřad.

Zákon 114/1992 Sb. O Ochráně přírody a krajiny doplňuje Vodní zákon tím, že proudící voda není pouze samostatný vodní tok, nýbrž i koryto toku a břehy.

3.2 Průtokové poměry ve vodách a jejich měření

Pohyb vody v korytě omezuje několik faktorů. Nejvýznamnější zpomalující síly zastává charakter dna s tvarem koryta. Doprovodnými faktory bývají materiály břehového opevnění, případně charakter a objem unášených částic (Ambrožová, 2003; Galia, 2017). Pokud bychom sestrojili síť měření bodových rychlostí skrz příčný profil celého koryta, naměřili bychom různé hodnoty rychlosti proudění v různých hloubkách. Rychlost obecně ovlivňuje vzdálenost od břehů. Nejnižší rychlost zpravidla zaznamenáme u břehů, nebo u dna toku. Naopak nejvyšší rychlost pozorujeme zhruba v polovině šíře řeky, blízko pod hladinou (platí pro přímé koryto, rovné břehové partie, hladké dnové opevnění) (Galia, 2017; Lellák & Kubíček, 1992). Velmi záleží na ročním období. Rychlost proudění v toku s ledovou pokrývkou bývá relativně malá. Příčinu představují velké ztráty třením. Rychlost vody zvyšují např. povodně, nebo zúžení průtočného profilu (Lellák & Kubíček, 1992).



Obrázek 3.2.1 Meandrující linie, ukazující maximální rychlost a rozdělení proudění, vytváření oblastí usahování a eroze. Příčné řezy vystihují pohyb vody v obloucích (Allan & Castillo, 2007).

Voda v korytě může proudit dvojím typem proudění – laminárně nebo turbulentně. Laminárním prouděním nazveme vodu za předpokladu, že jednotlivé „vrstvy“ vody konají paralelní pohyb, podobnou rychlostí a stejným směrem. V takto ustáleném proudění nevznikají žádné turbulence.

Ve volné přírodě zpravidla probíhá v těsné blízkosti okolo malých kamenů, rostlin atp. Laminární proudění označujeme za počáteční fázi turbulentního pohybu. Můžeme jej dobře popsat matematickými rovnicemi (Galia, 2017).

Na rozdíl od laminárního, turbulentní proudění specifikujeme tím, že se jednotlivé proudnice vodní masy rozpadají, dochází k promíchávání částic. Tímto pohybem dochází k víření. Turbulentní typ nelze popsat matematicky, ale pouze statisticky. Zpravidla k turbulentnímu pohybu dochází při vyšších rychlostech proudění (Carling, 2009; Gordon et al., 1992; Huggett, 2011). V přírodních korytech turbulentní proudění ztelně převládá (Galia, 2017). Turbulentní proudění značně podporují setrvačné síly, zatímco laminární podporují viskózní síly. Skutečnost, zda dojde k turbulentnímu nebo laminárnímu proudění, určuje poměr setrvačných a viskózních sil.

Osborne Reynolds na konci 19. stol. určil vztah znám jako Reynoldsovo rovnice. Hodnota (Reynoldsovo číslo – bezrozměrné) znamená poměr mezi rychlostí kapaliny, její hustotou a okamžikem, při kterém přejde proudění z laminárního do turbulentního. Experiment prováděl ve skleněné trubici pro odstínění rušivých změn proudění okolním prostředím (Gordon et al., 1992).

Každé koryto vodního toku má svoji proudnici (Obr.3.1.2, Obr.3.2.1). Proudnicí rozumíme čáru indikující směr proudění v daném okamžiku. Vykresluje směry, kudy by se jednotlivé částice

vody ubíraly, pokud by bylo zajištěno ustálené proudění. Jelikož ale v korytě toku převládá proudění turbulentní, mění se i směr pohybu jednotlivých částic v nepravidelné dráhy. Díky nepravidelným drahám proudnici interpretujeme jen jako průměrnou hodnotu směru. Proudnici můžeme jednoduše odhalit i pouhým okem. Pomohou nám uvolněné částice ve vodě, nebo bublinky (Gordon et al., 1992).

V přírodních tocích vlivem zákrut dochází k vychýlení proudnice, potažmo jejímu rozkmitání. Rozkmitání proudnice dává za možnost výskytu peřejí (rychlé proudění) spolu s tůňemi (pomalé proudění). (Obr.3.1.2.a) Podobně rozdělený podélný profil má na svědomí nepravidelnosti břehů, vlivy břehové vegetace, drsnosti dna a Coriolisovy síly (setrvačné síly díky rotaci Země) (Galia, 2017).

Průtok tekoucích vod často charakterizuje rozkolísaný hydrologický režim. Zásadní vliv na množství protékající vody v daný čas v toku má intenzita a trvání srážek nad povodím. Také velikost zasažené plochy, kterou srážková událost zasáhla, má vliv na vodnost toku (Ambrožová, 2003). Mezi důležité prvky, ovlivňující bilanční hydrologickou rovnici povodí, patří zejména odtok a výpar. Vlivy, které ovlivňují dlouhodobý hydrologický režim průtoku daného toku, patří nadmořská výška, zeměpisná šířka apod. Rovněž krajinný pokryv a návětrnost svahů mohou průtok ovlivnit, jak udává Galia (2017).

V průběhu roku dochází ke střídání nízkých a vysokých průtoků. Za nízké průtoky mohou srážkově chudší období, vyšší teploty apod. Tento jev, jenž bývá čím dál častější a delší, registrujeme v našich oblastech zpravidla na konci léta (červenec, srpen). Naopak povodně vyvolané vysokými průtoky, často evidujeme v jarních období při tání sněhových zásob, nebo při větších, nárazových přivalových srážek (Galia, 2017; Spurný et al., 2015). Menší rozdíly ve vodnosti zaznamenáme i během jednoho dne, zatímco větší kolísání postřehneme až během ročního (dlouhodobého) pozorování (Lellák & Kubíček, 1992).

3.2.1. Metody měření rychlosti proudění

Velmi jednoduchou metodou zjištění rychlosti proudění zajistí obyčejný plovoucí předmět. Ten vhodíme do vody, řeka jej bude samovolně unášet, a naším úkolem je změřit si čas mezi dvěma stanovenými body o známé vzdálenosti. Takový princip nazýváme plovákovou metodou. Své uplatnění nachází při měření povodňových průtoků. V rámci realizace a bezpečnosti provádění zastává nejvhodnější variantu (Galia, 2017; Shaw, 1994). Zmíněnou metodou zjistíme však pouze rychlost na hladině.

Sofistikovanější způsob měření rychlosti proudění přinese hydrometrická vrtule. Získáme tak rychlostní informace v rámci příčného profilu. Přístroj zaznamenává počet otáček vrtule (n), kterými spolu s kalibračními koeficienty α , β skrze jednoduchý vzorec ($v_b = \alpha + \beta \cdot n$) získáme rychlost proudění ($m \cdot s^{-1}$). Hodnotu řadíme k určitému bodu, vzdálenosti od břehu a hloubce, ve které měření proběhlo (Galia, 2017).

Pro správnost měření musí být splněno několik podmínek. Vrtule musí být zcela ponořena, správně orientována proti směru proudění, přičemž nesmí být ovlivněna postavením měřiče (Mattas, 2013).

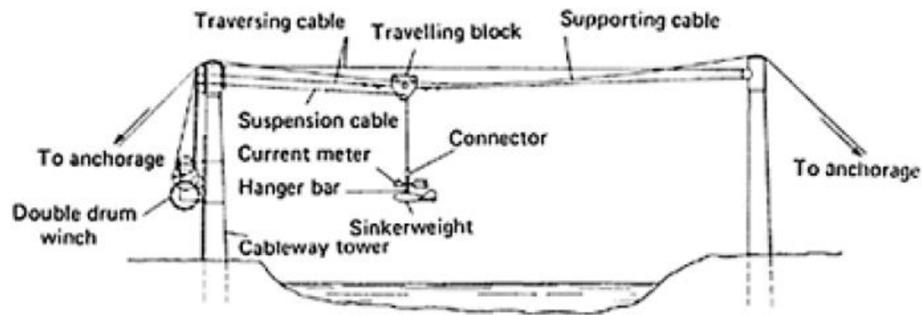
Pro měření hydrometrickou vrtulí máme několik variant.

Broděním - pracovník (měřič) drží přístroj před sebou, aby neovlivnil výsledné hodnoty.

Využití mostu - lze využít pouze mosty bez mostních pílířů stojících ve vodě, spuštěním přístroje na laně.

Lod' – využívá se u velmi širokých řek. Měření probíhá podobně jako u brodění (Shaw, 1994).

Méně známou variantou je měření za pomoci **lanových drah**, vysutých přes vodní tok. Měřič zůstává na břehu u konstrukce a ovládá přístroj zavěšený na lanové dráze pomocí dálkového mechanického ovládání. Přístroj lze nastavovat do požadované hloubky a vzdálenosti od břehu (Obr.3.2.1.1) (Shaw, 1994).



Obrázek 3.2.1.1 Lanová dráha využívaná k měření rychlosti proudění. (Shaw, 1994)

Měření rychlosti proudění lze provést pomocí chemického činidla / roztoku. Zmíněná metoda nachází uplatnění v pramenných tocích s malou hloubkou, kde by použití jiných metod bylo velmi obtížné. Metoda spočívá ve využití směšovací a integrační metody. Do horního profilu toku dávkujeme jednorázově či kontinuálně roztok o známé koncentraci. Následně v místě níže po proudu měříme čas a zároveň přístrojem (konduktometrem) zjišťujeme, kdy koncentrace roztoku opět v toku klesne na hodnotu ještě před aplikací stopovače. Použitá látka by měla být vysoce rozpustná, stabilní a netoxická pro okolní prostředí. Pro zvýšení přesnosti musíme měření několikrát opakovat, výsledkem pak bývá průměrná hodnota (Galia, 2017).

Pokud nemáme možnost rychlost proudění změřit přístrojem, můžeme ji odvodit rychlostní **Chezyho rovnicí**:

$$v = C \cdot \sqrt{R \cdot i} \quad (\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$$

Kde v = rychlost ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$), C = Chézyho rychlostní součinitel ($\text{m}^{0.5} \cdot \text{s}^{-1}$), R = hydraulický poloměr (m), i = sklon čáry energie (spád)

Nevýhodou této rovnice, respektive přesnosti výsledků, bývá přímé ovlivnění závislosti na vstupních parametrech. V praxi užívanější bývá rovnice dle **Manninga (Gauckler-Manningova rovnice)**. Oproti Chezyho rovnici nahradil parametr C (Chezyho rychlostní součinitel), drsnostním koeficientem n (Galia, 2017; Lellák & Kubíček, 1992).

Manningova rovnice:

$$v = \left(\frac{1}{n}\right) \cdot R^{2/3} \cdot i^{1/2}$$

Kde v = rychlost ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$), n = drsnostní součinitel ($\text{m}^{1/6}$), R = hydraulický poloměr (m), i = sklon čáry energie (spád)

3.2.2. Metody měření výšky hladiny a průtoku vody

Významným hydrologickým parametrem je specifický odtok (q). Ten vyjadřuje množství vody, jež odtéká za určitou časovou jednotku z určité plochy povodí (Lellák & Kubíček, 1992). Další příkladný parametr průtok (Q) vystihuje množství vody protékající stanoveným příčným profilem za sekundu (Ambrožová, 2003).

V pramenných oblastech dokážeme změřit průtok pomocí nádoby o známém objemu a času. Na tocích o něco větších můžeme využít měrných přelivů. Metoda trojúhelníkového (Thomsonového) nebo obdélníkového (Ponceletového) přelivu funguje na základě tloušťky přepadajícího paprsku vody. Ten díky speciální rovnici přepočítáme na průtok.

Zmíněné metody slouží pro zjištění aktuální rychlosti průtoku.

K měření aktuální výšky hladiny použijeme vodočetnou lať, ultrazvuková nebo tlaková čidla (Galia, 2017). Shaw (1994) doplňuje varianty měření o plovákovou metodu. Výšku hladiny později přepočteme na průtok. Pokud bychom chtěli hodnoty výšky hladiny měřit kontinuálně, musíme využít jiné metody.

Vodočetná lať musí být umístěna nejlépe do stabilizovaného profilu (bez eroze a bez ukládání plavenin). Navíc by měla být umístěna do míst, kudy protéká voda stále, abychom předešli situaci, kdy za velmi nízkých průtoků voda na lať ani nevystoupá. Výsledek měření vodočetnou láť přeneseme na měrnou křivku průtoků. Hodnoty z vodočetné latě zpravidla odečítá terénní pracovník, který měřený profil navštíví (Galia, 2017). Taková jednorázová hodnota má pro hydrologa pouze omezený význam. Aby byla měření a sledování vodních toků lépe využitelná, je zásadní sledovat hladinu řeky nepřetržitě (Shaw, 1994).

Ultrazvuková a tlaková čidla použijeme ve chvíli, kdy potřebujeme odečítat měření kontinuálně. Můžeme stanovit opakování měření například každých 10 min., 1 hod. atp. Na rozdíl od vodočetné latě se data ukládají do paměti přístroje, případně přímo odesílají datovým signálem zpracovateli.

Průtokové informace pro většinu českých toků jsou volně dostupné na stránkách ČHMÚ, Podniků povodí (Labe, Ohře, Moravy, Vltavy, Odry), Lesů ČR apod. (Galia, 2017).

Plováková metoda ke své přesnosti vyžaduje klidnou volnou hladinu. Jedině tak zaznameneáme i malé změny. Plovák bývá instalován v klidové jímce, čímž vyloučíme neklidnou vodní hladinu. Výšku vodního stavu obstarává pero, zakreslující křivku na svislý hodinový buben. Buben pohání nejčastěji hodinový strojek (Shaw, 1994). Uvedená metoda nepatřila mezi nejnovější ani nejspolehlivější (přestalo psát pero, přestal se točit buben).

3.3 Fyzikální a chemické vlastnosti vody

Vodu na první pohled řadíme mezi relativně jednoduché chemické sloučeniny. Vlastní několik anomálií i jedinečných vlastností, kterými zcela vyniká. Samotná stavba molekuly a vazby mezi sebou jsou absolutní rarita. Molekula vody se skládá z jediného atomu kyslíku (O) a dvou atomů vodíku (H) svírající úhel 105°. Díky tomu tvoří molekuly mezi sebou vodíkové můstky, které nejsou tolik pevné jako vazby chemické. U molekuly vody známe několik desítek anomálií. Například teplotní (hustotní) anomálie, vysoká měrná tepelná kapacita, velká skupenská teplota, zvýšené povrchové napětí, malá stlačitelnost apod (Ambrožová, 2003; Lellák & Kubíček, 1992; Pitter, 2015; Velde et al., 2009).

Při normálních okolnostech (teplota, tlak) voda nemá žádnou barvu, nedisponuje zápachem ani zbarvením. Výskyt vody v přírodě charakterizují tři skupenství – plynná (pára), pevná (led), kapalná (voda) (Lellák & Kubíček, 1992). Voda při působení běžných sil působí jako téměř nestlačitelná (Dooge, 2009).

Voda bývá také označována jako vynikající rozpouštědlo, zajišťující rozpuštění tuhých látek, plynů či ostatních kapalin. Rozpuštnost ovlivňuje teplota nebo tlak. Voda umožňuje akumulaci, transport a distribuci živin určených pro potřebu organismů (Pitter, 2015). Během transportu vodní masy skrze povodí dochází ke změnám chemických i biologických vlastností. Důvodem bývá proces ředění, vypařování, příjem či uvolňování látek, biochemické přeměny apod (Velde et al., 2009).

Hustota

Hustota je vlastnost vody, při které se mění v souvislosti s množstvím rozpuštěných látek, se změnou teploty a tlaku. Vyšší obsah rozpuštěných látek znamená vyšší hustotu. Anomálií vody rozumíme pozoruhodný vztah mezi teplotou a hustotou. Největší hustotu má voda při teplotě 3,94°C. Pokud bude teplota vyšší nebo nižší, dojde ke snížení hustoty v obou případech. Na základě tohoto jevu dochází k pohybu vody ve vertikálním směru (Dooge, 2009; Lellák & Kubíček, 1992).

Viskozita

Viskozita, jinými slovy vnitřní tření, vyznačuje odpor, který klade voda při vlastním pohybu. Voda disponuje oproti vzduchu asi sto krát větší viskozitou. Viskozitu kladně výrazně ovlivňuje teplota. Studená voda vykazuje větší viskozitu oproti teplé vodě. Tato skutečnost výrazně ovlivňuje pohyb plovoucích (vznášejících) organismů. Teplejší vody bývají bohatší na planktonní organismy (jejich pohyblivé formy) než vody chladnější (Ambrožová, 2003; Lellák & Kubíček, 1992). Vysoce viskózní kapalina podporuje tlumení turbulencí a nastoluje laminární proudění.

Povrchové napětí

Povrchové napětí vytváří zvýšená soudržnost molekul na hranici mezi kapalným a plynným prostředím (hladina). Hodnotu povrchového napětí ovlivňuje obsah rozpuštěných látek, nebo teplota vody. Tato fyzikální vlastnost poskytuje vybraným vodním organismům oporu k trvalému, nebo přechodnému pobytu v blízkosti vodní blanky. Neustonní společenstvo osidluje povrchovou blanku shora, například některé rody řas. Pleustonní společenství potřebují přímo vodní hladinu. Například vybrané druhy hmyzu využívají hladinu k pohybu (vodoměrka, znakoplavka) (Ambrožová, 2003; Lellák & Kubíček, 1992).

Tepelné vlastnosti vody

Kapalný stav má velmi vysokou měrnou tepelnou kapacitu (4,186 kJ/kg. K). Vyšší můžeme hledat jen u vodíku či helia. Abychom ohřáli 1 kilogram vody o 1 °C při počáteční teplotě 15 °C, potřebujeme vydat energii 4,186 kJ. Vysoká měrná tepelná kapacita působí ve vodním prostředí s určitým zpožděním. Oproti vzduchu, u vody dochází k pomalejšímu ohřátí, naopak ochlazování bývá pozdější a pozvolnější (Lellák & Kubíček, 1992).

Elektrická vodivost vody

Vodivost zajišťuje vliv rozpuštěných minerálních látek. Úzce jej ovlivňuje koncentrace látek v roztoku. Voda, aby byla prakticky nevodivá, musí být destilovaná. Otázka elektrické vodivosti souvisí s Ohmovým zákonem. Odpor prostředí bývá měřen pomocí platinové elektrody, kterou pokrývá platinová čerň, za pomoci můstkového obvodu, napájeného střídavým proudem (Lellák & Kubíček, 1992).

Redoxní potenciál

Redoxní potenciál ovlivňuje oxidačně redukční procesy probíhající ve vodním prostředí. Obsah rozpuštěného kyslíku a hodnota pH ve vodě bývá ovlivněna redoxním potenciálem (Ambrožová, 2003). Měření probíhá nejčastěji platinovou elektrodou, která je ponořena do vody, popřípadě umístěná ve dně. Kladný potenciál představuje oxidační prostředí, naopak negativní potenciál představuje redukční prostředí (Lellák & Kubíček, 1992).

Redoxní potenciál ovlivňuje hydrochemické procesy v ekosystému. Příkladem je souvislost s cyklem železa a fosforu. Hodnota redoxního potenciálu volné vody stratifikované nádrže dosahuje rozmezí hodnot 0,4V – 0,6V. Pokud hodnota poklesne pod 0,2V, ukazuje na redukcí trojmocného železa na jeho dvojmocnou (rozpuštěnou) formu neboli hydroxid železitý (0,2V–0,3V). To zapříčiní narušení oxidované mikrovrstvy mezi bahnem a volnou vodou. Poté dochází k promíchávání fosfátů s dalšími látkami do volné vody. Pokud hodnota ještě poklesne, pak v prostředí převládá sirovodík (0,1V–0,06V) (Ambrožová, 2003; Lellák & Kubíček, 1992).

Hodnota pH ukazuje množství kationtů vodíku v roztoku, čím označuje míru kyselosti/zásaditosti roztoku. Kyselé prostředí nabývá hodnot 0-7, zatímco zásadité 7-14. Horninové prostředí nejvíce ovlivňuje pH zejména v povrchových, neznečištěných tocích. Obvykle hodnota pH povrchových vod kolísá mezi hodnotami 4,5–8,3 (Langhammer, 2009; a). Kyselá rašeliniště mohou nabývat hodnot pH 3 (velký obsah huminových kyselin), naopak vody bohaté na vegetaci (vysoký obsah uhličitanů) nabývají hodnot až pH 10 (Lellák & Kubíček, 1992). Při zvýšené fotosyntéze vyvolané rostlinami bývá odčerpán CO₂ z vodního prostředí. Deficit CO₂ zapříčiní alkalitu vody, následované vzestupem pH až na hodnotu okolo 11, uvádí Lellák & Kubíček (1992).

3.4 Světelné podmínky (světlo jako faktor) a sluneční záření ve vodě

Přítomnost slunečního záření řadíme mezi limitující prvky pro organismy, fotosyntetickou činnost nebo metabolické pochody (přeměna látek, energií v buňkách organismů atp.). Sluneční záření zaopatřuje jakýsi tepelný motor pohánějící nejen hydrologický cyklus (Shaw 1994).

Sluneční radiaci (záření) před dopadem na vodní hladinu degraduje hned několik faktorů. Část energie slunečního paprsku se odrazí zpět do vesmíru, část absorbují složky atmosféry, u další části dojde k rozptýlení (Shaw, 1994). Zbytek slunečního paprsku, který může potenciál oslunit povrch země, rozdělujeme na ultrafialové, viditelné a infračervené záření. Rozdělení do zmíněných kategorií probíhá na základě vlnových délek (300nm–390nm; 390nm–770nm; 770nm–3000nm) (Ambrožová, 2003; Lellák & Kubíček, 1992; Shaw, 1994). Než sluneční záření začne ovlivňovat vodní prostředí, může narazit na limit v podobě vegetace. Zejména na malých tocích v hustém lesním porostu může deficit slunečního záření působit markantně (Allan & Castillo, 2007; Webb et al., 2008).

Ztráty na slunečním paprsku při oslunění vodní hladiny závisí na odrazu, absorpci a rozptylu pod vodní hladinou. Množství světla ve vodním prostředí ovlivňují následující faktory - pod jakým úhlem sluneční paprsek dopadá, vlastnosti hladiny (klidná/vlny), denní/roční doba, množství rozpuštěných látek (průhlednost) atp. (Lellák & Kubíček, 1992).

Podíl pronikajícího světla se s hloubkou nádrže mění. Základním rozdělením světelné stratifikace vodního sloupce představují vrstvy euforická a afotická. Eufotická vrstva disponuje dobře prosvětleným prostředím, zatímco afotická vrstva osvit postrádá (Ambrožová, 2003).

Barva vody

Barvu vody rovněž ovlivňuje poměr rozpuštěných látek. Barvu vody ovlivňuje nejen obsah rozpuštěných látek, ale i okolní vegetace, složení a barva dna, a v neposlední řadě odraz oblohy (Ambrožová, 2003). Silnější vrstva čisté vody bude vždy modrá. Přibývající látky pozmění barvu z modré na žlutozelenou až hnědou. Velkou zásluhu na změnu barvy vody má dopadající světlo.

Dalším podnětem pro vnímání jiné barvy vody bývají povodně přinášející splaveniny, znečištění zapříčiněné lidskou činností, případně vegetační zbarvení řasami, sinicemi a bakteriemi (Ambrožová, 2003; Lellák & Kubíček, 1992).

Průhlednost

Jednu z fyzikálních či optických vlastností vody představuje průhlednost. Průhlednost (vertikální viditelnost) ovlivňuje zákal neboli turbidita. Sílu zákalu ovlivňuje přítomnost rozpuštěných látek. Původ těchto částic bývá různý, například zvýšeným rozšířením planktonních organismů, různými barevnými látkami apod. Zákal vody nemusí být jen dlouhodobý (v řádu týdnů nebo měsíců), ale způsobují ho i povodně vyvolané přívalovými dešti obsahující okolní splachy (Ambrožová, 2003; Lellák & Kubíček, 1992).

3.4.1. Metody měření průhlednosti vody

Průhlednost vody zjišťujeme pomocí Secchiho desky. Pod touto deskou si představme kotouč o průměru 30 cm zavěšený ve středu na provázku. Barevnost desky rozdělují čtyři kvadranty střídající bílou a černou barvu. Princip měření spočívá v ponoření aparátu postupně do hloubky až do okamžiku, kdy není možné barvy od sebe rozeznat (Ambrožová, 2003).

3.5 Teplotní režim vod

Teplotní režim v našich vodách ovlivňuje rychlost biochemických procesů, schopnosti a život různých vodních organismů. Jinými slovy, zdraví a kvalita vodních ekosystémů bývá dramaticky ovlivněna jejich teplotou (Gordon et al., 1992; Webb et al., 2008; Worrall et al., 2022). Caissie (2006) považuje teplotu vody za jeden z nejdůležitějších parametrů určující rozšíření jednotlivých biotických druhů v rámci toku. Tento důležitý fyzikální faktor významně ovlivňuje rozpuštěný kyslík, který má obrovský význam pro vodní organismy (Gordon et al., 1992; Webb et al., 2008).

3.5.1. Zdroje tepelné energie

Zdroje tepelné energie, ovlivňující teplotní režim, jsou celkem tři - **sluneční energie, zemské nitro a průmyslové zdroje**. Faktory ovlivňující teplotu určitého úseku toku jsou morfologie, stav břehového porostu, ale i přítomnost podzemní vody (Ambrožová, 2003; Poole & Berman, 2001; Webb et al., 2008).

Sluneční energie představuje hlavní zdroj tepla ve vodním prostředí, významněji bývají ovlivněny svrchní vrstvy vod. Záleží na zástínu břehových porostů, orientaci koryta, nebo zahloubení toku.

Zemské nitro zpravidla mění teplotní režim vývěrem horkého (geotermálního) pramene, nebo podzemní vodou. Geotermální pramen zpravidla teplotu vody celoročně zvyšuje. Podzemní voda působí na režim toku v letních měsících ochlazením, zatímco v zimě převážně oteplením. Podzemní voda obvykle v průběhu léta nedosahuje teplot jako povrchová.

Průmyslové zdroje (antropogenní) zpravidla reflektuje provoz elektráren, měst (čistírny odpadních vod, septiky), dešťové kanalizace apod. Větší rozkolísanost režimu způsobenou lidskou činností zapříčiní např. odlesnění povodí. Samozřejmě dopad má i změna klimatu (globální oteplení) v rámci oteplení vody a změny rozšíření vodních organismů (Caissie, 2006; Winter et al., 1998).

Vodní režim prostředí také ovlivňuje zdroj, odkud voda přitéká. Pokud bude přitékat spodní výpustí hluboké přehrady, případně z ledovce, táním sněhu, teplotní režim bude taktéž ovlivněn (Ambrožová, 2003; Poole & Berman, 2001; Webb et al., 2008; Worrall et al., 2022).

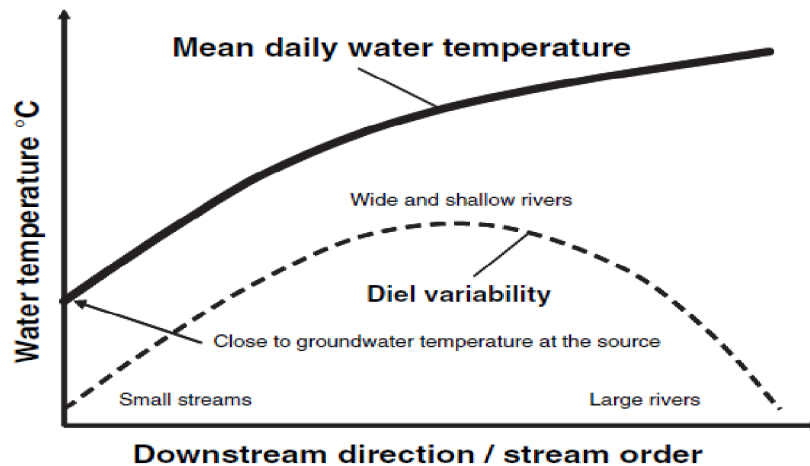
3.5.2. Časová proměnlivost teplotního režimu

Teplotní režim tekoucích vod charakterizuje značná rozkolísanost. Dle Ambrožové (2003) a Caissie (2006) znázornění teplotního režimu vodního toku odpovídá sinusové křivce s proměnlivou amplitudou. Teplotní režim vodních toků zpravidla úzce koresponduje s teplotním režimem okolního vzduchu, avšak v menší míře. Dalšímu ovlivnění přispívají klimatické nebo geografické podmínky. Mezi klimatické podmínky patří sluneční záření, rychlost větru, srážky, oblačnost nebo relativní vlhkost vzduchu. Mezi geografické faktory řadíme například nadmořskou výšku, vegetační pokryv, zeměpisnou polohu apod. Neopomenutelný zdroj teplotních změn představuje přítok podzemních vod, odpadních, nebo vod ze spodních výpustí přehrad či rybníků (Allan & Castillo, 2007; Caissie, 2006; Gordon et al., 1992; Poole & Berman, 2001).

Z časového hlediska dělíme režimy změn na sezónní (léto/zima) nebo denní (den/noc) (Ambrožová, 2003; Caissie, 2006). Denního minima teplota dosahuje v ranních hodinách (zhruba při východu slunce), zatímco maxima při pozdním odpoledni (západ slunce). U chladných dnů bývají denní výkyvy zpravidla malé. Obecně můžeme potvrdit, že průměrná denní teplota během letních měsíců stoupá směrem po proudu toku (řádem toku) (Obr.3.5.2.1) (Caissie, 2006).

V pramenných oblastech během léta teplota vody bude blízko teplotě podzemní vody. Proto jsou horské bystřiny studené po celý rok.

Obecně můžeme tvrdit, že u pomalejší, hlubší, nížinné řeky dochází k ohřevu (ochlazení) hůře než u horské bystřiny. Vysvětlit jej můžeme větší masou vody, která bude na změny reagovat pomaleji (zpožděně). Oproti tomu rychlejší, mělčí tok bude pravděpodobně vykazovat odezvu na změny rychleji.



Obrázek 3.5.2.1 Průměrná denní teplota vody (Mean daily water temperature) a denní proměnlivost (Diel variability) odvozená v závislosti na směru a řádu toku (Caissie, 2006)

Rozdíl teplot panuje rovněž mezi břehovými zónami a hlavním tokem. Teplota při břehu bývá o něco málo vyšší oproti středu (Gordon et al., 1992; Webb et al., 2008). Zpravidla teplota vody roste nebo klesá do doby, dokud nedojde k dorovnání teploty vzduchu.

3.5.3. Izolační a tlumící tepelné procesy

Mezi procesy ovlivňující tepelnou výměnu toku s okolím zapříčiněnými vlastnostmi koryta patří izolační a tlumící procesy. Izolační proces ovlivňuje břehovou vegetace, nebo šířku a tvar vodní hladiny. Jinými slovy, určující měrou bude plocha hladiny. Zmíněné vlastnosti toku přímo souvisí s velikostí (intenzitou) tepelné výměny voda–vzduch. Intenzita výměny v tomto případě přímo závisí na hloubce toku (Poole & Berman, 2001). Evans (1998) uvádí, že přibližně 82 % energie bývá vyměněno na rozhraní voda–vzduch, zhruba 15 % probíhá mezi systémem voda–ř. dno, zbylé 3 % připadá ostatním procesům. Zmíněné parametry vykazují zejména větší řeky. Za stejných klimatických podmínek nedokážou hlubší a užší kanály absorbovat/vydat tolik tepla, co mělčí a širší vodní hladiny. Role zástínu vegetace rovněž ovlivňuje míru tepelné výměny. Pokud bude vodní tok zastíněn, nedojde k znatelnému ovlivnění slunečním zářením. Mimo jiné, vegetace snižuje rychlost větru v blízkosti vodní hladiny. Tím snižuje výměnu tepelné energie vyvolanou konvekcí na úrovni voda-vzduch (Poole & Berman, 2001).

Akumulaci tepla s jejím uchováním ve vodním toku zajišťují tlumící procesy. Zejména se jedná o výměnu tepla mezi vrstvou volné vody a korytem (hyporeálem). Tlumící procesy fungují povětšinou tak, že teplo spíše ukládají a distribuují v korytě, než aby jej přidávaly nebo odebíraly.

Výměna probíhá pouze v určitých částech toku nebo úsecích. Síla, účinky tlumícího procesu v toku závisí na materiálu dna, mocnosti zvodnělé vrstvy, morfologii říčního toku a dalších faktorech, které vodní prostředí může poskytnout (Poole & Berman, 2001).

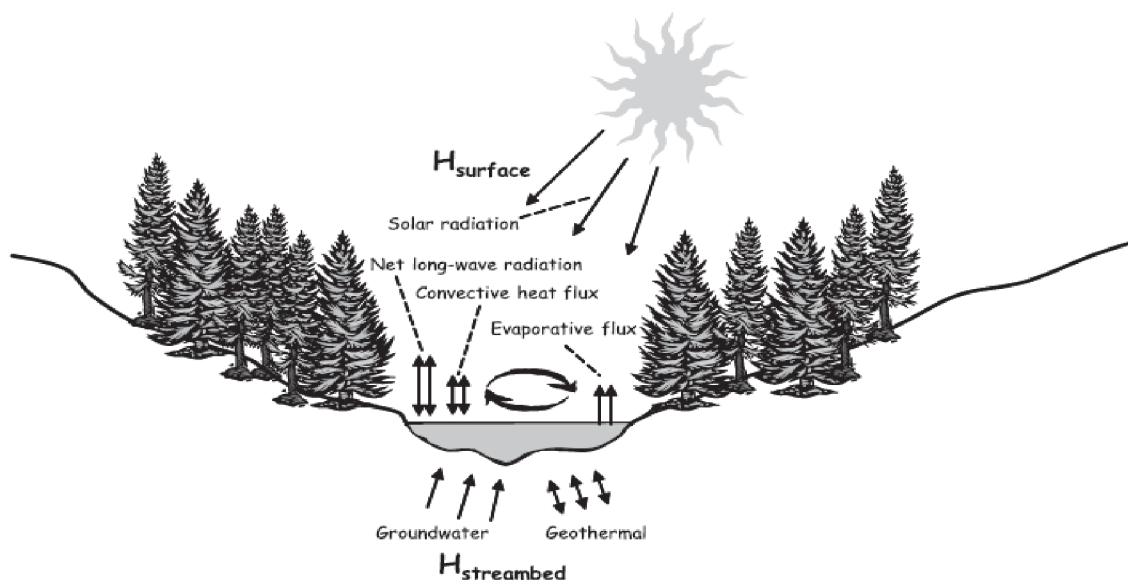
3.5.4. Říční proces výměny tepla

Říční prostředí ztrácí teplo časově i prostorově. Probíhající výměna energie má za následek změnu teplotního režimu v toku. Teplo z vodního prostředí uniká výparem z hladiny (voda–vzduch), odvodem do okolního prostředí (voda–koryto) a především odtokem povrchové oteplené vody ve směru proudění (Webb et al., 2008).

Výměnu energie na rozhraní vodní hladiny s atmosférou zejména ovlivňuje režim slunečního záření (krátkovlnné a dlouhovlnné záření), které představuje dominantní ohřevné složky tohoto systému. V neposlední řadě dochází k teplotním změnám díky konvekci. Při tomto jevu se teplo šíří díky proudění hmot s rozdílnou teplotou. Takový typ výměny tepla není možný u pevných látek. Částice kapaliny, mající odlišnou teplotu čili různou hustotu vnitřní energie, se pohybují a přenášejí teplo. Hnací sílu konvekce představuje teplotní rozdíl mezi řekou a atmosférou (Obr. 3.5.4.1). Konvekční teplo obvykle představuje nejmenší, nikoliv zanedbatelnou, položku výměny. Několikrát výzkumu nastínili, že sluneční a dlouhovlnné záření je nejdůležitějším faktorem co se tepelných zisků nebo ztrát týče (Caissie, 2006)

Rovněž musíme brát v potaz charakter lokality (zástin, vegetace apod.), ve které měření probíhá. Voda má tendenci dosahovat teplot podobných jaké má vzduch (Gordon et al., 1992; Webb et al., 2008).

Mezi další možnost, která může změnit teplotní režim řeky, lze zařadit srážky. V návaznosti na uvedené varianty nemají srážky znatelný vliv (Caissie, 2006).



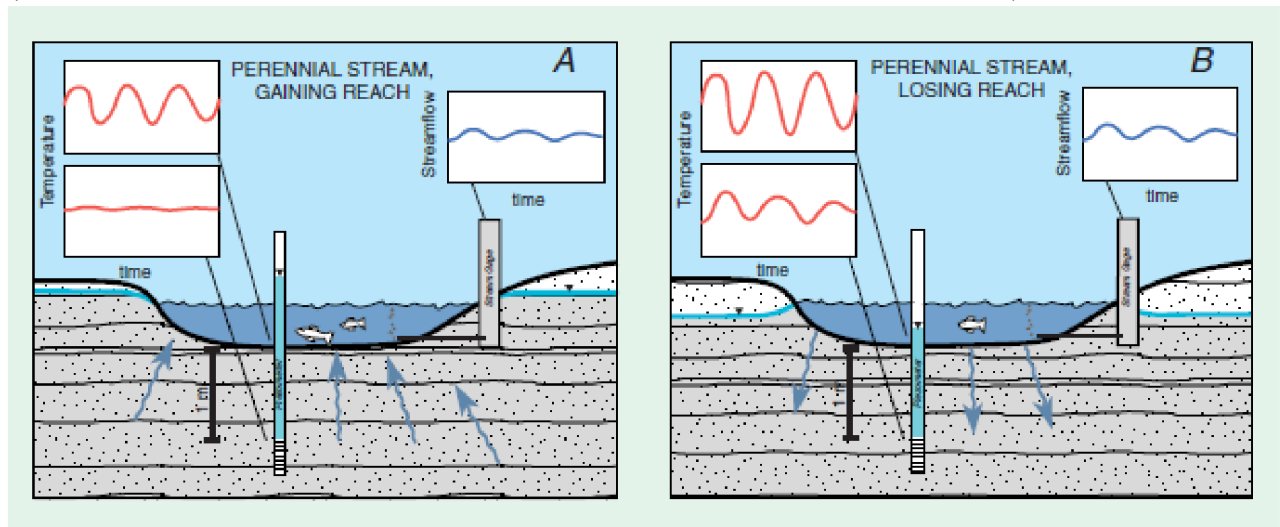
Obrázek 3.5.4.1 Schéma procesů říční výměny tepla (Caissie, 2006).

Tepelné toky, které nalezneme ve štěrkových ložích koryt vodních toků ovlivňují průběh teplot následovně. Voda uvnitř štěrku bývá obecně spíše chladnější během letních měsíců, čímž dochází prostřednictvím tepelných toků v korytě spíše k ochlazení. Během léta dochází k akumulaci energie, což znamená že dno pozvolna nabývá na teplotě. V období podzimních a zimních měsíců

dojde k postupnému uvolňování letní zbytkové akumulované energie v prostředí dna, způsobující oddálení zamrznutí (Caissie, 2006; Poole & Berman, 2001).

3.5.5. Hyporeálová výměna

Při nižším průtoku převládá vyšší hydraulický tlak pod tokem (podzemní voda), než v toku (volná voda). V tomto okamžiku bude teplota v hyporeálové zóně velmi stálá, jelikož bude převládat proudění podzemní vody vzhůru (upwelling). Podzemní voda odolává velkým změnám teplot, na denním měřítku tedy zpozorujeme jen mírné kolísání. Tento fakt objasňuje stálější, změnám stabilnější režim podzemní vody (Obr.3.5.5.1.a). V místě toku, kde bude docházet k upwellingu, naměříme teploty stabilnější oproti místu v jiné části toku, kde k tomuto jevu docházet nebude (Irvine & Lautz, 2015; Poole & Berman, 2001; Stonestrom & Constantz, 2003).



Obrázek 3.5.5.1 a) Ukázka vzestupného (upwelling) proudění včetně grafu vývoje teploty vody (vlevo nahoře), ukázka piezometrické tlakové výšky (střed). b) Ukázka sestupného (downwelling) proudění včetně grafu vývoje teploty (vlevo nahoře), ukázka piezometrické (Stonestrom & Constantz, 2003).

Proudění z volné vody do hyporeálu (downwelling) bude mít průběh kolísání opačný (Obr. 3.5.5.1.b). Prouděním směrem dolů předává teplo z toku do sedimentu. V sedimentu (hyporeálu) dojde k tepelné výměně, jejímž výsledkem bude vyšší kolísání teploty v hyporeálu oproti upwellingu.

Kolísání teploty v hyporeálu působí mírněji, v porovnání s volnou vodou (Glose et al., 2019; Stonestrom & Constantz, 2003). Přesnější vysvětlení up/downwellingu viz kapitola **3.10 Hyporeál**.

Aby mohlo docházet k těmto výměnám, musí být splněna počáteční podmínka, že bez přítomnosti podzemní vody napojené na vodní tok není možné hyporeálové výměny.

Caissie (2006) uvádí, že v letních měsících směr pohybu podzemní vody (upwelling) řeku ochlazuje, zatímco v zimě akumulované teplo v sedimentu dna vodu ohřívá. Výsledkem akumulace letního zbytkového tepla může být oddálení zámrazu vodní hladiny. Oproti volné vodě v korytě dosahují teploty dna v létě nižších hodnot, naopak v zimě vyšších hodnot (Caissie, 2006).

3.5.6. Metody měření hyporeálové výměny

Abychom mohli hyporeálové výměně správně porozumět, potřebujeme vhodná data.

Velký přínos v této problematice představují kontinuální čidla. Takové přístroje (teploměry) dokáží přesně odečítat hodnoty i několika parametrů naráz (teplota, osvit apod.), po velmi dlouhé časové řady v předem nastavených intervalech. Tím pádem dostáváme sadu kontinuálních údajů, které nám umožní považovat teplotu, coby ukazatel výměny (mísení) vody v prostředí volné vody, hyporeálu a podzemní vody (Boano et al., 2014; Glose et al., 2019; Stonestrom & Constantz, 2003). Nevýhodou měření hyporeálové výměny za pomoci teploty zůstává, že získáváme pouze souborná bodová data. Bodové odhady může být těžké prostorově interpretovat (Cremeans et al., 2020; Glose et al., 2019).

Mezi další varianty patří hydraulické metody (průsak), hydraulické zkoušky na mini-piezometrech, injektáž stopovače atd. Žádnou ze zmíněných metod však neznázorníme podrobnou prostorovou mapou toku hyporeálové výměny (Cremeans et al., 2020; Irvine & Lautz, 2015).

3.6 Koloběh kyslíku ve vodách

Rozpuštěný kyslík ve vodě patří mezi nejvýznamnější plyny ve vodním prostředí. Jeho množství přímo závisí především na teplotě vody, tlaku, ale i jiných faktorech (salinita). Zvýšení obsahu kyslíku zapříčiňuje činnost fotosyntetizujících organismů a atmosférické prostředí (Ambrožová, 2004). Vstup kyslíku do vody probíhá difuzí na rozhraní vzduchu s vodou, nebo na povrchu vzduchových bublin. Rozpustnost kyslíku v tocích ve velkých nadmořských výškách je omezena díky nižšímu atmosférickému tlaku (Allan & Castillo, 2007; Gordon et al., 1992). Pro zajímavost, mořská voda obsahuje kvůli obsahu solí přibližně o 20 % rozpuštěného kyslíku méně (Allan & Castillo, 2007). Dle Ambrožové (2003) dochází k zřetelnému poklesu obsahu kyslíku ve vodě spolu s nárůstem rozkladných pochodů. Kyslík z vodního prostředí bývá odebírán vodními organismy k dýchání (Bílý, 2014; Gordon et al., 1992).

Lellák s Kubíčkem (1992) poznamenávají, že v malých proudivých úsecích koncentrace kyslíku dosahuje plné nasycenosti, nebo i mírně vyšší. Větší toky díky nižšímu promíchávání spolu s vyšším obsahem organických látek koncentrují kyslíku o něco méně. Díky proudění v říčním korytě dochází k dobrému transportu rozpuštěného kyslíku v rámci podélného profilu.

Velmi vysokému okysličení se dostává přejezdným úsekům, místům pod jezy, vodopádům atp. Vtažení vzduchu pod hladinu způsobí zvětšení oblasti, ve které může kyslík do vody difundovat. Většina bublin ovšem vystoupá zpět nad hladinu (Gordon et al., 1992).

Naopak k deficitu dochází v zimním období díky ledové pokrývce, nebo v úsecích s opadáním listů díky dekompozici hmoty bakteriemi (Ambrožová, 2003; Lellák & Kubíček, 1992).

Všeobecně víme, že spolu s přibývajícím hloubkou množství kyslíku upadá. Snížení obsahu rozpuštěného kyslíku může mít za následek rovněž příliv neokysličených podzemních vod (Gordon et al., 1992).

Koncentrace kyslíku kolísá samozřejmě i během 24 hodin. Během dne díky fotosyntetické činnosti obsah kyslíku stoupá. Rozklad rostlinné hmoty a respirace živočichů během noci za omezené fotosyntézy zpravidla zapříčiní pokles koncentrace rozpuštěného kyslíku (Allan & Castillo, 2007; Gordon et al., 1992).

Obsah kyslíku bývá charakterizujícím prvkem rybích pásem (pstruhová, lipanová, parmová, cejnová) (Galia, 2017; Gordon et al., 1992). Prokysličení vody může přímo souviset s kvalitou samočistícího procesu (Galia, 2017).

3.6.1. Metody měření obsahu kyslíku

Existuje mnoho způsobů, jak kyslík měřit. Tradiční Winklerova metoda (Winklerova titrace) má nevýhodu v tom, že odebraný vzorek je potřeba co nejrychleji zpracovat. V opačném případě hrozí znehodnocení vzorku kontaminací atmosférickým kyslíkem. Odpadá tedy možnost odebrání velkého počtu vzorků napomáhající k poznání prostorových změn (Rajwa et al., 2014).

Další metodu přináší elektrochemická metoda (galvanický senzor). Původně se tato metoda využívala pro měření obsahu kyslíku v krvi, později ale byla upravena pro měření kyslíku v jiných kapalinách.

Hojně využívanou metodou měření rozpuštěného kyslíku uvádí Rajwa et al. (2014) luminiscenční optickou metodu. Na rozdíl od elektrochemické metody, při optické metodě nevznikají žádné chemické reakce, tudíž při měření nevzniká spotřeba kyslíku.

3.7 Životní prostředí vod

Koryto vodního toku rozdělujeme do tří poříčních zón - volná voda, bentál a hyporeál.

Volnou vodu charakterizují turbulence, víry, promíchávání jednotlivých vrstev, kvalitní výměna plynů a nejlepší světelné podmínky. Rovněž volnou vodu ovlivňuje vegetace v korytě. Sice koření ve dně (bentál/hyporeál), ale zasahuje do podmínek volně proudící vody. Vodní vegetace zvyšuje drsnost dna, mění lokální rychlosti proudění, podobně tak jako i směr. Hojný výskyt vegetace v korytě tak vytváří jakousi mozaiku hydrodynamických podmínek. V místech, kde roste vegetace, proudí voda pomaleji, v místech bez vegetace naopak rychleji. Výskyt vegetace v korytě zvyšuje faktor tření, čímž prodlužuje dobu zadržení vody v povodí. Znatelný rozdíl přichází až u toků s rozsáhlým rozšířením vegetace (Magliozzi et al., 2018). Vegetace v korytě také slouží živočichům. Pro mnohé vegetace představuje potravu, ostatním poskytuje úkryt.

Ukládání říčního dřeva úzce souvisí s geometrií toku v údolí. Přítomnost říčního dřeva působí lokálními změnami hydraulického odporu, což zvyšuje hydraulickou výšku. Dřevo díky vzdučnosti masivně žene vodu do podpovrchových vrstev (hyporeál), čímž vyvolává lokální krátké hyporeické proudění (Magliozzi et al., 2018).

Bentálem rozumíme prostředí mezi volnou vodou a podříčním dnem. Rychlosti proudění bývají v těsné blízkosti dna pomalejší. Ve větších hloubkách nemusí až na dno dopadat dostatek světelného záření. Povrch dna bývá zpravidla vyskládan hrubší frakcí substrátu oproti zóně hyporeálu (Allan & Castillo, 2007). Tím částečně chrání spodní, jemnější substrát, čímž udává vertikální rozdělení.

Poslední zónu vodního toku představuje hyporeál. Zóna hyporeálu je předmětem zájmu této práce. Hyporeál označuje podpovrchovou zónou v toku. Velikost, nebo hlavně geometrie této zóny, se dělí jak prostorově, tak časově. Prostorově vyniká různě dlouhými úseky, které nemusí být situovány přímo v korytě, ale i ve březích. K přirozené oscilaci dochází v návaznosti na to, zda probíhá léto nebo zima, deštivé nebo suché období atp.

Hyporeálové zóny obvykle mění své rozměry spolu s šířkou a propustností sedimentů koryta (Velde et al., 2009; Winter et al., 1998). Hyporeálová (hyporeická) zóna dostala patřičného zájmu až v posledních desetiletích. Došlo tak ke zvýšení povědomí o jejím hydrologicko-ekologickém významu propojených říčních systémů s podzemními (Creameans et al., 2020; Magliozzi et al., 2018). Detailněji o hyporeálu viz kapitola **3.10 Hyporeál**.

3.8 Geomorfologie a geologie podloží

Veškerý pohybující se materiál potřebuje určitou sílu, která jej uvede a udrží v pohybu. Například kámen padající ze skály, půdy pohybující se ze svahu nebo voda proudící v korytě. Obecně můžeme říci, že většina sil bývá vyvolána gravitací, vlivem klimatu nebo prostřednictvím živočichů a rostlin.

V rámci geomorfologie pracují tyto síly - gravitační, síly kapalin, tlak vody, rozpínavé síly, pohyb tekutin v globálu a biologické síly (Huggett, 2011).

Geomorfologie vysvětluje odezvy říčního systému spolu s jeho reakcemi na změnu. Povodně, činnost člověka, změna klimatu atp. ovlivňují změny v geomorfologii. Geomorfologie, pro správné pochopení všech souvislostí, zahrnuje i poznatky z hydrologie, biologie, fyziky a dalších oborů (Galia, 2017). Často využíváme v souvislosti s tekoucími vodami termín fluviální geomorfologie. Jde o vědecký obor zkoumající zákonitosti formování říčních systémů (Lehotský & Grešková, 2004). Toky totiž představují velmi silný geomorfologický činitel, schopný erodovat, přenášet a ukládat sedimenty v rozličném množství a vzdálenosti.

Počínaje rokem 1990 začala být fluviální geomorfologie na programu dne i v České republice, zejména její aplikace pro praktické úpravy a revitalizace (Šindlar a kol, 2012).

V říčním toku platí několik systémových teorií. Základním systémem říční krajiny jsou zákony akce a reakce (příčina – následek). Při vyšším průtoku řeka začne unášet sedimenty, posouvá balvany, posouvá dřevní hmotu, nebo mění břehy koryta. Dále řešíme morfologický systém, který tvoří několik dílčích stavebních jednotek, například koryto, niva, svahy přilehlé ke korytu atd. Kaskádový systém rovněž řadíme mezi teorie říční krajiny. Tento pojem lze vysvětlit jako přerušovaný, nebo kontinuální pohyb vody spolu se sedimenty v oblasti povodí závislém na časovém měřítku (Galia, 2017).

Geologie

Znalost geologie celého povodí patří k nezbytným znalostem, jelikož topografické rozvodí nemusí zdaleka vždy vymezovat skutečnou hranici mezi jednotlivými povodími. Na rozdíl od klimatu, využití krajiny či vlivu vegetace je geologické podloží časově téměř neměnné. Změny geologie podloží ovlivňuje zejména intenzita eroze. V této souvislosti nám geologie predikuje sklon údolního dna, nebo tvar okolního reliéfu (Galia, 2017). Geologické podloží každého povodí tvoří takzvanou mateční horninu (pevnou). Tato hornina představuje jakýsi primární zdroj materiálu (sedimentů) pro vodní toky protékající daným povodím. Působením všech možných erozních činitelů byla vrstva rozrušena a přesunuta větrem nebo vodou do větších vzdáleností. Posun těchto sedimentů vytvořil nánosy rozličných mocností nebo složení (Shaw, 1994). V ojedinělých případech může povodí obsahovat sedimenty (mateční horninu) sousedních povodí. Tento jev nastane za činnosti eolického (větrného) transportu materiálu. Zejména se tímto způsobem přemísťují písky, spraše apod. Z dlouhodobého hlediska transportují materiál ledovce. Ledovec dokáže transportovat velké množství materiálu na relativně dlouhé vzdálenosti (Galia, 2017).

3.8.1. Množství splavenin

Podíl zastoupených organických a anorganických splavenin závisí na parametru, kudy vodní tok protéká. Tok bohatší na organický materiál bude pravděpodobně protékat osídlenou, průmyslovou oblastí. Ovšem i zemědělství může představovat zdroj organického materiálu. Mezi další zdroje lze zařadit lesní porosty zásobující vodní tok spadáním listů.

Převahu anorganických složek nalezneme zpravidla v zemědělsky obdělávaných oblastech. Rovněž i pásmo průmyslu produkuje nezanedbatelné množství anorganických látek. Mezi zvláštní zdroje anorganických látek řadíme aplikaci posypové soli na komunikace, zejména během zimních měsíců.

Mezi látky organického původu řadíme obvykle tlející listy, zbytky vegetace, odumřelá těla organismů, kořeny rostlin, padlé stromy, složky antropogenního původu (Allan & Castillo, 2007; Lellák & Kubíček, 1992). Hlavními zdroji anorganických látek jsou dnes splachy půdy z polí, břehová eroze apod.

Mnoho říčních systémů bylo dramaticky změněno lidskou činností, čímž byly narušeny přírodní procesy a faktory. Změny se dotýkají samotných vodních toků, údolí, kterými protékají, nebo celých povodí. Hlavní antropogenní důvody, proč dochází ke změnám přírodních zákonitostí, jsou stavby v korytě, přehrad v údolí, změny množství sedimentů v důsledku obhospodařování zemědělské půdy (Magliozzi et al., 2018).

3.9 Pohyb sedimentů

Voda proudící vlastním spádem z údolí vytváří potenciální energii, která postupem času přechází v energii kinetickou (unášecí sílu). Velikost unášecí síly ovlivňuje sklonitost terénu, materiál i charakter koryta spolu s břehy apod. Pokud koryto pojme množství vody, která zvyšuje svoji rychlost až k dosažení kritické rychlosti, dojde k převýšení gravitační energie. Gravitační energie úzce ovlivňuje soudržnost částic v korytě, které se uvolní do pohybu ve směru toku (Allan & Castillo, 2007; Gordon et al., 1992; Lellák & Kubíček, 1992). Hovoříme o takzvané první fázi – erozní. Následek erozní fáze často bývá hloubková eroze. Částice již začíná unášet proud. Poté přichází na řadu fáze druhá – tranzitní (transportní). Fáze eroze a transportu sedimentů probíhá do chvíle, dokud unášecí rychlost neklesne pod práh sedimentace jednotlivých partikulí. Tehdy nastupuje fáze akumulární (sedimentační) (Czernuszenko, 2009; Huggett, 2011; Šindlar & kol, 2012).

Velmi významně ovlivňují režim sedimentů jezy, rybníky, přehrad apod. Díky vzduť dojde ke snížení unášecí rychlosti, čímž dojde k usazení sedimentu v nádrži (Huggett, 2011). Při takové činnosti hovoříme o zanášení nádrže nebo toku.

Sedimenty unášené proudem rozlišujeme na plovoucí materiál, rozpuštěné plaveniny a nové splaveniny (Obr.3.9.1).

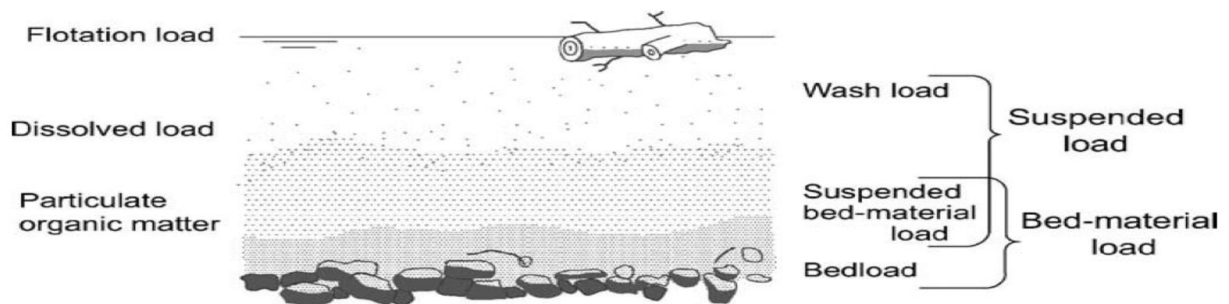
Plovoucí materiál (flotation load) se skládá z kmenů, listů, větví atp. Mohou jej tvořit jen organické věci lehčí než voda (před namočením). Rozpuštěnými plaveninami (dissolved load) rozumíme často kulovité částice volně unášené proudem. Splaveniny (particulate organic matter) si představme jako elipsovité, protažené částice pohybující se při dně. Splavenin ještě můžeme rozdělit mezi splachy (wash load) a dnový materiál. Splachy tvoří především jemné jíly, písky nebo bahno,

kteře proud unáší formou suspenze. Dnový materiál dosahuje přibližně stejných rozměrů jako částice koryta (Allan & Castillo, 2007; Gordon et al., 1992).

Pohyb splavenin závisí na unášecí rychlosti – sunutí, valení, poskakování atd. Frakce sedimentů dnových splavenin má rozsah od jílových materiálů až po balvany (Allan & Castillo, 2007; Czernuszenko, 2009; Galia, 2017). Za vzniklý zákal odpovídají jemné frakce sedimentů. Unášecí rychlost zásadně ovlivňuje velikost, tvar a hmotnost sedimentů. Snížení unášecí rychlosti znatelně snižuje hmotnost unášených částic (Ambrožová, 2003; Lellák & Kubíček, 1992). Příliš mnoho sedimentů, ba příliš málo, může být určující faktor pro biotu (Allan & Castillo, 2007).

Částice dosahují rychlejšího pohybu v proudnicové části toku, naopak v příbřežní zóně rychlost zpomaluje. Zpravidla v břehových partiích, případně vnitřních stranách meandrů, dochází k ukládání unášeného materiálu (Ambrožová, 2003).

Povodně velmi často erodují, nebo opevňují koryto, rozšiřují, nebo zužují tok. Běžně ukládají nové, nebo odnášejí staré náplavy. Velmi hojně přichází s povodní kombinace zmíněných činností (Gibson & Shelley, 2020).

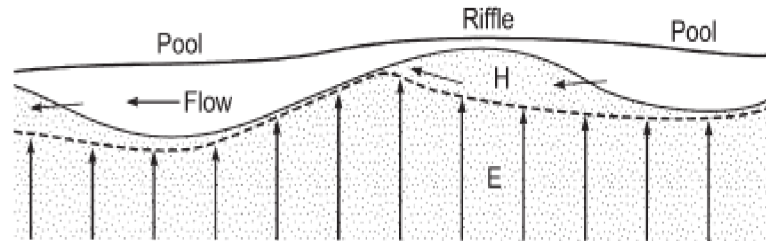


Obrázek 3.9.1 Kategorie transportovaného materiálu. Zleva shora: plovoucí předměty, rozpuštěné částice, splaveniny. Zprava shora: splachy, suspendovaný dnový materiál, materiál dna (Gordon, 1992).

3.10 Hyporeál

Hyporeálová (hyporeická) zóna právem patří ke klíčovým prvkům říčního koryta. Pojem poprvé popsal Orghidan (pol. 20. stol.), který zkombinoval řecká slova „*hypo*“ a „*rheos*“ pro specifikaci zóny „pod tokem“ (Boano et al., 2014). Zónu představuje část sedimentů plně nasycených vodou, které doprovází říční toky (Boano et al., 2014). Z hydrologického pohledu definujeme hyporeál jako „střední vrstvu“ mezi vodou v korytě a nad podzemní vodou (pokud je přítomna) (Obr.3.9.). Hyporeálová zóna nemůže existovat v místech, kde tok protéká přes zcela nepropustné podloží (White, 1993). Rozhraní povrchové s podzemní vodou, které díky svému proudění sestupně nebo vzestupně poskytuje dynamické prostředí pro vodní organismy (Magliozzi et al., 2018; Velde et al., 2009). Mnohé studie potvrdily, že zdejší ekologické společenstvo dokáže poskytovat důležité informace o kvalitě vody nebo nepříznivých změnách (Winter et al., 1998). Pronikání vody do hyporeálu může dosahovat i několika metrů pod říční dno, ve většině případů však představuje jen několik centimetrů (Velde et al., 2009).

Při studiu hyporeálové výměny narazíme na dva zásadní termíny. Takzvaný downwelling a upwelling naznačuje, zda v místě voda do dna proniká, nebo naopak vynořuje. (Obr.3.10.1)



Obrázek 3.10.1 Předpokládané rozpoložení hyporeických zón (H) se zónou podzemní vody (E) v sekvenci tůň-peřej (pool-riffle). (Allan & Castillo, 2007)

Downwelling

Termín „downwelling“ vzniká jako důsledek snížení hydraulického tlaku pod povrchem dna. Tehdy voda proniká do hyporeálu, zpravidla před koncem tůně (Magliozzi et al., 2018; Poole & Berman, 2001).

Upwelling

Ke zpětnému proudění (upwelling) dochází za tůň, v místě proudného úseku či peřejí. Hydraulicky tento jev můžeme vysvětlit jako odezvu pro vyšší tlak pod povrchem dna (Magliozzi et al., 2018; Poole & Berman, 2001; White, 1993).

Obecně můžeme tvrdit, že sebemenší změna hydraulického tlaku (převýšení), který snižuje nebo zvyšuje hladina podzemní vody, potenciálně ovlivňuje i hyporeické proudění. Časté přechody tůň v peřeje budou znamenat častější změny tlaku, čím zvýší míru pohybu v hyporeálu. Mezi další mechanismy podporující hyporeické proudění například patří turbulence, pulzování vln, nebo biologické procesy. V hyporeálu zpravidla převažuje laminární proudění, avšak v hrubých sedimentech rychle tekoucích toků může docházet k rozšíření turbulentního proudění i do oblasti hyporeálu (Boano et al., 2014; Harvey & Bencala, 1993).

Například bobří stavěním svých hrází zadržující značné množství vody díky přivolené změně hydraulického převýšení, vyvolávají proudění skrze dnový sediment. Rovněž bentičtí živočichové podporují proudění skrze dnové sediment. Důsledkem jejich hrabání či krmení dochází k reorganizaci dnového materiálu (Boano et al., 2014).

Hyporeálová voda spolu s podzemní vzájemně interagují během roku za různých podmínek. Během suchých období dochází k rozšíření spodního okraje hyporeálové vrstvy, naopak během vlhkých období nastane její zúžení. Pohyb vychází ze změn hydraulického tlaku podzemní vody (Boano et al., 2014). V průběhu letních měsíců protéká vodním tokem zpravidla méně vody. V takovém okamžiku upwelling může dotovat volně proudící vodu, čímž dojde k navýšení vodního stavu. Naopak během vysokých průtoků bude hyporeálová zóna snáze dotovat podzemní vody ve zvodnělých vrstvách. Změnou hydraulického tlaku bude snižována nebo zvyšována rychlost průtoku hyporeálovou i podzemní vrstvou (Boano et al., 2014; Hatch et al., 2006; Magliozzi et al., 2018).

Volná voda zanořující se do hyporeálové zóny (downwelling) proudí přes sedimenty, kdy po určitém čase a vzdálenosti opět vyvěrá zpět do zóny volné vody (upwelling). Oblasti zanořování i vynořování mohou být plošné nebo bodové, různých velikostí nebo tvarů. Během průtoku skrze sedimenty říčního dna může docházet k promíchání hyporeálové vody s podzemní (Boano et al., 2014; Galia, 2017; Hatch et al., 2006).

Sestupující povrchová voda dodává do prostředí hyporeálu rozpuštěný kyslík s živinami, které spotřebovávají zdejší společenstva během biochemických aktivit. Můžeme tuto vrstvu vizualizovat jako mechanický i biologický filtr (Boulton et al., 2010; Irvine & Lautz, 2015). Naopak výstupný proud vody z hyporeálu dotuje koryto řeky neokysličenou, na živiny chudší vodou. Průsaky z koryta toku tak mohou nabírat pozitivních, nebo negativních vlivů na životní prostředí toku (Hatch et al., 2006; Winter et al., 1998).

Proudění vody v této zóně má prakticky totožný směr jako v korytě, avšak rychlost proudění bývá daleko pomalejší. Rychlost proudění v hyporeálu dosahuje rámcově jednotek metrů za hodinu, několika dnů, nebo i měsíců (Galia, 2017; Poole & Berman, 2001). Doba, po kterou voda zůstává v hyporeálu, závisí na propustnosti dna. V oblastech s hrubými sedimenty bude doba krátká, zatímco u jemnozrnných bude delší (Magliozzi et al., 2018). Výměna vody do dna a naopak, vůbec není statická. Disponuje svojí velmi výraznou časově prostorovou variabilitou (Boano et al., 2014).

Větší rozmanitost (heterogenita) dnového substrátu představuje pro mnoho organismů a živočichů výhodu. Takový materiál totiž přispívá k vyšší propustnosti, umožňuje přenos plynů, koloběh živin, nebo zlepšuje cirkulaci vody spolu s jemným organickým materiálem (Allan & Castillo, 2007). Propustnost zóny ovlivňuje závislost na horninovém prostředí, tvaru a velikosti částic. Velké částice (valouny, balvany) totiž kladou větší odpor působící proti pohybu vody (Lellák & Kubíček, 1992).

Výměna podzemní s povrchovou vodou, zejména pozdější mikrobiální aktivita, může ovlivňovat chemismus vody (Boano et al., 2014). Právě chemismus bývá určujícím faktorem přežití například jiker v místech trdlišť lososů, pstruhů, nebo vzácné perlorodky říční (Irvine et al., 2017). Významnější aspekt výskytu vodních organismů představuje teplota. V reálu mají ryby, mlži, a další vodní organismy své teplotní preference, které udávají jejich výskyt (Caissie, 2006).

3.11 Souvislosti se zájmovým územím

Perlorodka říční (*Margaritifera margaritifera*) patří mezi dlouhověké mlže žijící ve sladkých vodách. Zejména osidluje horské toky chudé na živiny. Spadá mezi silně ohrožené živočichy dle vyhlášky č. 395/1992 Sb. Zákon č. 114/1992 Sb. o ochraně přírody a krajiny, stanovuje ochranu perlorodky říční jak zvláštní druhovou ochranou, tak formou ochrany v různých chráněných územích i v rámci Evropy (NATURA 2000) (Hruška & Volf, 2003; Simon et al., 2018; Švanyga et al., 2013).

Perlorodku můžeme právem považovat za tzv. deštníkový druh oligotrofních povodí (Geist, 2010). Díky antropogenní změně využívání krajiny střední Evropy bylo potvrzeno jen několik stanovišť, kde tohoto vzácného živočicha můžeme ještě zpozorovat. V České republice došlo k zachování zbytků populací s nadsázkou řečeno jen za pomoci záchranných odchovů (Bílý, 2014; Simon et al., 2018; Švanyga et al., 2013; Zelený, 2002).

Z předešlých let lze výskyt perlorodky přiřadit pouze do několika kolonií. Právě v oblasti experimentálního úseku je výskyt perlorodky potvrzen. (Obr.3.11.1.) Přítomnost naznačuje, že

oblast pravděpodobně poskytuje podmínky vhodné k přežití. Populace perlorodky v Teplé Vltavě není početná a je poměrně rozptýlená (Černá et al. 2018).

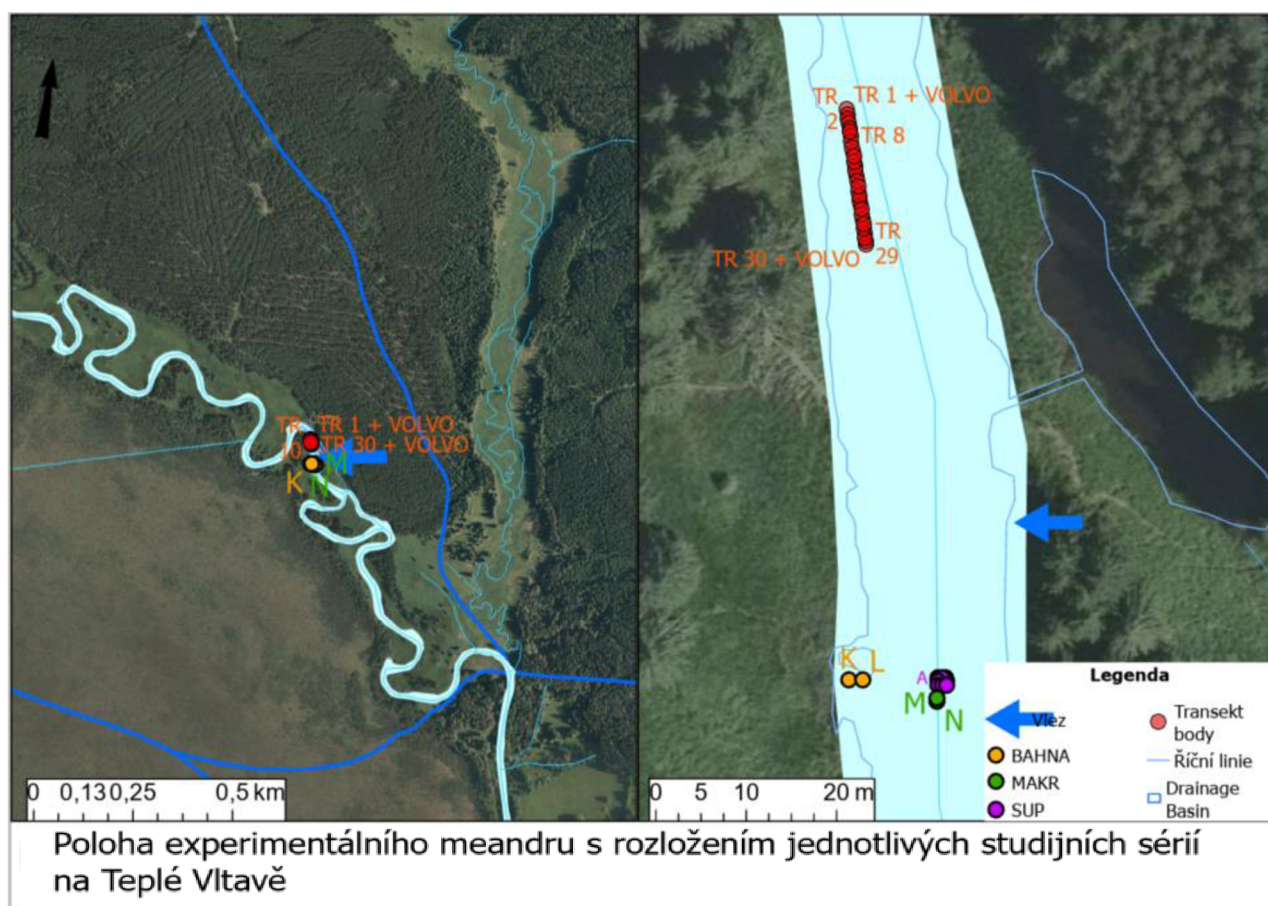


Obrázek 3.11.1 Subadultní jedinec perlorodky říční ve svém přirozeném prostředí. Teplá Vltava. Foto: Horáčková, Maxa

4 Metodika

4.1 Experimentální lokalita

Zájmový tok Teplá Vltava náleží úmoří Severního moře a řadíme ho mezi horské toky. Velikost povodí Teplé Vltavy zahrnující výzkumný meandr, činí zhruba 59 km². Lokalita se nachází nedaleko obce Volary v těsné blízkosti PR Mrtvý luh. Dno řeky na řadě míst bohatě zarůstají porosty vodních makrofyt. Porosty makrofyt zahrnovala i vymezená studijní část toku. Úsek začínal na konci tůň s přechodem do peřejnaté části a následným pozvolným uklidněním rychlosti. Peřejnatou část značně porůstaly trsy vodních makrofyt. (Obr.4.1.1)



Obrázek 4.1.1 Poloha experimentálního meandru s rozložením jednotlivých studijních sérií v rámci jednoho úseku. Vlevo: širší pohled na volně meandrující řeku až po soutok s Volarským potokem (jemná modrá linie vedoucí shora). Vpravo: bližší situace rozmístěných ploch. Viditelná tůň vpravo, propojena s hlavním tokem pomocí průtočného kanálu. Nachází se nedaleko obce Volary, okres Prachatice, Jihočeský kraj. Souřadnicový systém S-JTSK (ČUZK, 2023). Zpracováno autorem.

4.2 Metodika měření

Principem výzkumu bylo porovnání teplotních rozdílů a pravděpodobných směrů pohybu vody. Výsledků bylo dosaženo instalací čtyř sérií kontinuálních teplotních čidel, umístěných po dvojicích ve dvou různých hloubkách mělkého hyporeálu. Doplnkové měření spočívalo ve snímání volně proudící vody na několika kontrolních místech. K měření posloužily měřicí sady teploměřů Hobo Pendant Temperature/Light 64K Data logger.

Zaznamenávání teplotních dat na studijních plochách v hyporeálu Teplé Vltavy probíhalo v rozmezí jara až podzimu (od 11. května do 21. října 2022).

Teplotní data kontinuálně snímala čidla v intervalu 1 hodina. Čidla snímala mimo teploty také sluneční osvit ve stejném časovém kroku. Data slunečního osvitu byla použita pouze jako kontrola, zda změny teploty nevyvolalo odhalení čidla z říčního dna.

Každá měřicí souprava sestávala z minimálně dvou čidel Hobo Pendant, ocelového hřebíku (cca 250x7mm) spojených pomocí poplastovaného ocelového lanka. K hřebíku byly pomocí lanka připevněny dvě čidla ve vzdálenosti 10 cm od sebe. Vzdálenost od hřebíku k prvnímu čidlu se pohybovala do 5 cm. V několika případech pro změření teplot v oblasti volné vody byla sestava rozšířena o jedno další čidlo stejných vlastností. (Obr.4.2.1)



Obrázek 4.2.1 Ukázka měřicí soupravy. Dvě teplotní čidla připevněné k ocelovému hřebíku pomocí poplastovaného lanka. Souprava zdokumentována po odinstalaci z říčního dna, proto je přítomna koroze. Foto: autor práce

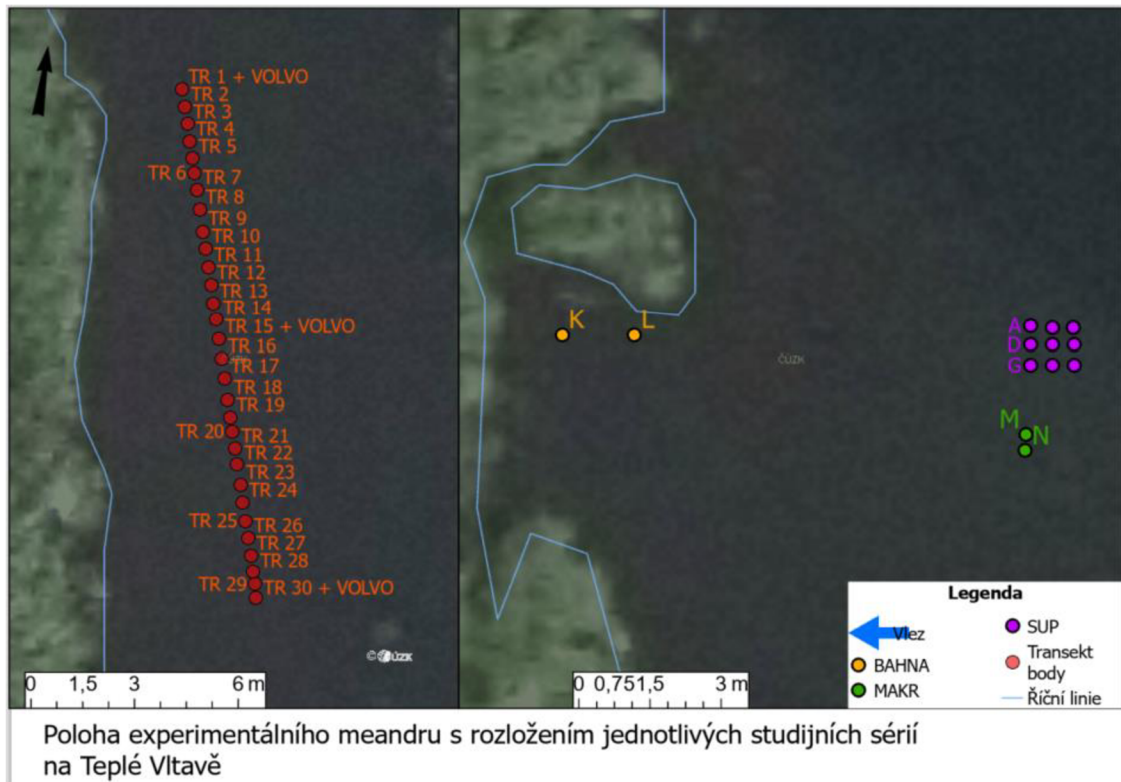
Umístění měřících souprav do hyporeálu proběhlo ruční pokládkou. Samotná instalace probíhala pomocí zahradní lopatky, kladiva, pažící stěny, hrabiček a metru. Operaci usnadňoval náhled pod vodní hladinu díky Aquascopu. Aplikaci soupravy předcházelo osazením pažící nerezové stěny ve tvaru V s zhruba 1 cm velkými otvory. Zábrana umístěná nad místem aplikace znatelně snižovala lokální rychlost proudění, čímž snižovala i zpětné zanášení. V dnovém substrátu proběhlo vyhloubení jamky 20 cm hluboké, do níž kolmým položením nebo zatlučením hřebíku došlo k osazení soupravy. Odhad vhodné velikosti výkopku patřilo mezi prioritu, jelikož nebylo žádoucí instalací/odinstalací markantně rozrušit dnové opevnění. Varianta položení či zatlučení rozhodla v návaznosti na utužení materiálu. Při zásypu bylo klíčové umístit jednotlivé teploměry do příslušné hloubky. Postup odinstalace probíhal analogicky. Pod založenou pažící stěnou v těsné blízkosti poplastovaného lanka došlo k načechrání dnového substrátu se snahou vyhrabat soupravu.

Soupravy byly zakopány systematicky do předem vybraných lokalit a rozmístění. Do dnového substrátu byly soupravy zapraveny tak, že spodní čidlo (blíže k hřebíku) leželo v hloubce přibližně 13 cm a horní přibližně ve 3 cm. V hloubce 13 cm čidla zaznamenávala teploty tzv. hlubšího hyporeálu, zatímco ve 3 cm mělčího. V případě soupravy se třemi čidly ležel nejvzdálenější teploměr od hřebíku na říčním dně, čímž zaznamenával teplotní hodnoty volné vody. V případě přihnutí říčním sedimentem měřilo čidlo hyporeál hlouběji, při obnažení mělčeji, nebo případně volnou vodu. Obnažení teploměru můžeme prokázat zvýšenými hodnotami osvitu (Lux). V takovém okamžiku nebylo jisté, zda změnu teploty vyvolal osvit, nebo sledovaný faktor. Data z osvětlených čidel nevyhovovala tomuto výzkumu.

Následnému zpracování dat nevyhnutelně patřilo vhodně označit jednotlivá čidla. Všechny teploměry na sobě nesly 7-8 místní kód výrobního označení. Tento kód byl zanesen do protokolu k přesnému místu, na kterém bylo čidlo umístěno.

Samotná místa nebyla ve vodním toku nikterak kontinuálně označena. Nenápadnost celého experimentu snižovala riziko odcizení či přesunutí nepovolanou osobou. Pozice jednotlivých ploch byla pečlivě zakreslena do plánu. V reálu byly pozice odměřeny od značek v terénu na březích toku (padlý kmen, viditelný kořen, rostlina, stromek, zabodnutá větev apod.).

Soupravy měřily na čtyřech různých studijních plochách - Transekt, Superčtverec, Makrofyta a Bahna (Obr.4.2.2). Tím bylo zajištěno porovnání mezi několika habitaty. Experimentální plochy vykazují své charakteristické vlastnosti, běžně se vyskytující na relativně krátkém úseku většiny vodních toků. Liniový Transekt téměř přesně kopíroval přechod konce tůně, dále vedl do přeřinatého úseku včetně. Dnový substrát se skládal z jemnějšího štěrku s menšími oblázky. Plochu Superčtverce pokrýval hrubší štěrk s oblázky. Makrofyta tvořila hustý trs vodních makrofyt, zapojeného kořenového systému vyplněného jemným pískem. Poslední studijní plocha Bahna sestávala z bahnitého dna o mocnosti několika cm na podkladu jemného materiálu. Místo bylo distancováno od proudnice v řádu několika nižších jednotek metrů.



Obrázek 4.2.2 Detailní rozpis umístění čidel v rámci samostatných sérií. Vlevo: podrobný pohled na uložení samostatných teploměrů. VOLVO – čidlo pro měření volně proudící vody. Vpravo: podrobný pohled na uložení samostatných teploměrů dle sérii viz Legenda. SUP – superčtverec; MAKR – makrofyta. Souřadnicový systém S-JTSK (ČUZK, 2023). Zpracováno autorem.

Transekt protínal začátek experimentální oblasti u pravého břehu toku. Délka Transektu čítala 15 metrů. Jednotlivé soupravy byly umístěny v ose Transektu po 50 cm. Každá z nich obsahovala dvě čidla. Počáteční, středovou a koncovou dvojici doplňovala čidla pro měření volné vody. Celkem Transekt zaznamenávalo 63 přístrojů (3 – volná voda; 30 – mělčí hyporeál; 30 – hlubší hyporeál). Označení jednotlivých bodů proběhlo na základě vzdálenosti TR1-TR30 (násobek délky). Po proudu toku se číslo zvyšovalo. Například bod vzdálený od počátku 4,5 metru měřící hlubší hyporeál (13 cm) dostal označení TR9 dolní. Vzdálenost 12 metrů a mělčí hyporeál (3 cm) měřilo čidlo TR24 horní. Soupravy TR1; TR15; TR30 zaznamenávaly teploty volné vody.

Studijní plochu **Superčtverec** pokrývalo 9 souprav. Plocha o velikosti 1x1 metru byla umístěna téměř ve středu toku, se snahou zachytit režim klidnější, mírně hlubší vody. Soupravy byly uloženy systémem 3x3 (3 vedle sebe, 3 pod sebou), tradičně v definovaných hloubkách 3 a 13 cm. Plochu Superčtverce zachycovalo 18 přístrojů (9 – mělčí hyporeál; 9 – hlubší hyporeál). Soupravy v Superčtverci byly označeny abecedně po směru toku zprava doleva. Například pohledem proti směru toku stojmo pod studijní plochou, levé nejvzdálenější čidlo měřící hlubší hyporeál (13

cm) neslo označení „A dolní“. V druhé řadě, prostřední čidlo měřící mělčí hyporeál (3 cm) neslo označení „E horní“. Pro prevenci chyby při označení soupravy číslo 9: „potenciálně I“, nesla označení písmenem „J“. Písmeno „I“ mohlo být zaměněno za číslici.

Vzdáleně 1,5 metru pod Superčtvercem byla stanovena další plocha jménem **Makrofyta**. Plocha zahrnovala dvě soupravy po dvou teploměrech (3 a 13 cm) s umístěním do čela a paty trsu vodních makrofyt (Stolístek klasnatý – *Meriophyllum spicatum*). Souprava M měřila na čele, zatímco N u paty trsu.

Poslední experimentální plochu představovala příbřežní partie s velmi nízkou rychlostí proudění – **Bahna**. Dvě soupravy po dvou teploměrech v určené hloubce (3 a 13 cm). Blíže ke břehu snímala teploty souprava K, oproti tomu souprava L zaujímala polohu o cca 1,5 metru směrem do toku.

Před ukončení experimentu v terénu bylo u každé soupravy změřeno, zda byla v dnovém substrátu překryta či obnažena. Poté byly teploměry vyzvednuty a převezeny do laboratoře. Pomocí čtecího zařízení HOBO Optic USB Base Station bylo možné teplotní data importovat do počítače, za použití programu HOBOWare. Dalšímu použití předcházela úprava surových dat.

4.3 Terénní práce

Aby výzkumné práce mohly být uskutečněny, bylo zapotřebí důkladných příprav. Ty zahrnovaly nejen on-line kontrolu hydrologických a meteorologických podmínek na lokalitě. Průtoková data byla sledována pomocí Hlásné a předpovědní povodňové služby České hydrometeorologického ústavu. Informace pocházely z hlásného profilu Chlum (Teplá Vltava, ř. km. 377,6). Stanice monitorovala průtokové údaje v deseti minutovém kroku. Pro předpověď počasí bylo užito běžných predikčních systémů, zpravidla kombinace víceroch. Díky rozmarům počasí bylo nutné několik kontrolních návštěv přesunout na termín, kdy podmínky práci dovolily. (Obr.4.3.1)

Ideální bylo bezdeštné počasí stálé několik dní, nižší průtok vody do 4 m³/s, s dobrými světelnými podmínkami. Při vyšším průtoku totiž nebylo možné do toku vstoupit hned z několika důvodů. Vysoký průtok primárně ohrožoval bezpečnost samotných pracovníků provádějící terénní šetření. Sekundárně díky vyššímu průtoku voda unášela větší množství erodovaného materiálu, čímž bylo zvýšeno zakalení. Nebylo tedy možné přesně koordinovat činnosti v říčním dně. Využití aquascopu bylo navzdory zákalu s velkou rychlostí proudění téměř nemožné (zhoršená manipulace).



Obrázek 4.3.1 Probíhající terénní práce na Teplé Vltavě 2022. Zleva: RNDr. Jitka Horáčková, Ph.D.; Mgr. Ondřej Simon, Ph.D.; Ing. Vojtěch Macháček. Foto: autor práce

Relativní odlehlost lokality dbala na bezchybné přípravné práce před každým dnem. Bylo zapotřebí přesně dle připravených seznamů prací a nástrojů připravit potřebný inventář. Veškeré náčiní bylo dopravováno na lokalitu za pomoci vlastních sil. V několika případech díky povolení vjezdu do chráněné oblasti byla vzdálenost pěšího přesunu značně zkrácena automobilem.

Časoprostorový rozvrh experimentu

Snahou experimentu bylo získat co možná nejkvalitnější časoprostorové rozmístění teplotních údajů v rámci každé série. Vlivem chybovosti a osvitů některých přístrojů nezbylo než stanovit zkrácené verze předpokládané studijní doby. Prioritu představoval výběr období s nejvyšším možným počtem validních datových řad. (Tab.4.3.1)

Teplotu volně proudící vody měřila trojice teploměrů umístěných podélně na studijní ploše Transekt. Konkrétně měření probíhalo na počátku, středu a na konci Transektu. Celková vzdálenost počátečního a koncového čidla činila 15 metrů. Teploměry zaznamenávaly období 11.5. do 21.10. 2022 v hodinovém kroku. Za tuto dobu datová řada každého čidla čítala 3 905 údajů. Teplotní čidlo TR30 ihned po spuštění přestalo správně pracovat. Pro porovnání velmi dobře posloužila čidla umístěná na počátku a ve střední části Transektu. Měřením teploty volné vody na několika místech mělo odvrátit chybu individuálního měření, která by eventuálně mohla vzniknout využitím jednoho přístroje.

Vinou chybovosti a osvitů některých teploměrů nezbylo než z podélného transektu vybrat časový úsek, který doplní největší možné množství přístrojů. Období 8.6. - 1.7. 2022 nejlépe splňovalo zmíněné nároky. Během téměř měsíčního úseku každá ze sond zaznamenala 552 údajů, což celkově čítalo 24 840 teplotních hodnot.

Na studijní ploše Superčtverec každé čidlo zapsalo 1 636 údajů. Celkově bylo určeno k vyhodnocení 29 448 hodnot. Slunečním osvitem nebyla znehodnocena žádná data. To svědčí o stabilním dnovém substrátu a zároveň dostatečné vzdálenosti proti proudu od míst, kde substrát stabilní není.

Makrofyta a Bahna vykázaly obě jedno chybové čidlo. V případě Makrofyty přístroj nevyhověl pravidlům vyhodnocení vlivem osvitů, zatímco v ploše Bahna vlivem technického problému.

Tabulka 4.3.1 Přehledná tabulka sumarizující celkové počty přístrojů osazených do jednotlivých sérií. Uvádí také chybovost jednotlivých čidel. Druhá polovina tabulky „Využito pro vyhodnocení“ určuje kolik čidel v jakém časovém období bylo pro účely vyhodnocení použito.

Série	Celkem		Využito pro vyhodnocení				
	Počet teploměrů	Chyby	Od	Do	Použito teploměrů	Počet údajů *	Celkem údajů
Volná voda	3	1	11.5.	21.10.	2	3 905	7 810
Transekt	60	15	8.6.	1.7.	45	552	24 840
Superčtverec	18	1	11.5.	19.7.	18	1 636	29 448
Makrofyta	4	1	11.5.	21.10.	3	3 905	11 715
Bahna	4	1	11.5.	21.10.	3	3 905	11 715

*Počet využitých údajů samostatného čidla

4.4 Doplnující měření - rozpuštěný kyslík a výška hladiny

Kyslíkové údaje byly měřeny během čtyř kontrolních návštěv lokality (13.června, 21.června, 27.června a 17.července 2022). Měření hyporeálového kyslíku (3 cm) nebylo primárním zdrojem informací pro tuto práci, proto zasahuje dotyčné experimentální body ve snížené míře. Data poskytl Mgr. Ondřej Simon, Ph.D., hlavní vedoucí a koordinátor terénních činností. Poskytnuté kyslíkové hodnoty doplňovaly plochy Transekt (TR1, TR8, TR16, TR22, TR27) a Superčtverec (A, C, G, J). Zmíněné soupravy doplňovala silikonová hadička asi 40 cm dlouhá, upevněná v těsné blízkosti čidla a vyvedená na povrch. Měření probíhalo nasátím vzorku hyporeálové vody pomocí injekční stříkačky skrze silikonovou hadičku. Záslepením hrdla stříkačky a vytažením pístku z komory vznikla „nádobka“, do které jen stačilo vložit měřicí sondu optického oxymetru. Objem, respektive

průměr injekční stříkačky, musel být větší nežli rozměr sondy. Přístroj poskytoval získané hodnoty v procentuálním nebo absolutním zobrazení (%; mg/l). Pro účely této práce vhodněji posloužilo procentuální vyjádření.

Pro kvalitnější pochopení změn v hyporeálu byla přejata data výšky hladiny. Data o vodních stavech, získaná v rámci řešení projektu OPŽP „Posílení a ochrana populace perlorodky říční v NP Šumava“ pro Správu NP Šumava, byla poskytnuta RNDr. Zuzanou Hořickou, Ph.D. (VÚV TGM) Tato data byla zpracována v průběžné zprávě projektu za rok 2022 a závěrečné zprávě (Hořická et al., 2022, 2023). Výšky hladiny byly měřeny níže s proudem cca 500 m. Tlakové čidlo snímající výšku hladiny kvalitně zaznamenalo její dynamiku. Data určují pouze výšku hladiny od spodní části sondy, kde bylo umístěno čidlo. Nejednáme tedy o výsledné výšce hladiny v řece ani o průtoku. V takovém případě by bylo nutno připočítat rozměr mezi dnem řeky a spodní částí sondy (Hořická, ústní sdělení). V grafickém znázornění umístěna na vedlejší osu.

4.5 Porovnání paralelních měření – validace dat a jejich vyhodnocení

Získaná teplotní data byla z programu HOBOWare převedena do formátu MS Excel, a to v následující struktuře sloupců - pořadové číslo měření; datum (mm.dd. rr); čas měření (hh.mm. ss); denní doba (dopoledne/odpoledne); teplotní údaj (°C); intenzita slunečního svitu (Lux), vzorová ukázka: „1,05.09.22 08:00:00 dop.,22.621,10.8,,,.“ V dalších krocích došlo k rozdělení jednotlivých údajů do samostatných sloupců, nahrazení nevyhovujících znaků, důkladné zařazení do tabulkového řazení apod.

Vyhodnocení samotných změn ještě předcházela validace dat. Cílem bylo ověřit, zda teploměry měřily teploty správně a eliminovat chybová měření. Validace proběhla formou porovnání liniových grafů. Tato činnost proběhla porovnáním naměřených údajů od zapnutí na terénní stanici, až po instalaci na určeném místě. Předpokladem bylo, že spuštěná čidla několik hodin v místnosti stanice budou pravděpodobně snímat totožnou teplotu. Jelikož teploměry byly skladovány i přesouvány pospolu, dalo se tak potenciálně odhalit jednotlivé chybové měření. Po vložení do vodního toku už by nebylo prokazatelné, zda čidla měřila odlišnosti na základě technického problému, nebo již fyzikální vlastnosti prostředí.

Na údajích bylo jasně zřetelné, v jaký okamžik byla čidla vložena do vodního prostředí. Datová řada totiž náhle klesla v řádu několika jednotek stupňů. Podobnou změnu odhalil i okamžik odinstalace, kdy naopak teplotní řada skokově vzrostla. Zmíněný skok posloužil k oříznutí veškerých dat.

Získaná data byla vyhodnocena prostřednictvím programu MS Excel. Vytvořením série liniových i krabicových (boxplot) grafů absolutních naměřených hodnot poskytla data vizuální podobu. Zpracování také zahrnuje zjištění rozdílových hodnot mezi vrstvami hyporeálu. Odečtem hodnot mělkého od hlubšího hyporeálu nastíní, v jaké části proudila teplejší voda. Kladný výsledek označuje vyšší teplotu v mělkém hyporeálu, zatímco záporná hodnota vykazuje opak. Teplotní rozdílové hodnoty byly stejným postupem získány u všech souprav i mikrohabitatů. Znázornění rozdílů rovněž proběhlo formou liniových a krabicových grafů.

Měření teplotních údajů volné vody probíhalo pouze v prostoru Transektu (TR1, TR15, TR30). Nebylo předpokladem, že by došlo ke změně teploty v intervalu zhruba 100 m úseku v návaznosti níže ležících ploch. Časový rozdíl z pohledu rychlosti proudění mezi nejvyšším a nejnižším bodem úseku byl odhadnut jako nevýznamný, odhadem 40 sekund za běžných podmínek. Absolutní hodnoty teplot volné vody byly znázorněny liniovým grafem.

K interpretaci, jaký typ proudění (upwelling/downwelling) v daném místě převládá, napomohlo porovnání zejména krabicových grafů. Správnost tvrzení dle boxplotu proběhlo ověřením s liniovým grafem téhož bodu. Vyfiltrováním bodu na liniovém grafu, ideálně se zobrazením linie volné vody, proběhla validace směru proudění.

V okamžiku dosažení rozdílových teplot (horní – dolní) záporných hodnot, bývá hlubší hyporeál teplejší než mělčí oblast. S velkou patrností může být tato oblast proudění označena jako upwellingový směr. V situaci, kdy linie hlubšího hyporeálu nekopírovala maxima nebo minima mělčí linie, nebo dokonce linie vykazovaly určitý časový odstup (i několik hodin), pravděpodobně šlo o upwelling.

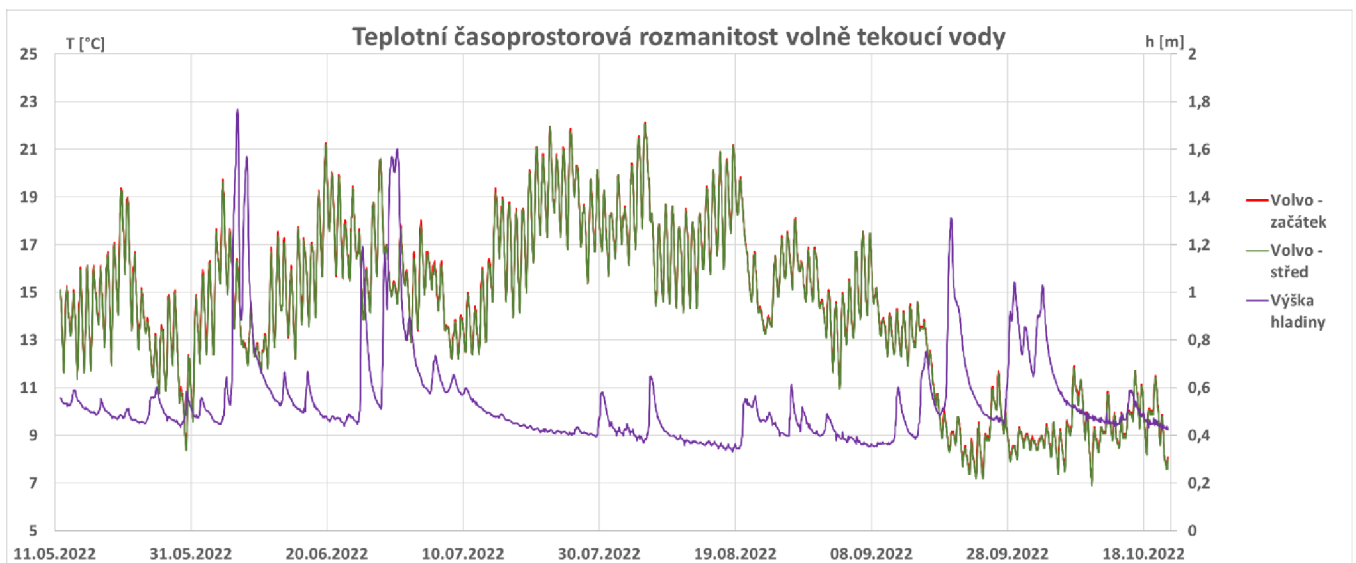
Pokud z grafu vyplynou hodnoty kladné, mělčí oblast hyporeálu bývá teplejší oproti hlubší a je o něco studenější, pravděpodobně převládá downwellingové proudění. Zpravidla bývá rozpětí kladných hodnot menší. Existuje důvodné tvrzení, že voda při zanořování teplotní rozdíly v definovaných hloubkách minimalizuje.

V případě, že linie kopírovaly stejný „trend“, opisovaly podobná maxima i minima a nevykazovaly značný časový odstup, pravděpodobně šlo o downwelling.

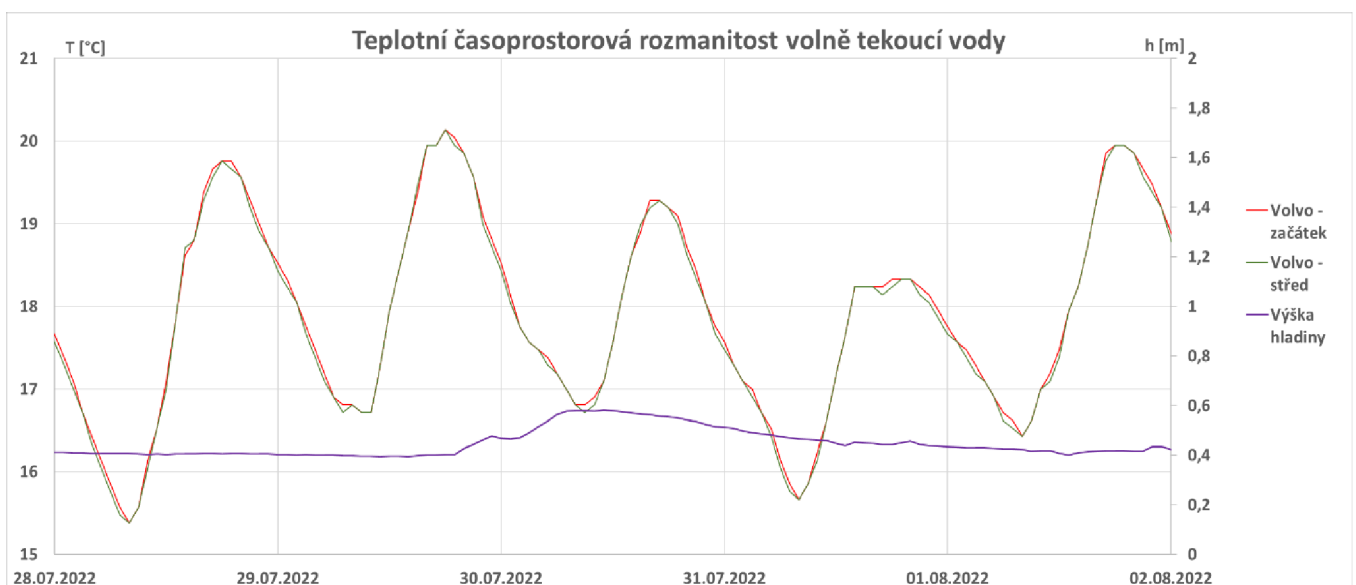
5 Výsledky

5.1 Volná voda

Grafickým znázorněním **horizontální heterogenity** možno doložit, že volná voda nemění svoji teplotu měřitelným způsobem na takto krátkém úseku (Obr.5.1.1-2). Obě čidla vzdálené od sebe 7,5 m zaznamenaly až na minimální rozdíly totožné hodnoty. Obě vynesené linie teplot korelovaly v těsném zákrytu. Zároveň z grafu můžeme vyčíst sinusovou křivku změny teploty v průběhu 24 hodin. Teploty zpravidla klesaly k nejnižším hodnotám mezi 6–8 hodinou ranní. Naopak maxima voda dosahovala zpravidla mezi 17–19 hodinou večerní. Rozdíly minima a maxima při běžném slunném dni dosahovaly až téměř 3°C. Osvětlení bylo zaznamenáváno u obou aplikovaných čidel volné vody, čímž byly nepřímo poskytnuty informace o oblačnosti v jednotlivých hodinách (oblačno/jasno; den/noc).



Obrázek 5.1.1 Znárodnění průběhu změn teplot (°C) volně proudící vody z počátku a střední části podélného transektu. Jedná se o časové období od 11.5. do 21.10. 2022. Svislá hlavní osa (vlevo) znázorňuje teplotu (°C). Svislá vedlejší osa (vpravo) znázorňuje dynamiku výšky vodní hladiny (m).



Obrázek 5.1.2 Znárodnění průběhu změn teplot (°C) volně proudící vody z počátku a střední části podélného transektu. Jedná se o výřez z období viz (Obr. 5.1.1.a) od 28.7. do 2.8. 2022. Výřez byl vybrán náhodně za účelem bližší ukázky teplotní oscilace. Svislá hlavní osa (vlevo) znázorňuje teplotu (°C). Svislá vedlejší osa (vpravo) znázorňuje dynamiku výšky vodní hladiny (m).

Velmi výrazně teplotu omezovala výška hladiny (průtok). Zvýšení hladiny již o několik centimetrů bylo provázeno bleskovým poklesem teploty v toku. Hodnoty mnohdy během velmi krátké doby synchronně se vzestupem hladiny klesly až o několik stupňů Celsia. Pokles přicházel velmi rychle, zatímco ohřívání volné vody tak vysokou dynamiku nevykázalo. Obecně je možno tvrdit, že volná voda teplotu rychleji ztrácela, než získávala.

5.2 Transekt

Nejvýznamnější experimentální plochu bezesporu představuje podélný Transekt. Vyhodnocení 30 dvojic čidel umístěných na Transeku poměrně ztížila chybovost přístrojů a míra osvitu. Vzhledem k charakteru úseku a dna bylo mnoho teploměrů obnaženo, čímž nemohly být použity. Velkou vinu nese prudké zvýšení hladiny o více než 1 metr, které zasáhlo oblastí mezi 28.6. – 1.7. V návaznosti na všechny průtokové události bylo snahou vymezit období s co největším počtem celistvých datových záznamů. Výstupem pak vzniklo období 8.6. - 1.7. Předcházející a následující období vytvořilo poměrně nevypovídající mozaiku mezi osvětlenými čidly a vadnými přístroji. Některé přístroje pohyb říčního materiálu přechodně nebo dlouhodobě obnažil či zahrnul.

Vlivem technické chyby nebo slunečního osvitu nebyly použity teploty z přístrojů - TR6 horní; TR8 horní i dolní; TR9 horní i dolní; TR21 horní i dolní; TR22 horní; TR26 horní i dolní; TR28 horní i dolní; TR29 horní i dolní; TR30 horní. Souhrnně na Transektu selhalo nebo bylo vyřazeno 15 čidel ze 60. V případě chyby jednoho z dvojice senzorů, při zjišťování rozdílových teplot (horní-dolní), byla souprava vyloučena kompletně (nebylo porovnání).

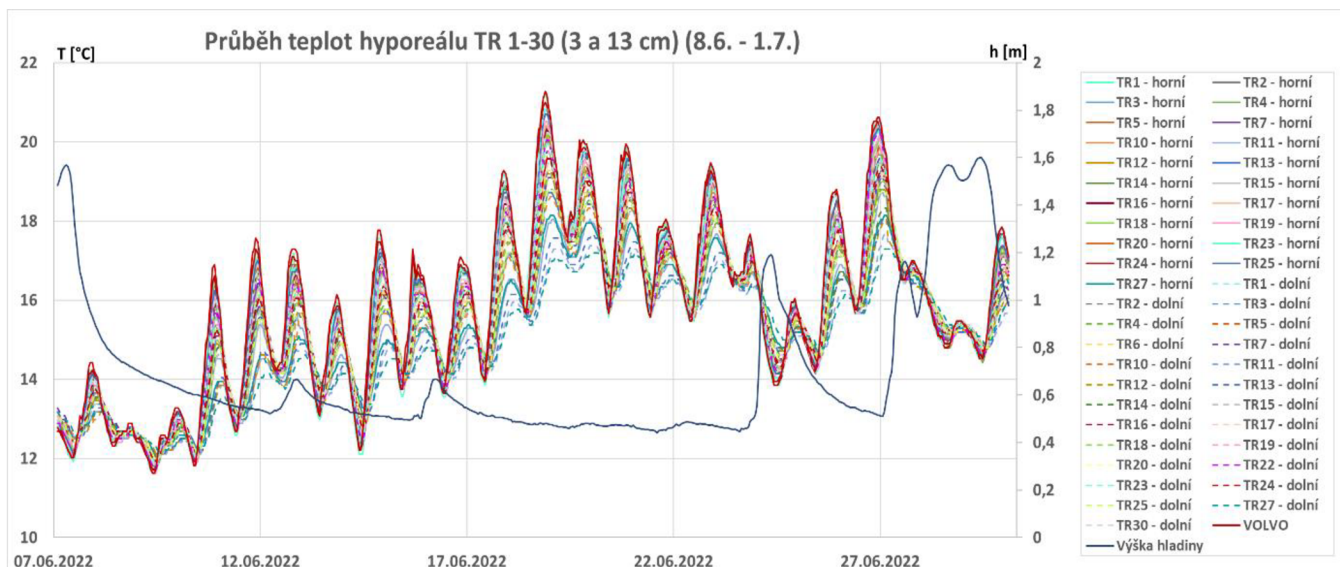
Zpočátku délky podélného transektu (TR1) zachycuje experiment pravděpodobný downwelling. Teploty horní i dolní teploměry TR1 úzce korelují s linií volné vody. Následující čidla ve směru transektu svůj teplotní režim pozvolna snižují vlivem chladnějšího prostředí. Body TR4-5 vykazují známky mírného upwellingu. V poměru s volnou vodou dochází k rozdílu hodnot v podvečerním maximu až o 1 °C. Večerní maxima a ranní minima přicházejí zpožděny do 2 hodin.

Po proudu došlo k relativnímu uklidnění změn směru výměny. I přes nedostatek teplotních informací mezi TR6-10 vlivem chyb lze předpokládat horizontální proudění. Obě vrstvy hyporeálu plynou paralelně bez většího mísení. Zlom nastává 5,5 metru od začátku (TR11), zmítaný skokově nízkou teplotou. Zřejmě vlivem upwellingu vyvěrá z hyporeálu chladná voda. Bod specifikuje velká časová setrvačnost s konzistentními nízkými teplotami obou vrstev. Chladný vývěr ovlivňuje několik dalších bodů TR12-15. Za běžných hydrologických podmínek nedochází k značnému projevu. Vzestup hladiny vyvolá změnu režimu pro soupravy pod TR11 do vzdálenosti odhadem 2-2,5 metru (TR12-16). Projevem bývá pokles teploty v obou vrstvách hyporeálu po několik dnů, poté dojde k opětovnému ustálení.

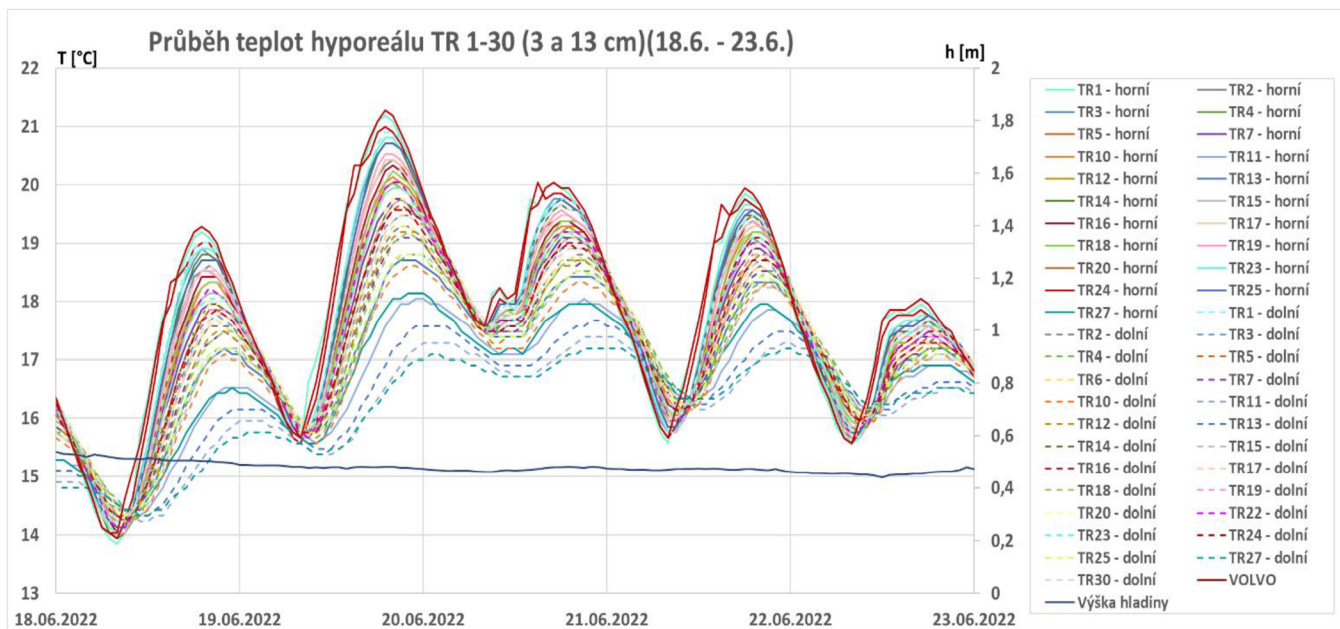
Následující pasáž TR17-20 prokázala téměř neměnné prostředí. Rozdíl vrstev dosahoval téměř $\frac{3}{4}$ °C. Možno interpretovat jako průtočný hyporeál bez výrazných změn.

Soupravy TR23-25 leží v těsné blízkosti trsu makrofyt. Horní teploměry téměř kopírují volnou vodu bez větších rozdílů. Vše nasvědčuje faktu, že tuto oblast ovlivňuje trs makrofyt. Za daného průtoku zaráží proudění dolů, v opačném případě zase nahoru. TR25 dolní snímal oblast trsu s výsledkem nižší teploty oproti teploměrům TR23-25 dolní. Souprava TR27 ležící za trsem v obou hloubkách zaznamenala výrazně nižší teplotní hodnoty vůči několika předešlým měřením. Možno určit jako místo ovlivněné režimem upwellingu. Sleduje ještě o něco nižší teplotní trend než bod TR11. Maximálních i minimálních teplot oblast dosahovala o 2-3 hodiny déle oproti volné vodě. Teplotní rozdíl oproti volné vodě dosahoval pravidelně více než 1 °C.

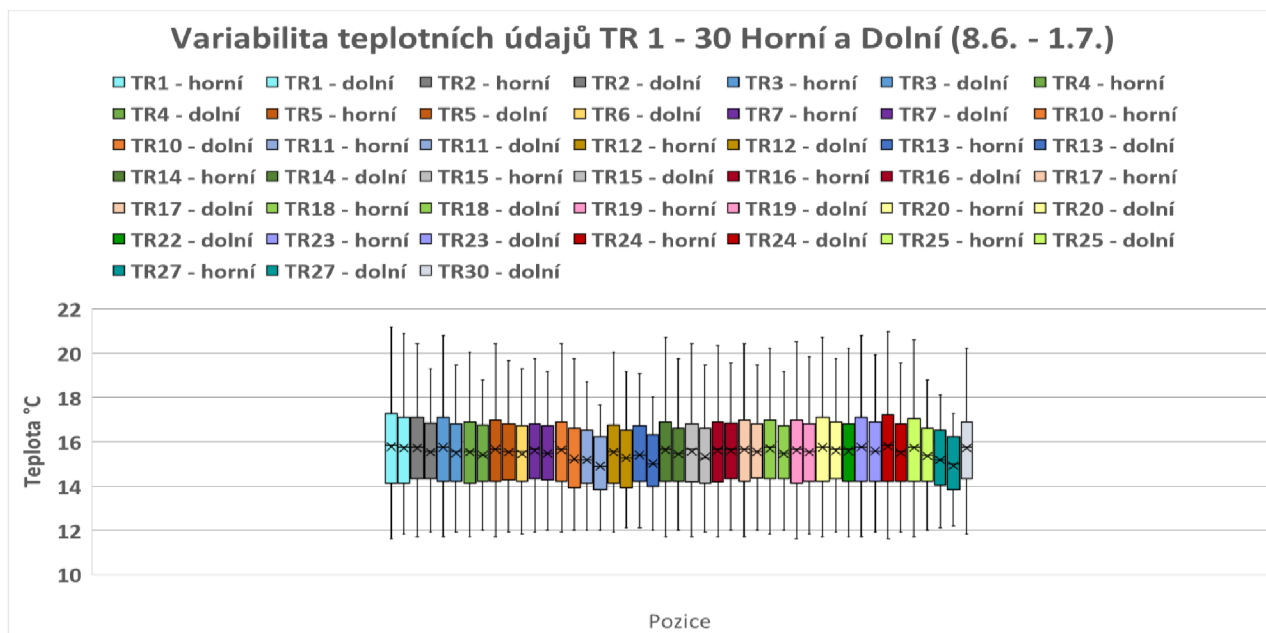
Obecně je možno prokázat přítomnost horizontálního i vertikálního pohybu vody ve zkoumaném hyporeálu. Oblasti downwellingu střídají místa upwellingu, proložené stabilním horizontálním režimem. Setrvačnost i teplotní rozdíly některých bodů působí nezanedbatelně. Projev zvýšení hladiny dopadá na oblast zúžením rozdílů jednotlivých souprav. Do odeznění průtoku teplota úzce kopíruje hodnoty volné vody. (Obr.5.2.1.-4)



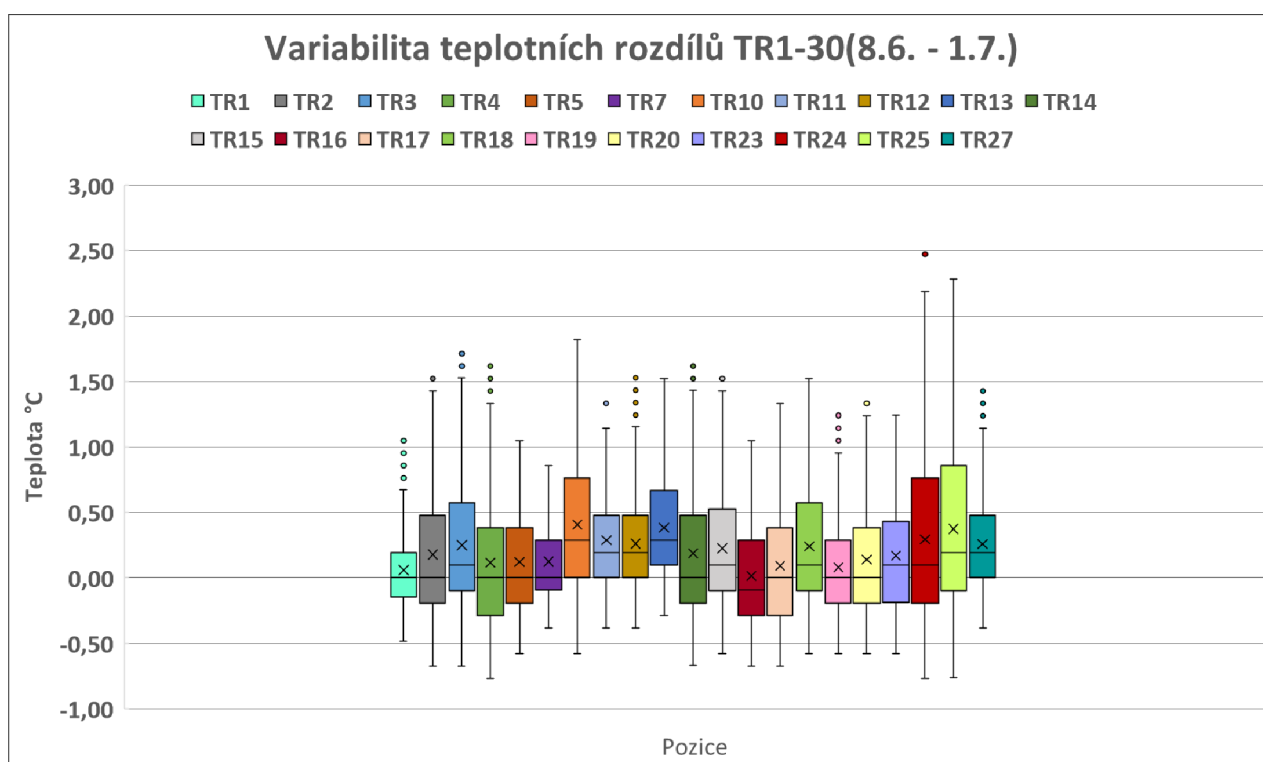
Obrázek 5.2.1 Znárodnění průběhu změn teploty v horních a spodních (3 a 13 cm) hloubkových profilech. Měřeno na třiceti měrných bodech plochy Transekt. Chybová čidla nebyla do grafu zapojena. Horní čidlo znázorňuje plná linie, spodní čidlo přerušovaná. Jedná se o období 8.6.-1.7. 2022. Svislá hlavní osa (vlevo) znázorňuje teplotu (°C). Svislá vedlejší osa (vpravo) znázorňuje dynamiku výšky vodní hladiny (m).



Obrázek 5.2.2 Bližší znázornění průběhu změn teploty v horních a spodních (3 a 13 cm) hloubkových profilech. Měřeno na třiceti měrných bodech plochy Transekt. Chybová čidla nebyla do grafu zapojena. Horní čidlo znázorňuje plná linie, spodní čidlo přerušovaná. Jedná se o výřez období 18.6.–23.6. 2022 z 8.6.–1.7. 2022 viz Obr.5.2.1. Svislá hlavní osa (vlevo) znázorňuje teplotu (°C). Svislá vedlejší osa (vpravo) znázorňuje dynamiku výšky vodní hladiny (m).



Obrázek 5.2.3 Variabilita absolutních teplotních údajů v horních a dolních hloubkových profilech. Měřeno na třiceti měrných bodech plochy Transekt. Chybová čidla nebyla do grafu zapojena. Levý boxplot z dvojice vždy znázorňuje horní čidlo (vyjma TR – 30) viz Legenda. Jednotlivé boxploty značí konkrétní měrné body v terénu. Jedná se o období 8.6.–1.7. 2022. Svislá hlavní osa (vlevo) zobrazuje teplotu (°C).



Obrázek 5.2.4 Variabilita rozdílových teplotních údajů mezi horními a dolními hloubkovými profily. Měřeno na třiceti měrných bodech plochy Transekt. Chybová čidla nebyla do grafu zapojena. V případě chyby jednoho z dvojice profilů, nebyla začazena celá sestava (nebyla možnost rozdílu). Jednotlivé boxploty značí konkrétní měrné body v terénu. Jedná se o období 8.6.–1.7. 2022. Svislá hlavní osa (vlevo) zobrazuje teplotu (°C). Záporné číslo značí vyšší teplotu spodního čidla.

Při kontrolních návštěvách oblasti došlo ke změření oxidace hyporeálu vybraných bodů. Měření bylo provedeno - TR1, TR8, TR16, TR22 a TR27. Vlivem omezení období lze považovat pouze 3 ze 4 kontrolních měření. Poslední kontrola 17.7. již nevyhověla tomuto časovému intervalu.

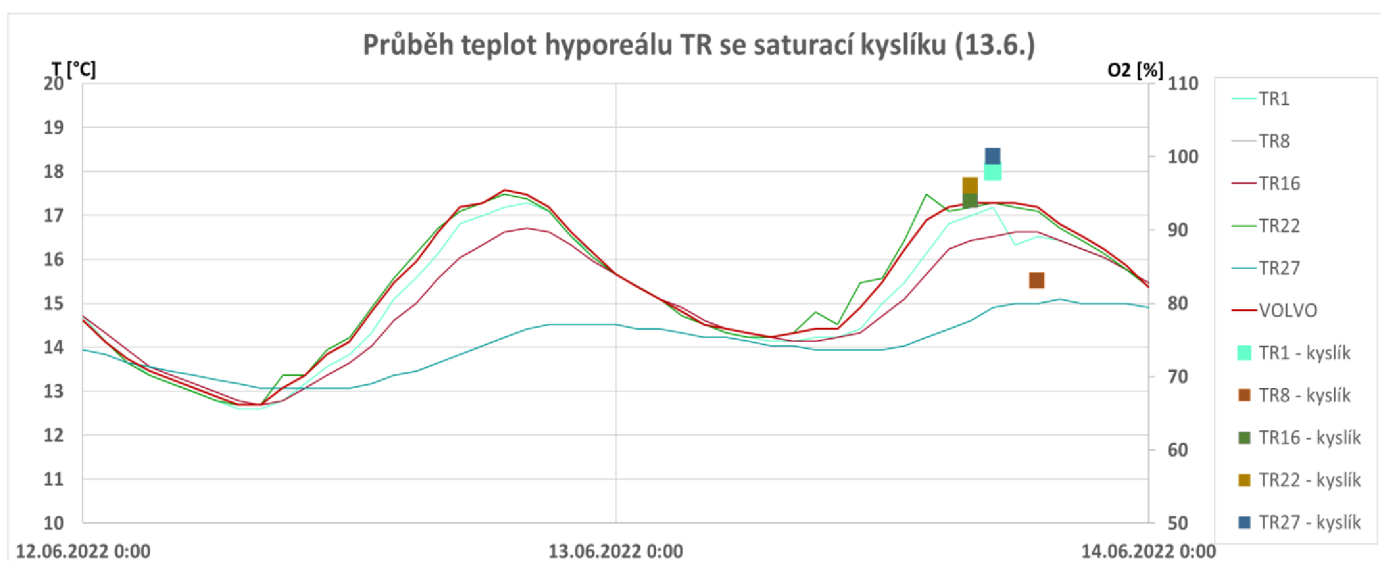
Hodnoty okolí bodu TR8 vykázaly pravidelně ze všech pozic nejnižší saturace kyslíkem. Teplotní hodnoty z TR8 ani TR9 k dispozic bohužel nejsou. Porovnáním validních teploměřů teplota v rámci tohoto úseku příliš nekolísala. Nejvyšší saturaci pravidelně vykazovala oblast TR22, dle čeho lze usuzovat úzkou komunikaci s okysličenou volnou vodou. Hodnoty kyslíku TR27 nebyly správně vyhodnoceny, tudíž od 2 kontroly nejsou podloženy. Porovnání kyslíkových údajů s teplotními liniemi dotčených bodů formou složeného grafu, přehledně vyložilo situaci. (Tab.5.2.1-2) (Obr.5.2.5-7)

Tabulka 5.2.1 Přehled absolutních hodnot okysličení (%O₂) získaných v oblasti Transekt. Saturace kyslíku (%) rozdělena barevnou škálou v rámci měření na lokalitě Transekt. Barevnou škálou byly rozlišeny nízké hodnoty (červeně) a vysoké hodnoty (zeleně) saturace kyslíkem. Nízké (červeně) hodnoty poukazují na špatnou prokysličenost bodu v den kontroly. Barevná škála definuje každé datum měření zvlášť.

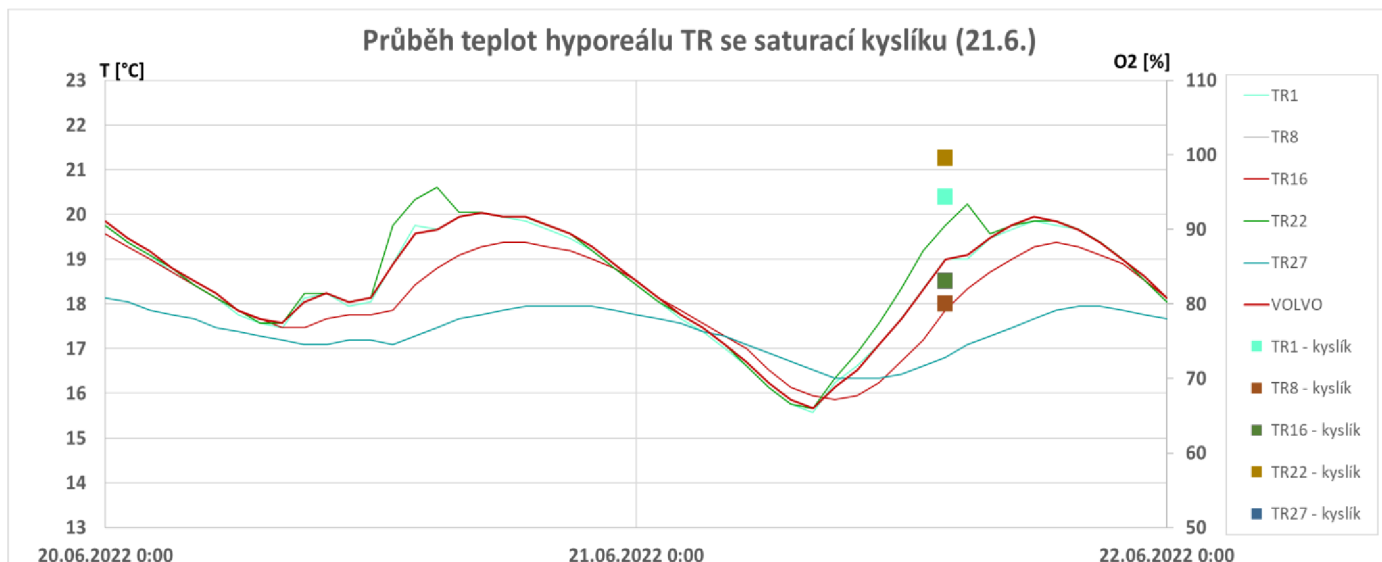
TRANSEKT O ₂ (%)	13.06.2022	21.06.2022	27.06.2022
TR1	98,0	94,3	76,0
TR8	83,0	80,0	55,0
TR16	94,0	83,0	79,0
TR22	96,0	99,5	91,0
TR27	100,0	-	-

Tabulka 5.2.2 Přehled hodnot okysličení (%O₂) získaných v oblasti Transekt. Sloupce (popisná statistika) vždy porovnává hodnoty ze všech měření na daném bodě. Saturace kyslíku (%) rozdělena barevnou škálou v rámci měření na lokalitě Transekt. Barevnou škálou byly rozlišeny nízké hodnoty (červeně) a vysoké hodnoty (zeleně) saturace kyslíkem. Nízké (červeně) hodnoty poukazují na špatnou prokysličenost bodu za všechny měřené hodnoty. Barevná škála definuje každé datum měření zvlášť.

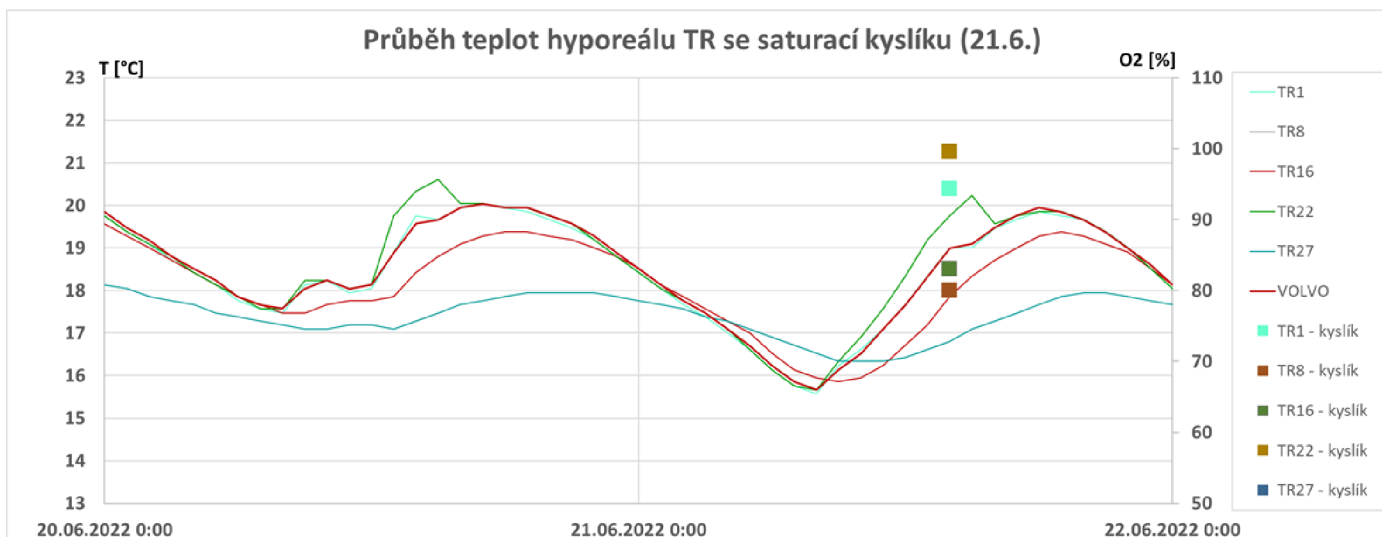
TRANSEKT	Průměr	Medián	Max	Min
TR1	89,4	94,3	98,0	76,0
TR8	72,7	80,0	83,0	55,0
TR16	85,3	83,0	94,0	79,0
TR22	95,5	96,0	99,5	91,0
TR27	-	-	-	-



Obrázek 5.2.5 Znárodnění průběhu teplot hyporeálu horních profilů na pěti měrných bodech plochy Transekt (linie). Jedná se o období 12.6.–14.6. 2022. Doplňkově byla měřena saturace kyslíku na totožných pěti bodech (body). Míra okysličení hyporeálu byla měřena 13.6. v rozmezí 16-19 hodiny odpolední (vyznačeno rozestupem). Svislá hlavní osa (vlevo) zobrazuje teplotu (°C). Svislá vedlejší osa (vpravo) zobrazuje procentuální saturaci kyslíku (%O₂).



Obrázek 5.2.6 Znárodnění průběhu teplot hyporeálu horních profilů na pěti měrných bodech plochy Transket (linie). Jedná se o období 20.6.–22.6. 2022. Doplnkově byla měřena saturace kyslíku na totožných pěti bodech (body). Míra okysličení hyporeálu byla měřena 21.6. v rozmezí 13-14 hodiny odpolední. Svislá hlavní osa (vlevo) zobrazuje teplotu (°C). Svislá vedlejší osa (vpravo) zobrazuje procentuální saturaci kyslíku (%O₂). Hladina kyslíku TR27 nebyla správně vyhodnocena, proto není v oblasti grafu.



Obrázek 5.2.7 Znárodnění průběhu teplot hyporeálu horních profilů na pěti měrných bodech plochy Transekt (linie). Jedná se o období 26.6.–28.6. 2022. Doplnkově byla měřena saturace kyslíku na totožných pěti bodech (body). Míra okysličení hyporeálu byla měřena 27.6. v období těsně kolem 12 hodiny polední. Svislá hlavní osa (vlevo) zobrazuje teplotu (°C). Svislá vedlejší osa (vpravo) zobrazuje procentuální saturaci kyslíku (%O₂). Hladina kyslíku TR27 nebyla správně vyhodnocena, proto není v oblasti grafu.

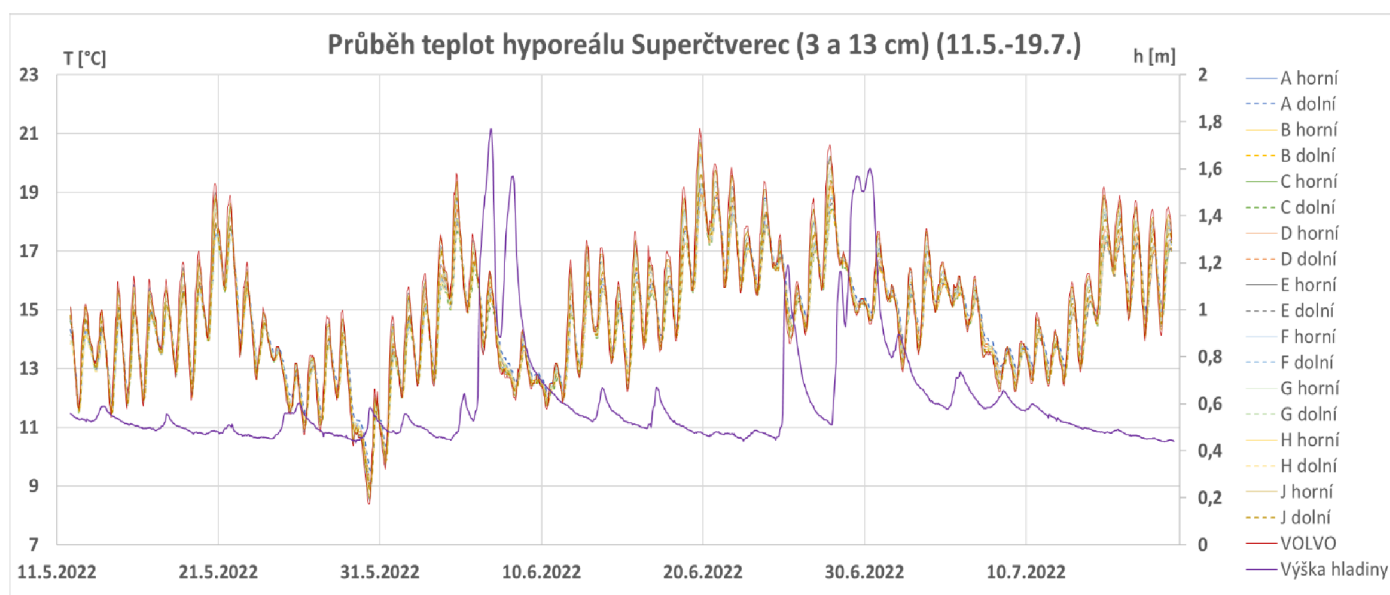
5.3 Superčtverec

V této ploše našly své umístění body A–J, vyjma I. Čidla zaznamenávala bezchybně, vyjma D dolní. Přístroj přestal plnit svoji funkci 19. července, pravděpodobně vlivem technického problému.

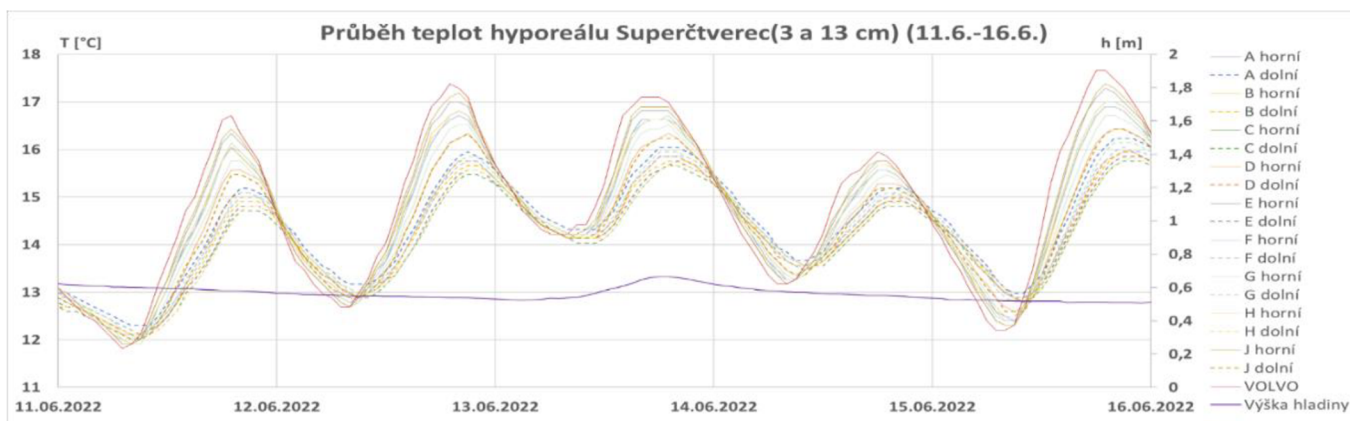
Výměna v prostředí hyporeálu vykazovala poměrně velkou nestejnoroďost. Důkladným studiem teplotního chodu jednotlivých čidel je možno vysledovat několik významných trendů.

Mělčí vrstva hyporeálu více komunikuje s prostorem volné vody. Rozdíly mezi volnou vodou a mělčím hyporeálem obvykle dosahují řádu nižších desetín stupně Celsia. Chladnější prostředí dlouhodobě vykazovaly čidla D a G, která se neřídka teplotně pohybovaly mezi teplotami hlubšího hyporeálu. Vzhledem k faktu, že linie D horní i dolní opisují obdobně nízké teploty, pravděpodobně bod zachycuje oblast upwellingu (vyvozeno z období /11.5.-19.7./ před poruchou D dolní). Také krabicový graf z tohoto období označuje soupravu D nejmenšími rozptyly i mediánem blízko 0. Podobně jsou vykresleny bod A, G – nízké průměry s mediány. Dle získaných informací možno určit oblast Superčtverce A, D, G jako ovlivněnou vzestupným prouděním (upwelling). (Obr.5.3.1-4)

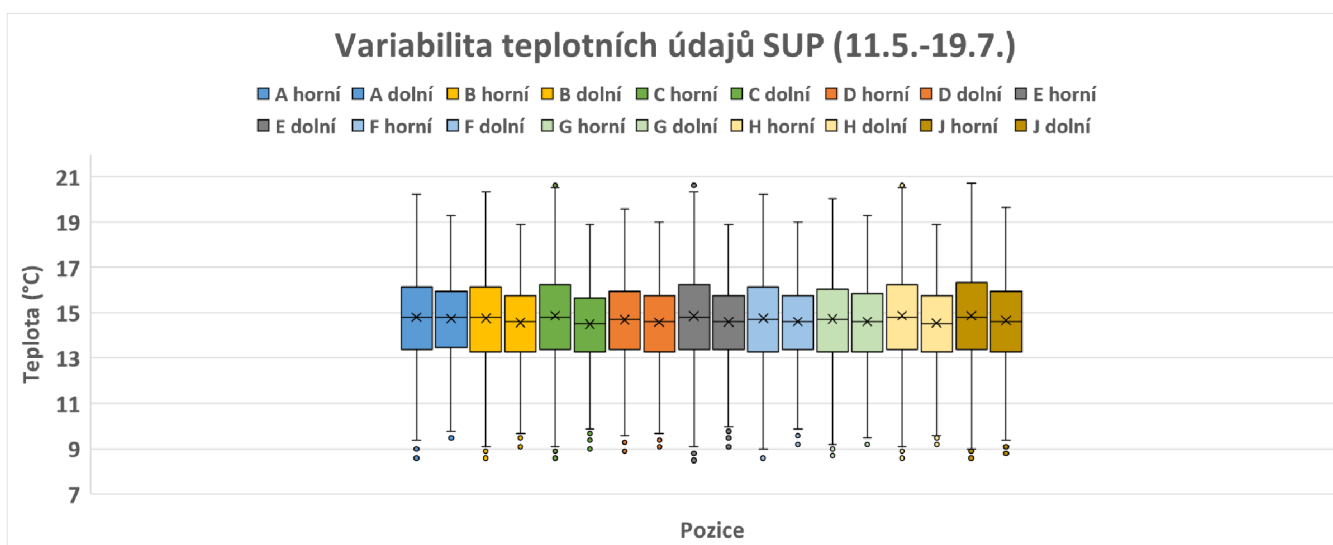
Mezi soupravy, které teplotou nejvýrazněji kopírují linii volné vody, náleží bod J. Posouzením krabicových grafů i popisných statistických hodnot vysoce pravděpodobně bod ovlivňuje downwelling. S vysokou mírou pravděpodobnosti lze považovat body C, E a H za ovlivněné totožným směrem proudění.



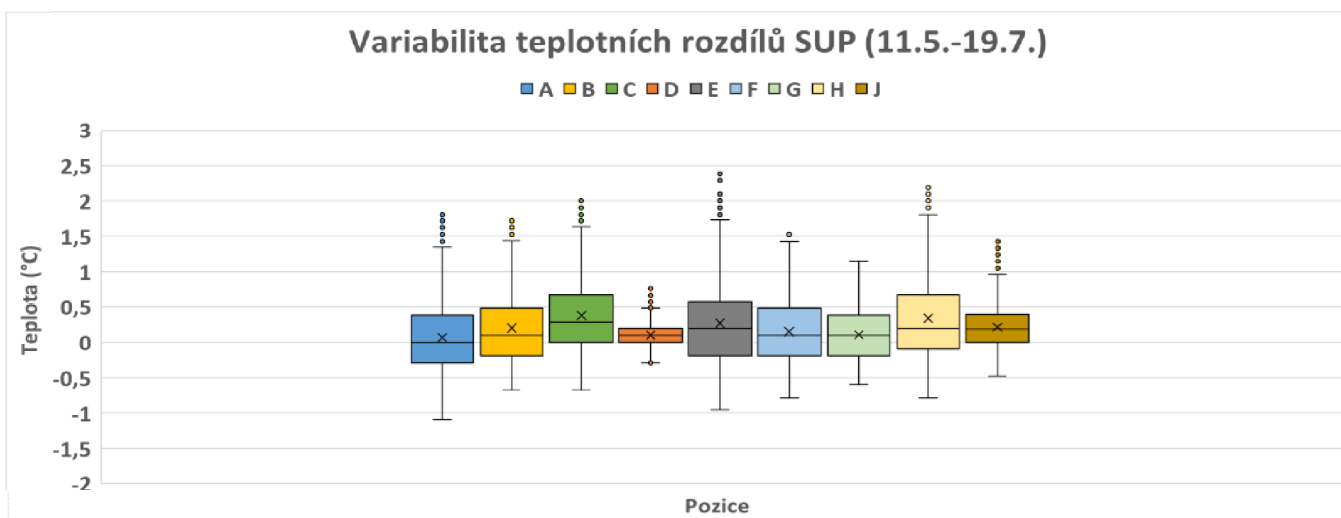
Obrázek 5.3.1 Znárodnění průběhu změny teplot v horních a spodních (3 a 13 cm) hloubkových profilech. Měřeno na devíti měrných bodech plochy Superčtverec. Horní čidlo znázorňuje plná linie, spodní čidlo přerušovaná. Jedná se o období 11.5.-19.7. 2022. Svislá hlavní osa (vlevo) znázorňuje teplotu (°C). Svislá vedlejší osa (vpravo) znázorňuje dynamiku výšky vodní hladiny (m).



Obrázek 5.3.2 Bližší znázornění průběhu změn teploty v horních a spodních (3 a 13 cm) hloubkových profilech. Měřeno na devíti měrných bodech plochy Superčtverec. Horní čidlo znázorňuje plná linie, spodní čidlo přerušovaná. Jedná se o výřez období 11.6.-16.6. 2022 z 11.5.-19.7.2022 voz Obr.5.3.1. Svislá hlavní osa (vlevo) znázorňuje teplotu (°C). Svislá vedlejší osa (vpravo) znázorňuje dynamiku výšky vodní hladiny (m).



Obrázek 5.3.3 Variabilita absolutních teplotních údajů v horní a dolních hloubkových profilech. Měřeno na devíti měrných bodech plochy Superčtverec. Levý boxplot z dvojice vždy znázorňuje horní čidlo, viz Legenda. Jedná se o období 11.5.-19.7. 2022. Svislá hlavní osa (vlevo) zobrazuje teplotu (°C).



Obrázek 5.3.4 Variabilita rozdílových teplotních údajů mezi horními a dolními hloubkovými profily. Měřeno na devíti měrných bodech plochy Superčtverec. Jednotlivé boxploty značí konkrétní měrné body v terénu. Jedná se o období 11.5.-19.7. 2022. Svislý hlavní osa (vlevo) zobrazuje teplotu (°C). Záporné číslo značí vyšší teplotu spodního čidla.

Během experimentu při čtyřech plánovaných kontrolách na čtyřech rozích čtverce došlo ke zjištění míry okysličení mělčí vrstvy hyporeálu. Roh G vyšel jako nejhůře prokysličený. Bod G vykázal oproti ostatním bodům nejnižší saturaci kyslíkem. Ihned při první kontrole naměřené hodnoty nepřekročily hranici 30 % O₂. Rovněž medián i průměr ohodnotil místo nejhůře. Pravděpodobně v rohu G dochází opravdu k upwellingu a průkazně nízké hodnoty kyslíku právě tento jev charakterizují. V závěsu špatných hodnot pokračuje roh A. Špatné hodnocení patrně není náhodné. Metr po proudu leží zmíněný špatně hodnocený bod G. Oba rohy při druhé kontrole 21.6. vykázaly souborně průměrně o 40 % vyšší saturaci kyslíkem. Nutno podotknout, že vyšší saturace zaznamenaly všechny body v Superčtverci téhož měření. Nárůst byl ovšem u rohu A a G nejvyšší. (Obr.5.3.5-8)

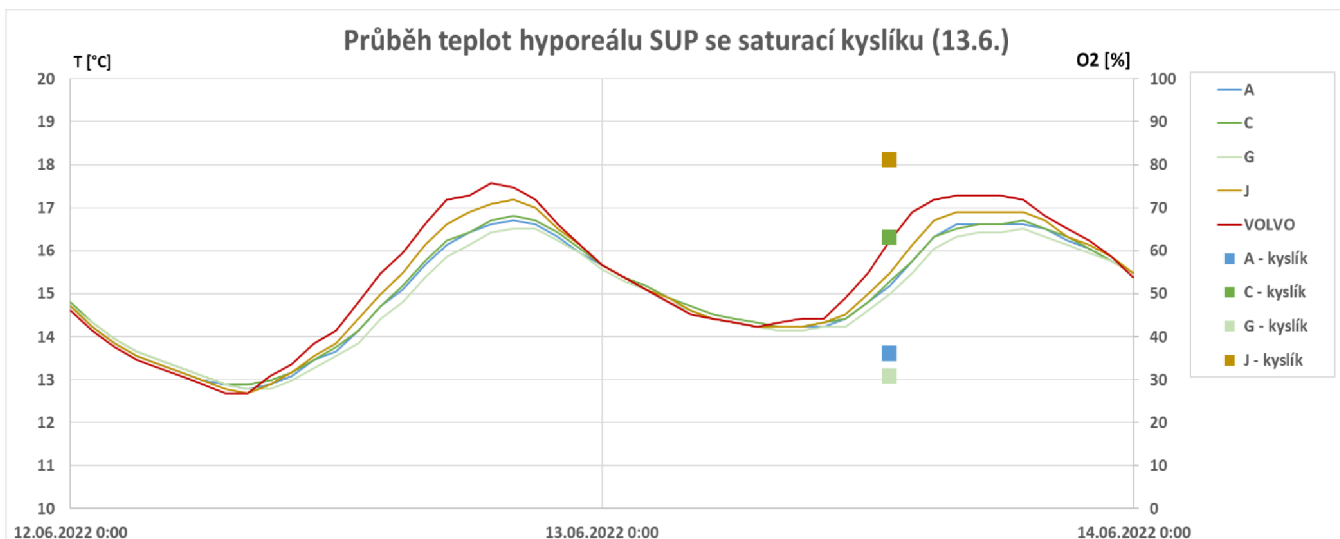
Nejvyšší hodnoty prokysličenosti vykázal roh J, což potvrzoval nejvyšší průměr, medián a druhá nejvyšší maximální hodnota kyslíku. Pravidelné vysoké hodnoty kyslíku mohou poukázat na přítomnost downwellingu. V takové okamžiku sestupující proud vnáší do hyporeálového prostředí potřebný kyslík. (Tab.5.3.1-2)

Tabulka 5.3.1 Přehled absolutních hodnot okysličení (%O₂) získaných v oblasti Superčtverec. Saturace kyslíku (%) rozdělena barevnou škálou v rámci měření na lokalitě Superčtverec. Barevnou škálou byly rozlišeny nízké hodnoty (červeně) a vysoké hodnoty (zeleně) saturace kyslíkem. Nízké (červené) hodnoty poukazují na špatnou prokysličenost bodu v den kontroly. Barevná škála definuje každé datum měření zvlášť.

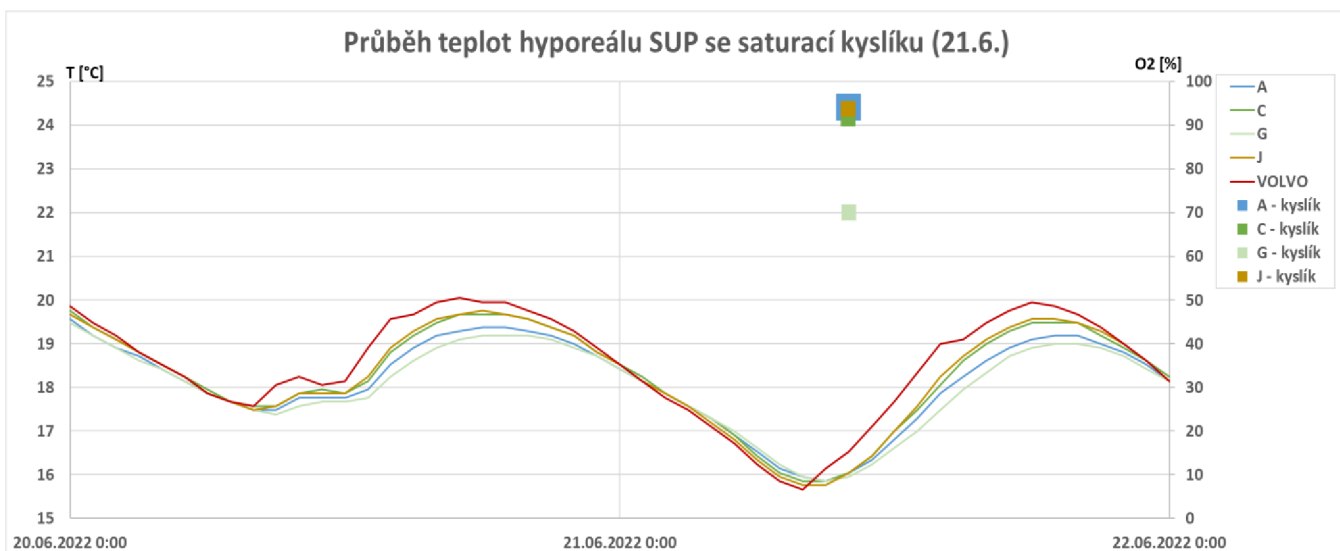
SUPERČTVEREC	13.06.2022	21.06.2022	27.06.2022	17.07.2022
A	36,0	94,0	45,0	67,0
C	63,0	91,3	56,0	70,4
G	30,6	70,0	56,0	48,9
J	81,0	93,5	70,0	68,5

Tabulka 5.3.2 Přehled hodnot okysličení (%O₂) získaných v oblasti Superčtverec. Sloupce (popisná statistika) vždy porovnává hodnoty ze všech měření na daném bodě. Saturace kyslíku (%) rozdělena barevnou škálou v rámci měření na lokalitě Superčtverec. Barevnou škálou byly rozlišeny nízké hodnoty (červeně) a vysoké hodnoty (zeleně) saturace kyslíkem. Nízké (červené) hodnoty poukazují na špatnou prokysličenost bodu za všechny měřené hodnoty. Barevná škála definuje každé datum měření zvlášť.

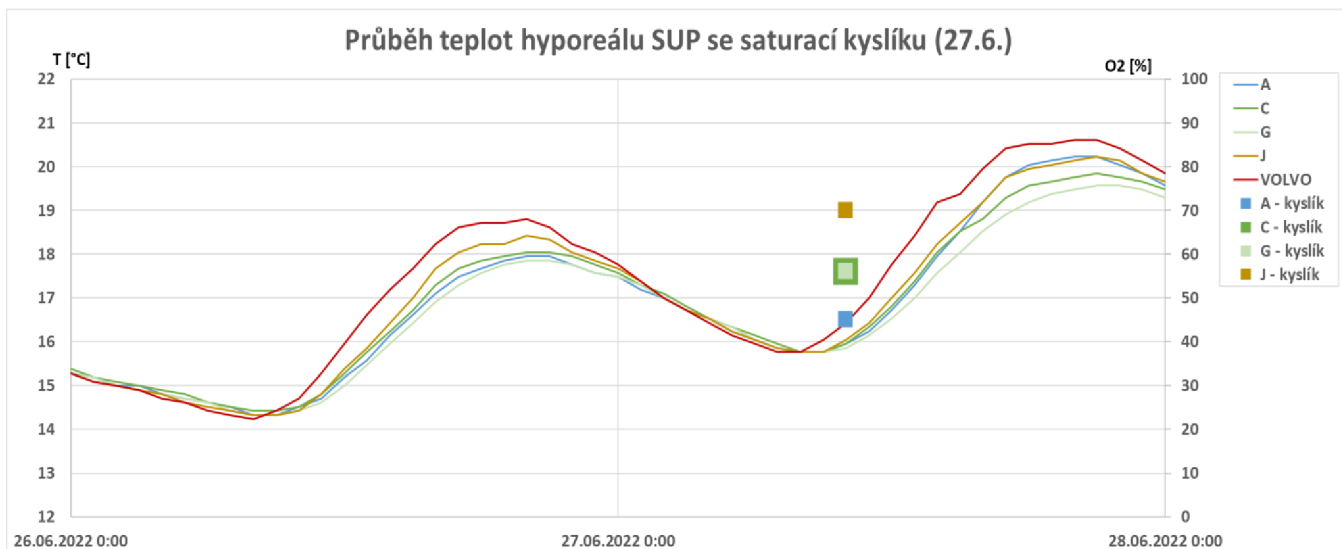
SUPERČTVEREC	Průměr	Medián	Max	Min
A	60,5	56,0	94,0	36,0
C	70,2	66,7	91,3	56,0
G	51,4	52,5	70,0	30,6
J	78,3	75,5	93,5	68,5



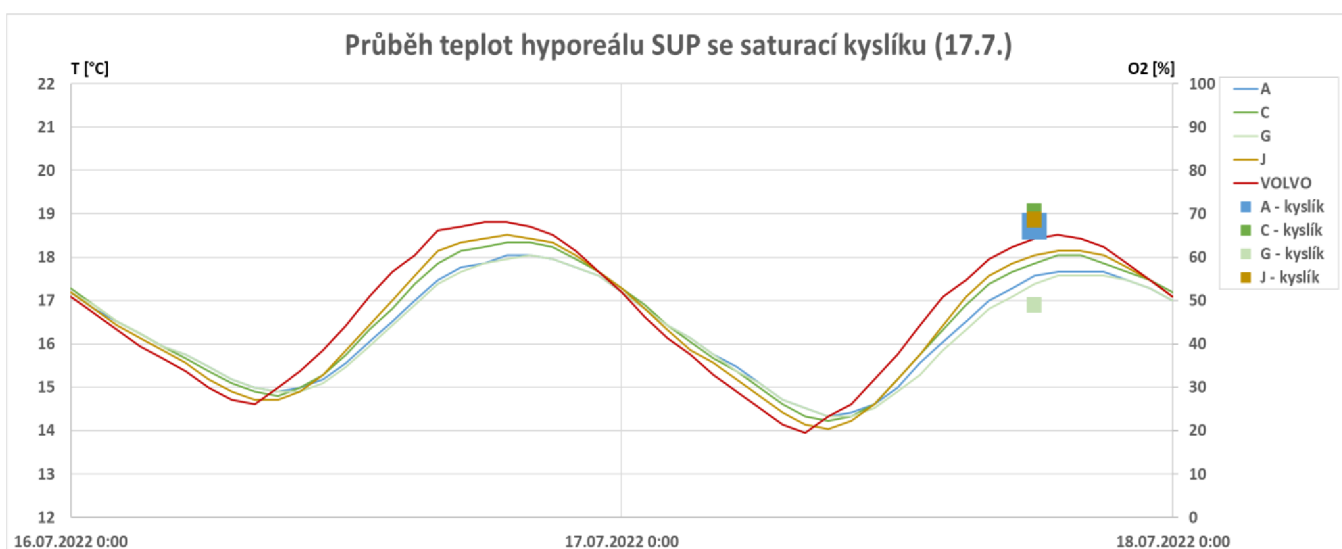
Obrázek 5.3.5 Znáznornění průběhu teplot hyporeálu horních profilů na čtyřech měrných bodech plochy Superčtverec (linie). Jedná se o období 12.6.-14.6. 2022. Doplňkově byla měřena saturace kyslíku na totožných čtyř bodech (body). Míra okysličení hyporeálu byla měřena 13:6. v období od 12 do 13 hodin odpolední. Svislá hlavní osa (vlevo) zobrazuje teplotu (°C). Svislá vedlejší osa (vpravo) zobrazuje procentuální saturaci kyslíku (%O₂).



Obrázek 5.3.6 Znáznornění průběhu teplot hyporeálu horních profilů na čtyř měrných bodech plochy Superčtverec (linie). Jedná se o období 20.6.-22.6. 2022. Doplňkově byla měřena saturace kyslíku na totožných čtyřech bodech (body). Míra okysličení hyporeálu byla měřena 21.6. v období krátce po 10 hodině dopolední. Svislá hlavní osa (vlevo) zobrazuje teplotu (°C). Svislá vedlejší osa (vpravo)



Obrázek 5.3.7 Znáornění průběhu teplot hyporeálu horních profilů na čtyř měrných bodech plochy Superčtverec (linie). Jedná se o období 26.6.-28.6.2022. Doplňkově byla měřena saturace kyslíku na totožných čtyřech bodech (body). Míra okysličení hyporeálu byla měřena 27.6. v období těsně kolem 10 hodiny dopolední. Svislá hlavní osa (vlevo) zobrazuje teplotu (°C). Svislá vedlejší osa



Obrázek 5.3.8 Znáornění průběhu teplot hyporeálu horních profilů na čtyř měrných bodech plochy Superčtverec (linie). Jedná se o období 16.7.-18.7.2022. Doplňkově byla měřena saturace kyslíku na totožných čtyřech bodech (body). Míra okysličení hyporeálu byla měřena 17.7. v období 18-19 hodiny večerní. Svislá hlavní osa (vlevo) zobrazuje teplotu (°C). Svislá vedlejší osa (vpravo) zobrazuje procentuální saturaci kyslíku (%O2)

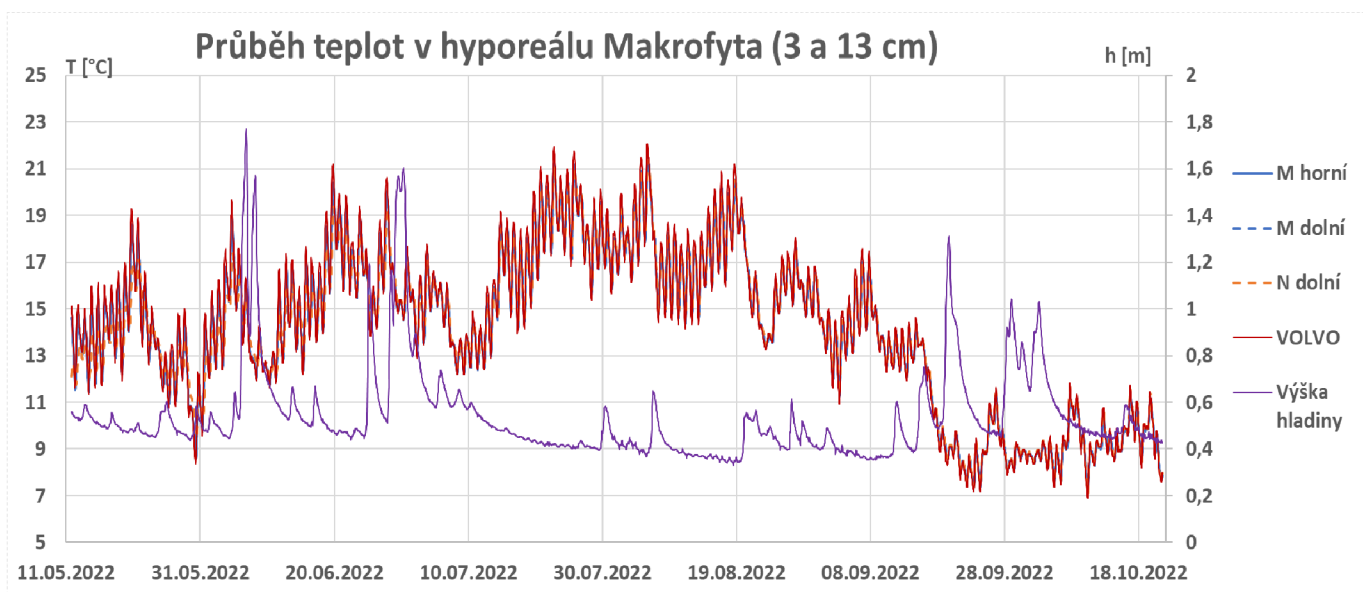
5.4 Makrofyta

Studijní plochu Makrofyta zaznamenávaly soupravy M a N. Obě soupravy aktivně fungovaly po celou dobu experimentu, každá zaznamenala 3 905 údajů. Dle hodnot osvitu nebyla čidla vyjma N horní dotčena. Již od počátku měření čidlo zapisovalo známky osvitů, pravděpodobně chybou instalace. Rozmezí hodnot dosahovalo řádu nižších desítek, ojediněle nižších stovek Lux. Sluneční svit při jasné obloze dosahuje průměrně více než 10 000 Lux (Simon & Bílý, ústní sdělení). V návaznosti na sérii zvýšeného vodního sloupce dne 25. – 28.6. došlo k obnažení čidla N horní. Hodnoty pravidelně v denním rytmu dosahovaly hodnot 1000–1500 Lux. Pravděpodobně čidlo zakrývaly vodní rostliny, proto hodnoty osvitů nepřesáhly hranici 2000 Lux, což odpovídá zatažené obloze. Téměř po jednom měsíci vlivem nepatrně zvýšené hladiny se hodnoty osvitů navrátily zpět k desítkám až nižším stovkám jednotek. Změnu pravděpodobně vysvětlují turbulence vznikající ve spodní části trsu. Vlivem přítomnosti osvitů nemůže teploměr N horní plnohodnotně podložit správnost primárního účelu sledování. Z načtených hodnot lze nezávazně odvodit velmi blízkou korelaci s volně tekoucí vodou.

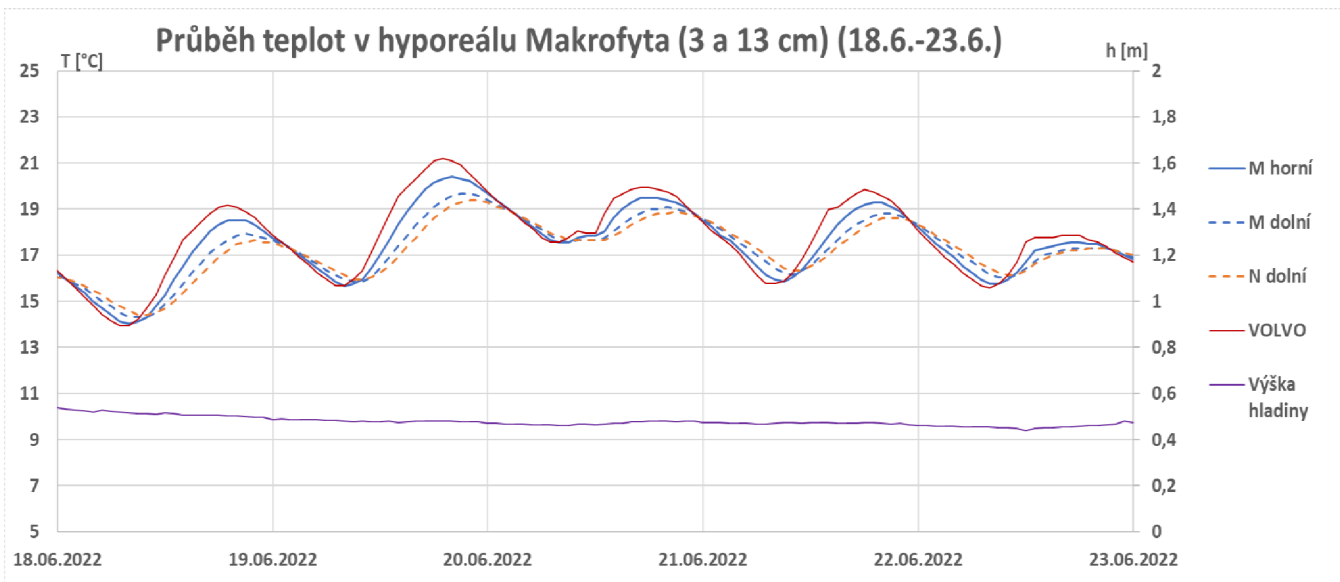
Horizontální gradient spodních senzorů M a N dokládá nepochybně vliv kořenového balu s jemným pískem. Teploměr M dolní dosahoval svých nejvyšších denních hodnot se zpožděním v řádu 2-3 hodin oproti volné vodě. N dolní nejvyšších teplot dosahoval ještě minimálně o hodinu později.

Teplotní čidlo M horní v průběhu experimentu zaznamenávalo hodnoty o několik desetin stupně nižší v porovnání s volnou vodou. Nejvyšší denní maxima byla měřena v průměru s hodinovým zpožděním.

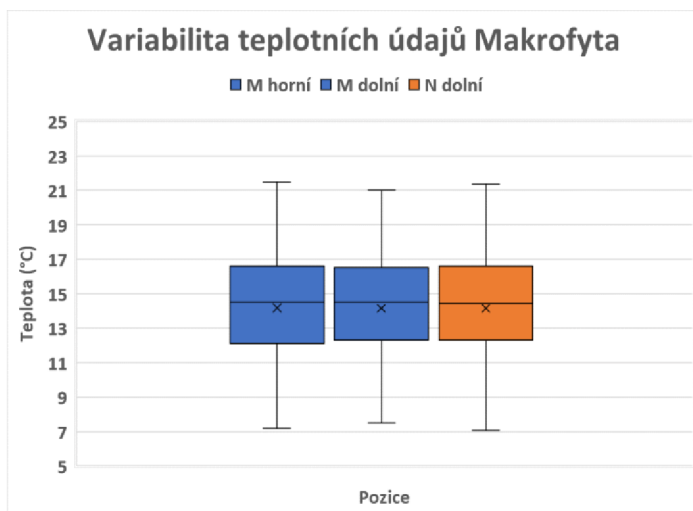
Rozdílové hodnoty (horní – dolní) potvrdily větší rozkolísanost soupravy M. Mínusových rozdílů dosahovala pravidelně mezi půlnocí až 11 hodinou dopolední. Záporné rozdíly lze interpretovat jako okamžik, ve kterém horní čidlo naměřilo teplotu nižší než dolní. V průběhu dne důvodem ohřátí volně proudící vody bylo prostředí mělkého hyporeálu opět teplejší. Zvýšení výšky vodního sloupce vyvolalo v trsu kolektivní pokles hodnot s celkově minimálními rozdíly. Čidlo N dolní během změny režimu vykazovalo značný odstup. Nezřídka během takové situace po několik hodin měřilo ze skupiny teploměrů teploty nejvyšší (Obr.5.4.1-4)



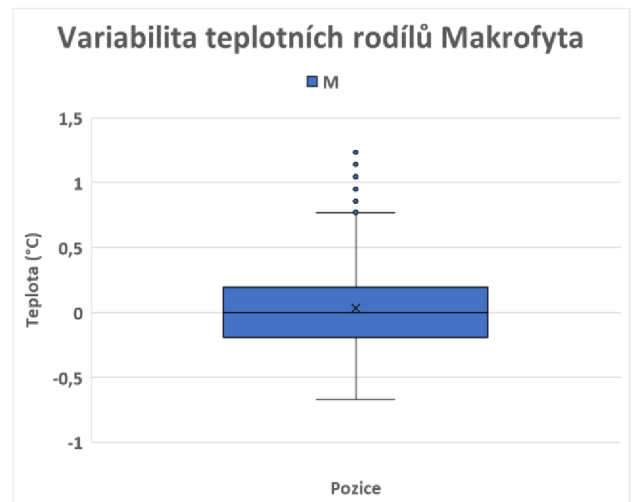
Obrázek 5.4.1 Znárodnění průběhu změn teploty v horních a spodních (3 a 13 cm) hloubkových profilech. Měřeno na dvou měrných bodech plochy Makrofyta. Chybová čidla nebyla do grafu zapojena (N horní). Horní čidlo znázorňuje plná linie, spodní čidlo přerušovaná. Jedná se o období 11.5.-21.10.2022. Svislá hlavní osa (vlevo) znázorňuje teplotu (°C). Svislá vedlejší osa (vpravo) znázorňuje dynamiku výšky vodní hladiny (m).



Obrázek 5.4.2 Bližší znázornění průběhu změn teploty v horních a spodních (3 a 13 cm) hloubkových profilech. Měřeno na dvou měrných bodech plochy Makrofyta. Chybová čidla nebyla do grafu zapojena (N horní). Horní čidlo znázorňuje plná linie, spodní čidlo přerušovaná. Jedná se o výřez období 18.6.–23.6. 2022 z 11.5.–21.10.2022 viz Obr.5.4.1. Svislá hlavní osa (vlevo) znázorňuje teplotu (°C). Svislá vedlejší osa (vpravo) znázorňuje dynamiku výšky vodní hladiny (m).



Obrázek 5.4.3 Variabilita absolutních teplotních údajů v horní a dolních hloubkových profilech. Měřeno na dvou měrných bodech plochy Makrofyta. Levý boxplot z dvojice vždy znázorňuje horní čidlo, viz Legenda. Chybová čidla nebyla do grafu zapojena. Jednotlivé boxploty značí konkrétní měrné body v terénu. Jedná se o období 11.5.–21.10.2022. Svislá hlavní osa (vlevo) zobrazuje teplotu (°C).



Obrázek 5.4.4 Variabilita rozdílových teplotních údajů mezi horními a dolními hloubkovými profily. Měřeno na dvou měrných bodech plochy Makrofyta. Chybová čidla nebyla do grafu zapojena. V případě chyby jednoho z dvojice profilů, nebyla začazena celá sestava (nebyla možnost rozdílu). Jednotlivé boxploty značí konkrétní měrné body v terénu. Jedná se o období 11.5.–21.10.2022. Svislá hlavní osa (vlevo) zobrazuje teplotu (°C). Záporné číslo značí vyšší teplotu spodního čidla.

5.5 Bahna

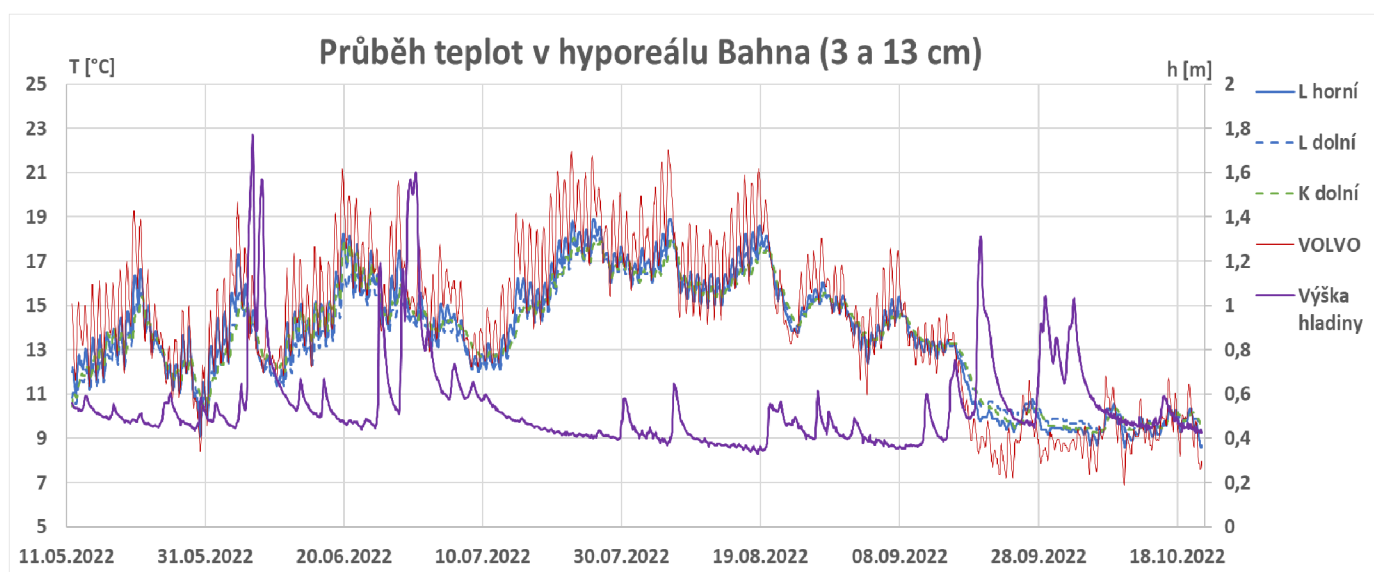
Experimentální lokalitu Bahna snímaly soupravy K a L. Bod K horní vykázal ihned po aktivaci technický problém. Bod nebyl do vyhodnocování vůbec zapojen. Podrobnému rozboru dostalo K dolní a souprava L. Přístroje zaznamenávaly celé období 11.5. 2022 20:00 do 21.10. 2022 12:00. Slunečním osvitem nebyla znehodnocena žádná data.

Porovnání měřených hodnot oblastí Bahna a volně proudící vody (měřeno cca 50 m proti proudu) poskytlo zajímavé poznatky. Z měření vyplývá, že bod K dolní (ze všech instalovaných na úseku umístěn neblíže břehu) vykázal vůbec nejmenší kolísání oproti hodnotám volné vody i ostatních čidel. Jistá izolovanost aparátu od proudné části způsobila znatelné napřímení jinak sinusové křivky. Zejména při zvýšených průtocích v měsíci červnu vykazovalo čidlo zvýšené teploty po několik dalších dnů. V ostatních případech úzce opisovalo křivku teploměru L dolní. Obě dolní čidla vykazovala určitou setrvačnost. Volně proudící voda dosahovala svých denních maximálních hodnot okolo 17-19 hodiny večerní, závisle na meteorologických podmínkách. Spodní body svých denních maximálních teplot dosahovaly řádově o několik hodin později. V případě L dolní tak bylo v době okolo půlnoci, K dolní dokonce až v čase rozbřesku. K dolní dosahovala svých maximální teplot teoreticky v době, kdy volná voda svých minimálních, konkrétně časně zrána.

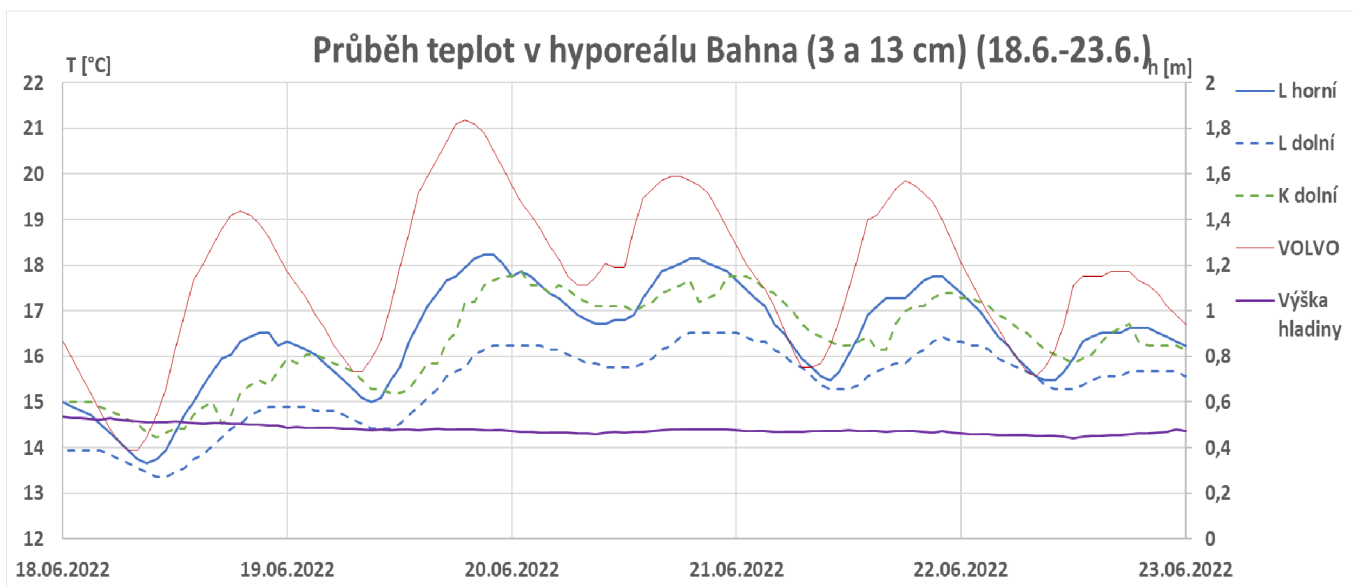
Díky nižší průtočné rychlosti mohlo prostředí kumulovat tepelnou energii, která posléze ovlivňovala a oddalovala teplotní oscilaci. Z výsledků můžeme usoudit, že pokud bychom umístili další bod více ke břehu, tlumící procesy by působily ještě citelněji.

Oblast mělčího hyporeálu působila náchylněji k četným změnám vlivem volné vody. Zpoždění čidla L horní se pohybovalo v řádu 2-3 hodin. Mělčí hyporeál tedy také vykazoval známky setrvačnosti ve vztahu dosažení maximálních a minimálních hodnot. Rozptyl měřených hodnot byl větší oproti hlubšímu hyporeálu stejného místa.

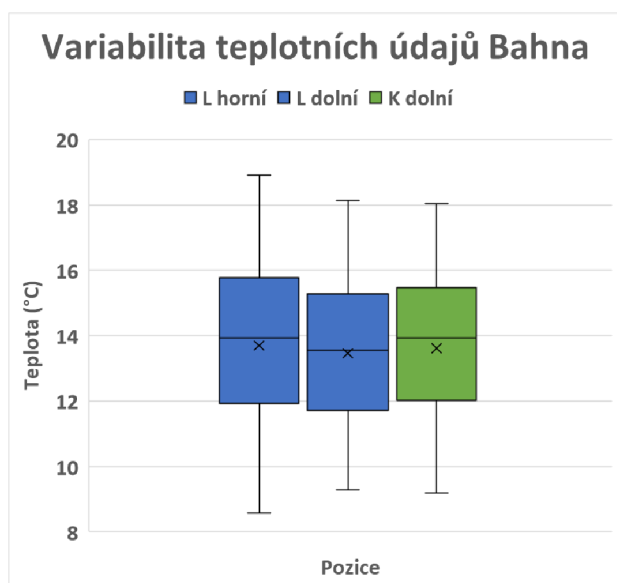
Z grafů také vyplývá, že v případě běžného rytmu teploměr K dolní vycházel z trojice nejchladněji. V okamžiku skokového ochlazení volné vody změna dopadla na bod jako poslední. Právě v takové chvíli až do vyrovnání situace vykazovalo čidlo K – dolní z trojice hodnoty naopak nejvyšší. (Obr.5.5.1-4) Vzhledem k rozložení souprav kolmo k proudnici nelze jednoznačně určit podélný gradient s osou toku. Zpravidla dochází k výměně povrchové a hyporeální vody ve směru osy toku, nikoli kolmo.



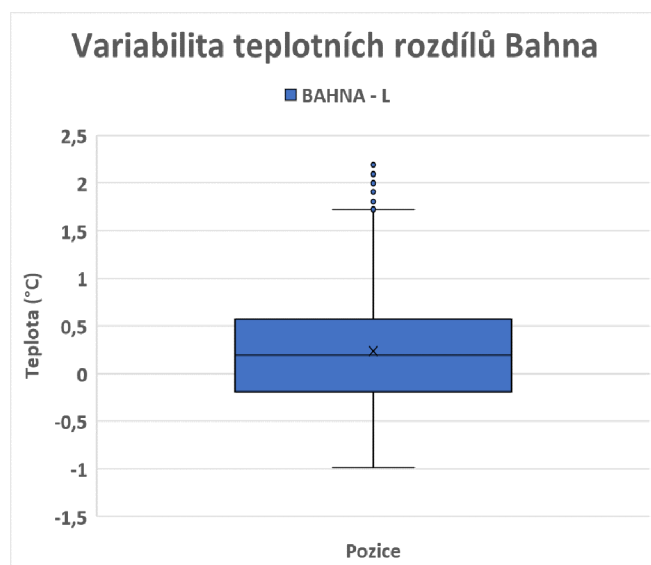
Obrázek 5.5.1 Znárodnění průběhu změn teploty v horních a spodních (3 a 13 cm) hloubkových profilech. Měřeno na dvou měrných bodech plochy Bahna. Chybavá čidla nebyla do grafu zapojena (K horní). Horní čidlo znázorňuje plná linie, spodní čidlo přerušovaná. Jedná se o období 11.5.-21.10.2022. Svislá hlavní osa (vlevo) znázorňuje teplotu (°C). Svislá vedlejší osa (vpravo) znázorňuje dynamiku výšky vodní hladiny (m).



Obrázek 5.5.2 Bližší zázornění průběhu změn teploty v horních a spodních (3 a 13 cm) hloubkových profilech. Měřeno na dvou měrných bodech plochy Bahna. Chybová čidla nebyla do grafu zapojena (N horní). Horní čidlo znázorňuje plná linie, spodní čidlo přerušovaná. Jedná se o výřez období 18.6.–23.6. 2022 z 11.5.–21.10.2022 viz Obr. 5.5.1. Svislá hlavní osa (vlevo) znázorňuje teplotu (°C). Svislá vedlejší osa (vpravo) znázorňuje dynamiku výšky vodní hladiny (m).



Obrázek 5.5.4 Variabilita absolutních teplotních údajů v horní a dolních hloubkových profilech. Měřeno na dvou měrných bodech plochy Bahna. Levý boxplot z dvojice vždy znázorňuje horní čidlo, viz Legenda. Chybová čidla nebyla do grafu zapojena. Jednotlivé boxploty značí konkrétní měrné body v terénu. Jedná se o období 11.5.–21.10.2022. Svislá hlavní osa (vlevo) zobrazuje teplotu (°C).



Obrázek 5.5.3 Variabilita rozdílových teplotních údajů mezi horními a dolními hloubkovými profilech. Měřeno na dvou měrných bodech plochy Bahna. Chybová čidla nebyla do grafu zapojena. V případě chyby jednoho z dvojice profilů, nebyla začazena celá sestava (nebyla možnost rozdílu). Jednotlivé boxploty značí konkrétní měrné body v terénu. Jedná se o období 11.5.–21.10.2022. Svislá hlavní osa (vlevo) zobrazuje teplotu (°C). Záporné číslo značí vyšší teplotu spodního čidla.

6 Diskuze

Metoda pro vyhodnocení variability výměny hyporeální a povrchové vody za pomoci kontinuálního (diurnálního) snímání teploty vhodně splnila svůj účel. Stejnou metodou se zabývali například Hatch et al. (2006), Irvine & Lautz (2015), Irvine et al. (2017) a Cremeans et al. (2020) který sledoval její limity. Takový postup měření v různých hloubkách hyporeálu může nastinit, jakým způsobem komunikují vrstvy podzemní vody s volně proudící vodou a naopak. Spolu s informacemi o výšce vodní hladiny a okysličení hyporeálu (případně průtoku), lze nalézt jinak rozdrobené spojitosti. Získané povědomí o zákonitostech, kterými se řeka řídí, velmi napomůže hledání habitatů určených k výsadku juvenilních jedinců perlorodky říční na základě vlastního záchranného programu.

Přínos práce spočívá v popsání čtyř lokalit v rámci jednoho úseku Teplé Vltavy během totožných průtokových i klimatických podmínek. Tím došlo k popisu nejen dvou různých hloubek mělkého hyporeálu, rovněž ale k popisu několika dnových mikrohabitatů s rozličnými hydrodynamickými podmínkami (proudný úsek, klidnější úsek, porost makrofyt, stagnující bahnitě dno).

Nespornou výhodou kontinuálního měření teploty hyporeálu pomocí malých teplotních čidel spočívá v obrovské variabilitě, které lze tímto dosáhnout jak prostorově, tak časově. Čidla lze uspořádat do téměř jakkoli tvarované vertikální a horizontální série. Časové řady mohou čítat týdny nebo měsíce. Malé rozměry pozitivně ulehčují zejména instalaci/odinstalaci, kdy není potřebné hloubit velké jámy. Metoda využití malých teplotních čidel je rovněž poměrně ekonomická, byť prvotní pořizovací náklady nemusí být zanedbatelné. Informace získané čidly efektivně naskytnou komplexní data nejen o teplotě, ale i osvitu. Při dobré údržbě lze čidla bez problémů využívat po několik sezón.

Nicméně je velmi důležité a těžké zajistit, aby čidla opravdu zaznamenávala neměnnou pozici po celou dobu experimentu. V návaznosti na uskutečněný experiment lze potvrdit, že zajištění statických podmínek v říčním prostředí může představovat skutečný problém. Například v sérii Transekt nestabilní dnový materiál „znehodnotil“ několik měření tím, že došlo k jejich obnažení. Druhou nepříznivou variantu je přihnutí čidla, čímž čidlo pořídí údaje z větší hloubky. Nebezpečí nespočívá pouze ve vysoké průtočné rychlosti, která hravě čidlo odkryje/přihrne, zrádně vyhlíží také turbulence za případnou překážkou. Pravděpodobně právě turbulence na sérii Makrofyta obnažily N horní, jež ležela v patě trsu. Od samého počátku totiž sonda vykazovala známky osvitu.

Z experimentu vyplynula jako vhodné možnost instalovat čidla v malých rozestupech od sebe. V případě ztráty datové řady jednoho čidla, druhé vedlejší zastupuje roli zálohy. V případě bezchybného chodu obou přístrojů lze získat kontrolu kvality měření. Vzdálenost 50 centimetrů v případě Transektu a Superčtverce se pro účely práce zdá být dostatečná. Citelné zpřesnění by znamenalo osadit sérii po 25 centimetrech, ideálně paralelně vedle sebe. V případě výpadku jedné, nebo dokonce více za sebou ležících souprav, by vznikla poměrně významná nepopsaná oblast. Z výsledků práce vyplývá, že horizontální rozpětí oblastí s různými směry pohybu vody, jsou poměrně malé. V rámci série Transekt rozpětí činilo do 2-3 metrů. Osazení souprav hustěji sledovanou variabilitu ještě zpřesní.

Velký přínos by znamenalo zjištění, jaký má skutečný vliv osvit na změnu sledované teploty. Zda sonda ponořená ve vodním prostředí měřitelně reaguje na přítomnost osvitu. Při dalších výzkumech by se tak mohlo ušetřit značné množství dat, které osvit poznamenal. Primární funkcí měření osvitu použitými čidly v experimentu platí, že poskytují permanentní kontrolu o poloze čidla, nikoliv však o přesné, ale pouze o orientační (nade dnem/pode dnem).

Doplňkové měření rozpuštěného kyslíku v hyporeálu daného úseku hodnotím jako málo průkazné. Jednorázové měření během kontrol nemá samo o sobě dostatečnou vypovídající hodnotu. Nicméně data získaná v rámci experimentu na sériích Transekt a Superčtverec spíše potvrzují vyvozené směry pohybu vody na základě teploty. V ideálním případě by se rozpuštěný kyslík měřil kontinuálně. V případě kontinuálního měření by bylo značně ztíženo zajištění prostorové variability. Pravděpodobně není možné osadit úsek řeky takovým množstvím kontinuálních kyslíkových sond, jako teplotními čidly.

7 Závěr a přínos práce

Účel předkládané práce spočíval v popsání variability teplotních rozdílů a pravděpodobných směrů pohybu vody ve dvou různých hloubkách (3 a 13 cm) mělkého hyporeálu. V rámci experimentálního říčního úseku Teplé Vltavy byla instalována síť teplotních čidel systematicky do celkem čtyř sérií, v období od května do října 2022. V závislosti na kvalitě získaných dat jednotlivých ploch bylo období upraveno dle konkrétní situace. První dvě série, Transekt a Superčtverec, reprezentují běžný typ dna toku, vyskytující se nejen v tomto úseku. Doplnkově byla čidla umístěna do dvou dalších dnových mikrohabitátů, s předpokladem odlišných hydrodynamických podmínek. Dvě doplňkové série sestávaly z porostu makrofyt (stud. plocha Makrofyta) a stagnujícího bahnitého dna (stud. plocha Bahna). Série tvoří průnik ploch, které lze obvykle najít v prostředí říčního toku.

Dále se experiment zabýval sběrem dat koncentrace rozpuštěného kyslíku ve vybraných kontrolních dnech s různými meteorologickými podmínkami. Doplnkově byla přejata kontinuální data tlakové výšky hladiny. Sběr dat o vodních stavech byl primárně určen pro řešení projektu OPŽP „Posílení a ochrana populace perlorodky říční v NP Šumava“ pro Správu NP Šumava.

Vyhodnocení teplotních dat prokázalo přítomnost značné nejednotvárnosti říčního dna u všech sérií. Možno potvrdit, že nejvíce heterogenní úsek představoval Transekt. Díky svému umístění v části peřejnatého úseku vykázal poměrně pestrou škálu vertikálních, ale i horizontálních rozdílů směru proudění. Očekávaně nejmenších rozdílů dosahovala studijní plocha Bahna, umístěná mimo proudnici, s velmi nízkou průtočnou rychlostí. Na poměry říčního úseku relativně malá plocha 1x1 metru (Superčtverec) prokázala jistou nehomogenitu. Proti proudu levá část (A, D, G) vykazovala známky spíše upwellingu, zatímco pravá (C, F, J) downwellingu. Údaje prokysličenosti měřené ve všech čtyřech rozích skutečnost spíše potvrdily.

Výsledky práce poslouží pro rozšíření povědomí o zákonitostech říčního prostředí. Získané poznatky mohou být do budoucna aplikovány pro hledání vhodných habitatů určených k výsadku juvenilních jedinců perlorodky říční v rámci vlastního záchranného programu.

8 Literatura a použité zdroje

ALLAN, J.D., CASTILLO, M.M., 2007: Stream ecology: structure and function of running waters. 2nd ed. Springer Nature. ISBN 978-1-4020-5583-6.

AMBROŽOVÁ, J., 2003: Aplikovaná a technická hydrobiologie. 2. vydání. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze. ISBN 80-7080-521-8

BÍLÝ, M., 2014: Sladkovodní organismy. Skripta k předmětu Hydrobiologie. Česká zemědělská univerzita v Praze. Fakulta životního prostředí. Praha.

BOANO, F., HARWEY, J.W., MARION, A., PACKMAN, A.I., REVELLI, R., RIDOLFI, L., WORMAN, A., 2014: Hyporheic flow and transport processes: Mechanisms, models, and biogeochemical implications. *Reviews of Geophysics*. Vol 52. p603-679.

BOULTON, A.J., DATRY, T., KASAHARA, T., MUTZ, M., STANFORD, J.A., 2010: Ecology and management of the hyporheic zone: stream-groundwater interactions of running waters and their floodplains. *Journal of the North American Benthological Society*. Vol 29. p26-40.

CAISSIE, D., 2006: The thermal regime of rivers: a review. *Freshwater biology*. Vol 51. p1389-1406.

CARLING, P., 2009: River Flow. In: DOOGE, C.I.J.: Fresh Surface Water – Vol. II. Eolos Publishers Co. Ltd., Oxford, United Kingdom. ISBN -978-1-84826-012-1. (23-50)

CREMEANS, M.M., DEVLIN, J.F., OSORNO, T.C., McKNIGHT, U.S., BJERG, P.L., 2020: A Comparison of Tools and Methods for Estimating Groundwater-Surface Water Exchange. *Groundwater Monitoring & Remediation*. Vol 40. p24-34.

CZERNUSZENKO., W., 2009: Transport Proceses in River Systems. In: DOOGE, C.I.J.: Fresh Surface Water – Vol. II. Eolos Publishers Co. Ltd., Oxford, United Kingdom. ISBN -978-1-84826-012-1. (1-22)

ČERNÁ, M., SIMON, O. P., BÍLÝ, M., DOUDA, K., DORD, B., GALOVÁ, M., & VOLFOVÁ, M., 2018: Within-river variation in growth and survival of juvenile freshwater pearl mussels assessed by in situ exposure methods. *Hydrobiologia*, 810, 393-414.

ČUZK., 2023: Český úřad zeměměřický a katastrální: Prohlížeč služba WMS – Ortofoto.

ČUZK., 2023: Český úřad zeměměřický a katastrální: Prohlížeč služba WMS – Vodní toky.

DOOGE, C.I.J., 2009: Fresh Surface Water – Vol I. Eolos Publishers Co. Ltd., Oxford, United Kingdom. ISBN -978-1-84826-011-5. p1-30.

EVANS, E. C., MCGREGOR, G. R., PETTS, G. E., 1998: River energy budgets with special reference to river bed process. *Hydrological processes*. 12. p575-595.

GALIA, T., 2017: Fluviální geomorfologie. Ostravská univerzita. Přírodovědecký fakulta. ISBN 978-80-7464-901-1.

- GEIST, J., 2010: Strategies for the conservation of endangered freshwater pearl mussels (*Margaritifera margaritifera* L.): a synthesis of conservation genetics and ecology. *Hydrobiologia*. p69-88.
- GIBSON, S., SHELLEY, J., 2020: Flood disturbance, recovery, and inter-flood incision on a large sand-bed river. *Geomorphology*. Vol 351.
- GLOSE, T.J., LOWRY, CH.S., HAUSNER, M.B., 2019: Limits on groundwater-surface water fluxes derived from temperature time series: Defining resolution-based thresholds. *Water Resources Research*. Vol 55. p10678-10689.
- GORGON, N.D., McMAHON, T.A., FINLAYSON, B.L., GIPPEL, CH.J., NATHAN, J.R., 1992: *Stream Hydrology: an introduction for ecologist*. 2nd ed. © 2004 John Wiley & Sons. ISBN 0-470-84357-8.
- HARVEY, J.W., BENCALA, K.E., 1993: The effect of streambed topography on surface-subsurface water exchange in mountain catchments. *Water resources research*. Vol 29. p89-98.
- HATCH, CH.E., FISHER, A.T., REVENAUGH, J.S., CONSTANZ, J., RUEHL, CH., 2006: Quantifying surface water-groundwater interactions using time series analysis of streambed thermal records: Method development. *Water Resources Research*, Vol 42.
- HOŘICKÁ, Z., MRÁZEK, V., FIALA, D., 2022: Hydrologický monitoring míst vhodných pro vybudování odchovného a reprodukčního prvku. In: PITHART, D. a kol.: Posílení a ochrana populace perlorodky říční v NP Šumava. Část 1 – Odchov. Průběžná zpráva za rok 2022. p34-39
- HOŘICKÁ, Z., MRÁZEK, V., FIALA, D., 2023: Hydrologický monitoring míst vhodných pro vybudování odchovného a reprodukčního prvku. In: PITHART, D. a kol.: Posílení a ochrana populace perlorodky říční v NP Šumava. Závěrečná zpráva za projekt 2018-2022: 60-64
- HRÁDEK, F., KUŘÍK, P., 2002: *Hydrologie*. Skripta Fakulty lesnické. České zemědělské univerzity v Praze, ISBN 978-80-213-0950-0.
- HRUŠKA, J., VOLF, O., 2003: 20 let výzkumu a aktivní ochrany perlorodky říční v ČR. I. část. *Ochrana přírody* č. 6. Časopis státní ochrany přírody. Ročník 58. Agentura ochrany přírody a krajiny ČR. (168). ISSN 1210-258X.
- HUGGETT, R., 2011: *Fundamentals of geomorphology*. 3rd ed. Routledge. ISBN 0-203-86008-X.
- IRVINE, D.J., BRIGGS, M.A., CARTWRIGHT, I., SCRUGGS, C.R., LAUTZ, L.K., 2017: Improved vertical streambed flux estimation using multiple diurnal temperature methods in series. *Groundwater*. Vol 55. p73-80.
- IRVINE, D.J., LAUTZ, L.K., 2015: High resolution mapping of hyporheic fluxes using streambed temperatures: Recommendations and limitations. *Journal of Hydrology*. p137-146.
- LANGHAMMER, J., et al., 2009 a: *Vymezení typů útvarů povrchových vod*. Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta. Praha.
- LANGHAMMER, J., et al., 2009 b: *Vymezení typů vodních toků*. Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta. Praha.

- LEHOTSKÝ, M., GREŠKOVÁ, A., 2004: Hydromorfologické termíny A-Z. Slovenský hydrometeorologický ústav. Bratislava.
- LELLÁK, J., KUBÍČEK, F., 1992: Hydrobiologie. Praha. Univerzita Karlova. ISBN 80-7066-530-0.
- LINHARTOVÁ, I., ZBOŘIL, A., 2006: Charakteristiky vodních toků. Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka. Praha. ISBN 80-85900-62-9.
- MÁČA, P., 2010: Jednotkový hydrogram. Česká zemědělská univerzita v Praze ve Výzkumném ústavu vodohospodářském T. G. Masaryka, v.v.i. ISBN 978-80-87402-05-4.
- MÁČA, P., 2014: Hydrologie pro bakaláře. Skripta. Česká zemědělská univerzita v Praze. Fakulta životního prostředí. Praha.
- MAGLIOZZI, CH., GRABOWSKI, R., PACKMAN, A.I., KRAUSE, S., 2018: Toward a conceptual framework of hyporheic exchange across spatial scales. *Hydrology and Earth System Sciences*. Vol 22.
- MATTAS, D., 2013: Hydrometrické vrtule a měření s nimi (ČSN EN ISO 748). Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka. Praha.
- PITTER, P., 2015: Hydrochemie. 5. aktualizované a doplněné vydání. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze. ISBN 9788070809280.
- POOLE, G.C., BERMAN, C.H., 2001: An ecological perspective on in-stream temperature: natural heat dynamics and mechanisms of human-caused thermal degradation. *Environmental management*. Vol 27. p787-802.
- RAJWA, A., BIALIK, R.J., KARPINSKI, M., LUKS, B., 2014: Dissolved oxygen in rivers: concepts and measuring techniques. *Achievements, History and Challenges in Geophysics: 60th Anniversary of the Institute of Geophysics, Polish Academy of Sciences*. p337-350.
- SHAW, E.M., 1994: Hydrology in practice. 3rd ed. Department of civil engineering. Imperial college of science. ISBN 0-203-01325-5.
- SPURNÝ, P., MAREŠ, J., KOPP, R., ŘEZNÍČKOVÁ, P., 2015: Hydrologie a rybářství. Mendelova univerzita v Brně. ISBN 978-80-7509-345-5.
- STONESTROM, D.A., CONSTANTZ, J., 2003: Heat as a tool for studying the movement of ground water near streams. US Department of the Interior, US Geological Survey. SBN 0-607-94071-9.
- ŠINDLAR, M., a kol., 2012: Geomorfologické procesy vývoje vodních toků, část 1. – Typologie korytotvorných procesů. Hradec Králové: ŠINDLAR Group s.r.o. ISBN 978-80-2445-2.
- VELDE., van der G., LEUVEN., R.S.E.W., NAGELKERKEN., I., 2009: Types of River Ecosystem. In: DOOGE, C.I.J.: Fresh Surface Water – Vol I. Eolos Publishers Co. Ltd., Oxford, United Kingdom. ISBN -978-1-84826-011-5. p357-371.
- Vyhláška č. 178/2012 Sb., Seznam významných vodních toků a způsob provádění činnosti související se správou vodních toků, v platném znění.

WEBB, B.W., HANNAH, D.M., MOORE, R.D., BROWN, L.E., NOBILIS, F., 2008: Recent advances in stream and river temperature research. Hydrological processes. Vol 22. p902-918.

WHITE, D.S., Perspectives on defining and delineating hyporheic zones. Journal of the North American Benthological Society, 1993, Vol 12. p61-69.

WINTER, T.C., HARVEY, J.W., FRANKE, O.L., ALLEY, W.M., 1998: Ground water and surface and water: a single resource. U.S. Geological Survey circular 1139. ISBN 0-607-89339-7.

WORRALL, F., HOWDEN, N.J.K., BURT, T.P., HANNAH, D.H., 2022: River water temperature demonstrates resistance to long-term air temperature change. Hydrological Processes. Vol 36.

Zákon č. 11/1992 Sb. o ochraně přírody a krajiny. Sbírka zákonů České republiky. 1992. č. 28 p666.

ZELENÝ, V., 2002: Perlorodka říční – modelový ukazatel kvality přírodního prostředí. Ochrana přírody č. 3. Časopis státní ochrany přírody. Ročník 57. Agentura ochrany přírody a krajiny ČR. ISSN 1210-258X. p67.

9 Seznam obrázků

Obrázek 3.1.1 Řády toků říční sítě; a) Strahlerovo číslování; b) Shreveovo číslování; (Hugget, 2011).....	3
Obrázek 3.1.2 a) Podélný profil s ukázkou střídání tůň – peřej, znázornění podmínek vysokého, středního a nízkého průtoku; b) Pohled shora na sekvenci tůň a peřej (Allan & Castillo, 2007).....	5
Obrázek 3.2.1 Meandrující linie, ukazující maximální rychlost a rozdělení proudění, vytváření oblasti usahování a eroze. Příčné řezy vystihují pohyb vody v obloucích (Allan & Castillo, 2007).....	6
Obrázek 3.2.1.1 Lanová dráha využívaná k měření rychlosti proudění. (Shaw, 1994).....	8
Obrázek 3.5.2.1 Průměrná denní teplota vody (Mean daily water temperature) a denní proměnlivost (Diel variability) odvozená v závislosti na směru a řadu toku (Caissie, 2006).....	14
Obrázek 3.5.4.1 Schéma procesů říční výměny tepla (Caissie, 2006).....	15
Obrázek 3.5.5.1 a) Ukázka vzestupného (upwelling) proudění včetně grafu vývoje teploty vody (vlevo nahoře), ukázka piezometrické tlakové výšky (střed). b): Ukázka sestupného (downwelling) proudění včetně grafu vývoje teploty (vlevo nahoře), ukázka piezometrické tlakové výšky (střed) (Stonestrom & Constantz, 2003).....	16
Obrázek 3.9.1 Kategorie transportovaného materiálu. Zleva shora: plovoucí předměty, rozpuštěné částice, splaveniny. Zprava shora: splachy, suspendovaný dnový materiál, materiál dna (Gordon, 1992).....	21
Obrázek 3.10.1 Předpokládané rozpořádání hyporeických zón (H) se zónou podzemní vody (E) v sekvenci tůň-peřej (pool-riffle). (Allan & Castillo, 2007)	22
Obrázek 3.11.1 Subadultní jedinec perlorodky říční ve svém přirozeném prostředí. Teplá Vltava. Foto: Horáčková, Maxa	24
Obrázek 4.1.1 Poloha experimentálního meandru s rozložením jednotlivých studijních sérií v rámci jednoho úseku. Vlevo: širší pohled na volně meandrující řeku až po soutok s Volarským potokem (jemná modrá linie vedoucí shora). Vpravo: bližší situace rozmístěných ploch. Viditelná tůň vpravo, propojena s hlavním tokem pomocí průtočného kanálu. Nachází se nedaleko obce Volary, okres Prachatice, Jihočeský kraj. Souřadnicový systém S-JTSK (ČUZK, 2023). Zpracováno autorem.....	25
Obrázek 4.2.1 Ukázka měřicí soupravy. Dvě teplotní čidla připevněné k ocelovému hřebíku pomocí poplastovaného lanka. Souprava zdokumentována po odinstalaci z říčního dna, proto je přítomna koroze. Foto: autor práce	26

Obrázek 4.2.2 Detailní rozpis umístění čidel v rámci samostatných sérií. Vlevo: podrobný pohled na uložení samostatných teploměrů. VOLVO – čidlo pro měření volně proudící vody. Vpravo: podrobný pohled na uložení samostatných teploměrů dle sérií viz Legenda. SUP – superčtverec; MAKR – makrofyta. Souřadnicový systém S-JTSK (ČUZK, 2023). Zpracováno autorem. 27

Obrázek 4.3.1 Probíhající terénní práce na Teplé Vltavě 2022. Zleva: RNDr. Jitka Horáčková, Ph.D.; Mgr. Ondřej Simon, Ph.D.; Ing. Vojtěch Macháček. Foto: autor práce 28

Obrázek 5.1.1 Znázornění průběhu změn teplot ($^{\circ}\text{C}$) volně proudící vody z počátku a střední části podélného transektu. Jedná se o časové období od 11.5. do 21.10. 2022. Svislá hlavní osa (vlevo) znázorňuje teplotu ($^{\circ}\text{C}$). Svislá vedlejší osa (vpravo) znázorňuje dynamiku výšky vodní hladiny (m). 32

Obrázek 5.1.2 Znázornění průběhu změn teplot ($^{\circ}\text{C}$) volně proudící vody z počátku a střední části podélného transektu. Jedná se o výřez z období viz (Obr. 5.1.1.a) od 28.7. do 2.8. 2022. Výřez byl vybrán náhodně za účelem bližší ukázky teplotní oscilace. Svislá hlavní osa (vlevo) znázorňuje teplotu ($^{\circ}\text{C}$). Svislá vedlejší osa (vpravo) znázorňuje dynamiku výšky vodní hladiny (m). 32

Obrázek 5.2.1 Znázornění průběhu změn teploty v horních a spodních (3 a 13 cm) hloubkových rofilech. Měřeno na třiceti měrných bodech plochy Transekt. Chybová čidla nebyla do grafu zapojena. Horní čidlo znázorňuje plná linie, spodní čidlo přerušovaná. Jedná se o období 8.6.-1.7.2022. Svislá hlavní osa (vlevo) znázorňuje teplotu ($^{\circ}\text{C}$). Svislá vedlejší osa (vpravo) znázorňuje dynamiku výšky vodní hladiny (m) 33

Obrázek 5.2.2 Bližší znázornění průběhu změn teploty v horních a spodních (3 a 13 cm) hloubkových profilech. Měřeno na třiceti měrných bodech plochy Transekt. Chybová čidla nebyla do grafu zapojena. Horní čidlo znázorňuje plná linie, spodní čidlo přerušovaná. Jedná se o výřez období 18.6.–23.6. 2022 z 8.6.–1.7. 2022 viz Obr.5.2.1. Svislá hlavní osa (vlevo) znázorňuje teplotu ($^{\circ}\text{C}$). Svislá vedlejší osa (vpravo) znázorňuje dynamiku výšky vodní hladiny (m). 34

Obrázek 5.2.3 Variabilita absolutních teplotních údajů v horních a dolních hloubkových profilech. Měřeno na třiceti měrných bodech plochy Transekt. Chybová čidla nebyla do grafu zapojena. Levý boxplot z dvojice vždy znázorňuje horní čidlo (vyjma TR – 30) viz Legenda. Jednotlivé boxploty značí konkrétní měrné body v terénu. Jedná se o období 8.6.–1.7. 2022. Svislá hlavní osa (vlevo) zobrazuje teplotu ($^{\circ}\text{C}$). 35

Obrázek 5.2.4 Variabilita rozdílových teplotních údajů mezi horními a dolními hloubkovými profily. Měřeno na třiceti měrných bodech plochy Transekt. Chybová čidla nebyla do grafu zapojena. V případě chyby jednoho z dvojice profilů, nebyla začazena celá sestava (nebyla možnost rozdílu). Jednotlivé boxploty značí konkrétní měrné body v terénu. Jedná se o období 8.6.–1.7. 2022. Svislá hlavní osa (vlevo) zobrazuje teplotu ($^{\circ}\text{C}$). Záporné číslo značí vyšší teplotu spodního čidla. 35

Obrázek 5.2.5 Znázornění průběhu teplot hyporeálu horních profilů na pěti měrných bodech plochy Transekt (linie). Jedná se o období 12.6.–14.6. 2022. Doplnkově byla měřena saturace kyslíku na totožných pěti bodech (body). Míra okysličení hyporeálu byla měřena 13.6. v rozmezí 16-19 hodiny odpolední (vyznačeno rozestupem). Svislá hlavní osa (vlevo) zobrazuje teplotu ($^{\circ}\text{C}$). Svislá vedlejší osa (vpravo) zobrazuje procentuální saturaci kyslíku (% O_2). 36

Obrázek 5.2.6 Znázornění průběhu teplot hyporeálu horních profilů na pěti měrných bodech plochy Transket (linie). Jedná se o období 20.6.–22.6. 2022. Doplnkově byla měřena saturace kyslíku na totožných pěti bodech (body). Míra okysličení hyporeálu byla měřena 21.6. v rozmezí 13-14 hodiny odpolední. Svislá hlavní osa (vlevo) zobrazuje teplotu (°C). Svislá vedlejší osa (vpravo) zobrazuje procentuální saturaci kyslíku (%O₂). Hladina kyslíku TR27 nebyla správně vyhodnocena, proto není v oblasti grafu. 37

Obrázek 5.2.7 Znázornění průběhu teplot hyporeálu horních profilů na pěti měrných bodech plochy Transekt (linie). Jedná se o období 26.6.–28.6. 2022. Doplnkově byla měřena saturace kyslíku na totožných pěti bodech (body). Míra okysličení hyporeálu byla měřena 27.6. v období těsně kolem 12 hodiny polední. Svislá hlavní osa (vlevo) zobrazuje teplotu (°C). Svislá vedlejší osa (vpravo) zobrazuje procentuální saturaci kyslíku (%O₂). Hladina kyslíku TR27 nebyla správně vyhodnocena, proto není v oblasti grafu. 37

Obrázek 5.3.1 Znázornění průběhu změny teplot v horních a spodních (3 a 13 cm) hloubkových profilech. Měřeno na devíti měrných bodech plochy Superčtverec. Horní čidlo znázorňuje plná linie, spodní čidlo přerušovaná. Jedná se o období 11.5.-19.7. 2022. Svislá hlavní osa (vlevo) znázorňuje teplotu (°C). Svislá vedlejší osa (vpravo) znázorňuje dynamiku výšky vodní hladiny (m). 38

Obrázek 5.3.2 Bližší znázornění průběhu změn teploty v horních a spodních (3 a 13 cm) hloubkových profilech. Měřeno na devíti měrných bodech plochy Superčtverec. Horní čidlo znázorňuje plná linie, spodní čidlo přerušovaná. Jedná se o výřez období 11.6.-16.6. 2022 z 11.5.-19.7.2022 viz Obr.5.3.1. Svislá hlavní osa (vlevo) znázorňuje teplotu (°C). Svislá vedlejší osa (vpravo) znázorňuje dynamiku výšky vodní hladiny (m). 39

Obrázek 5.3.3 Variabilita absolutních teplotních údajů v horní a dolních hloubkových profilech. Měřeno na devíti měrných bodech plochy Superčtverec. Levý boxplot z dvojice vždy znázorňuje horní čidlo, viz Legenda. Jedná se o období 11.5.-19.7. 2022. Svislá hlavní osa (vlevo) zobrazuje teplotu (°C). 39

Obrázek 5.3.4 Variabilita rozdílových teplotních údajů mezi horními a dolními hloubkovými profily. Měřeno na devíti měrných bodech plochy Superčtverec. Jednotlivé boxploty značí konkrétní měrné body v terénu. Jedná se o období 11.5.-19.7. 2022. Svislý hlavní osa (vlevo) zobrazuje teplotu (°C). Záporné číslo značí vyšší teplotu spodního čidla. 39

Obrázek 5.3.5 Znázornění průběhu teplot hyporeálu horních profilů na čtyřech měrných bodech plochy Superčtverec (linie). Jedná se o období 12.6.-14.6. 2022. Doplnkově byla měřena saturace kyslíku na totožných čtyř bodech (body). Míra okysličení hyporeálu byla měřena 13:6. v období od 12 do 13 hodin odpolední. Svislá hlavní osa (vlevo) zobrazuje teplotu (°C). Svislá vedlejší osa (vpravo) zobrazuje procentuální saturaci kyslíku (%O₂). 41

Obrázek 5.3.6 Znázornění průběhu teplot hyporeálu horních profilů na čtyř měrných bodech plochy Superčtverec (linie). Jedná se o období 20.6.-22.6. 2022. Doplnkově byla měřena saturace kyslíku na totožných čtyřech bodech (body). Míra okysličení hyporeálu byla měřena 21.6. v období krátce po 10 hodině dopolední. Svislá hlavní osa (vlevo) zobrazuje teplotu (°C). Svislá vedlejší osa (vpravo) zobrazuje procentuální saturaci kyslíku (%O₂). 41

Obrázek 5.3.7 Znázornění průběhu teplot hyporeálu horních profilů na čtyř měrných bodech plochy Superčtverec (linie). Jedná se o období 26.6.-28.6.2022. Doplňkově byla měřena saturace kyslíku na totožných čtyřech bodech (body). Míra okysličení hyporeálu byla měřena 27.6. v období těsně kolem 10 hodiny dopolední. Svislá hlavní osa (vlevo) zobrazuje teplotu (°C). Svislá vedlejší osa (vpravo) zobrazuje procentuální saturaci kyslíku (%O₂). 42

Obrázek 5.3.8 Znázornění průběhu teplot hyporeálu horních profilů na čtyř měrných bodech plochy Superčtverec (linie). Jedná se o období 16.7.-18.7.2022. Doplňkově byla měřena saturace kyslíku na totožných čtyřech bodech (body). Míra okysličení hyporeálu byla měřena 17.7. v období 18-19 hodiny večerní. Svislá hlavní osa (vlevo) zobrazuje teplotu (°C). Svislá vedlejší osa (vpravo) zobrazuje procentuální saturaci kyslíku (%O₂). 42

Obrázek 5.4.1 Znázornění průběhu změn teploty v horních a spodních (3 a 13 cm) hloubkových profilech. Měřeno na dvou měrných bodech plochy Makrofyta. Chybová čidla nebyla do grafu zapojena (N horní). Horní čidlo znázorňuje plná linie, spodní čidlo přerušovaná. Jedná se o období 11.5.-21.10.2022. Svislá hlavní osa (vlevo) znázorňuje teplotu (°C). Svislá vedlejší osa (vpravo) znázorňuje dynamiku výšky vodní hladiny (m). 43

Obrázek 5.4.2 Bližší znázornění průběhu změn teploty v horních a spodních (3 a 13 cm) hloubkových profilech. Měřeno na dvou měrných bodech plochy Makrofyta. Chybová čidla nebyla do grafu zapojena (N horní). Horní čidlo znázorňuje plná linie, spodní čidlo přerušovaná. Jedná se o výřez období 18.6.-23.6. 2022 z 11.5.-21.10.2022 viz Obr.5.4.1. Svislá hlavní osa (vlevo) znázorňuje teplotu (°C). Svislá vedlejší osa (vpravo) znázorňuje dynamiku výšky vodní hladiny (m). 44

Obrázek 5.4.3 Variabilita absolutních teplotních údajů v horní a dolních hloubkových profilech. Měřeno na dvou měrných bodech plochy Makrofyta. Levý boxplot z dvojice vždy znázorňuje horní čidlo, viz Legenda. Chybová čidla nebyla do grafu zapojena. Jednotlivé boxploty značí konkrétní měrné body v terénu. Jedná se o období 11.5.-21.10.2022. Svislá hlavní osa (vlevo) zobrazuje teplotu (°C). 44

Obrázek 5.4.4 Variabilita rozdílových teplotních údajů mezi horními a dolními hloubkovými profily. Měřeno na dvou měrných bodech plochy Makrofyta. Chybová čidla nebyla do grafu zapojena. V případě chyby jednoho z dvojice profilů, nebyla začazena celá sestava (nebyla možnost rozdílu). Jednotlivé boxploty značí konkrétní měrné body v terénu. Jedná se o období 11.5.-21.10.2022. Svislá hlavní osa (vlevo) zobrazuje teplotu (°C). Záporné číslo značí vyšší teplotu spodního čidla. 44

Obrázek 5.5.1 Znázornění průběhu změn teploty v horních a spodních (3 a 13 cm) hloubkových profilech. Měřeno na dvou měrných bodech plochy Bahna. Chybová čidla nebyla do grafu zapojena (K horní). Horní čidlo znázorňuje plná linie, spodní čidlo přerušovaná. Jedná se o období 11.5.-21.10.2022. Svislá hlavní osa (vlevo) znázorňuje teplotu (°C). Svislá vedlejší osa (vpravo) znázorňuje dynamiku výšky vodní hladiny (m). 45

Obrázek 5.5.2 Bližší znázornění průběhu změn teploty v horních a spodních (3 a 13 cm) hloubkových profilech. Měřeno na dvou měrných bodech plochy Bahna. Chybová čidla nebyla do grafu zapojena (N horní). Horní čidlo znázorňuje plná linie, spodní čidlo přerušovaná. Jedná se o výřez období 18.6.-23.6. 2022 z 11.5.-21.10.2022 viz Obr.5.5.1. Svislá hlavní osa (vlevo) znázorňuje teplotu (°C). Svislá vedlejší osa (vpravo) znázorňuje dynamiku výšky vodní hladiny (m). 46

Obrázek 5.5.4 Variabilita rozdílových teplotních údajů mezi horními a dolními hloubkovými profily. Měřeno na dvou měrných bodech plochy Bahna. Chybová čidla nebyla do grafu zapojena. V případě chyby jednoho z dvojice profilů, nebyla začazena celá sestava (nebyla možnost rozdílu). Jednotlivé boxploty značí konkrétní měrné body v terénu. Jedná se o období 11.5.-21.10.2022. Svislá hlavní osa (vlevo) zobrazuje teplotu (°C). Záporné číslo značí vyšší teplotu spodního čidla.46

Obrázek 5.5.3 Variabilita absolutních teplotních údajů v horní a dolních hloubkových profilech. Měřeno na dvou měrných bodech plochy Bahna. Levý boxplot z dvojice vždy znázorňuje horní čidlo, viz Legenda. Chybová čidla nebyla do grafu zapojena. Jednotlivé boxploty značí konkrétní měrné body v terénu. Jedná se o období 11.5.-21.10.2022. Svislá hlavní osa (vlevo) zobrazuje teplotu (°C).46

10 Seznam tabulek

Tabulka 4.3.1 Přehledná tabulka sumarizující celkové počty přístrojů osazených do jednotlivých sérií. Uvádí také chybovost jednotlivých čidel. Druhá polovina tabulky „Využito pro vyhodnocení“ určuje kolik čidel v jakém časovém období bylo pro účely vyhodnocení použito... 29

Tabulka 5.2.1 Přehled absolutních hodnot okysličení (%O₂) získaných v oblasti Transekt. Saturace kyslíku (%) rozdělena barevnou škálou v rámci měření na lokalitě Transekt. Barevnou škálou byly rozlišeny nízké hodnoty (červeně) a vysoké hodnoty (zeleně) saturace kyslíkem. Nízké (červené) hodnoty poukazují na špatnou prokysličenost bodu v den kontroly. Barevná škála definuje každé datum měření zvlášť..... 36

Tabulka 5.2.2 Přehled hodnot okysličení (%O₂) získaných v oblasti Transekt. Sloupce (popisná statistika) vždy porovnává hodnoty ze všech měření na daném bodě. Saturace kyslíku (%) rozdělena barevnou škálou v rámci měření na lokalitě Transekt. Barevnou škálou byly rozlišeny nízké hodnoty (červeně) a vysoké hodnoty (zeleně) saturace kyslíkem. Nízké (červené) hodnoty poukazují na špatnou prokysličenost bodu za všechny měřené hodnoty. Barevná škála definuje každé datum měření zvlášť. 36

Tabulka 5.3.1 Přehled absolutních hodnot okysličení (%O₂) získaných v oblasti Superčtverec. Saturace kyslíku (%) rozdělena barevnou škálou v rámci měření na lokalitě Superčtverec. Barevnou škálou byly rozlišeny nízké hodnoty (červeně) a vysoké hodnoty (zeleně) saturace kyslíkem. Nízké (červené) hodnoty poukazují na špatnou prokysličenost bodu v den kontroly. Barevná škála definuje každé datum měření zvlášť..... 40

Tabulka 5.3.2 Přehled hodnot okysličení (%O₂) získaných v oblasti Superčtverec. Sloupce (popisná statistika) vždy porovnává hodnoty ze všech měření na daném bodě. Saturace kyslíku (%) rozdělena barevnou škálou v rámci měření na lokalitě Superčtverec. Barevnou škálou byly rozlišeny nízké hodnoty (červeně) a vysoké hodnoty (zeleně) saturace kyslíkem. Nízké (červené) hodnoty poukazují na špatnou prokysličenost bodu za všechny měřené hodnoty. Barevná škála definuje každé datum měření zvlášť. 40