

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

Katedra plánování krajiny a sídel

**PŘEŽÍVÁNÍ PERLORODEK ŘÍČNÍCH V HYPOREÁLU  
PODHORSKÝCH ŘEK V ZÁVISLOSTI NA ZMĚNÁCH  
SMĚRU PROUDĚNÍ V HYPOREÁLU**

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

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

Diplomant: Bc. Jiří Březina

2024

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Jiří Březina

Ochrana přírody

Název práce

**Přežívání perlorodek říčních v hyporeálu podhorských řek v závislosti na změnách směru proudění v hyporeálu**

Název anglicky

**Effect of hyporheic flow direction on the pearl mussel survival rate in submontane rivers**

---

### Cíle práce

Práce bude zaměřena na následující okruhy:

- Rešerše na téma efektu směru proudění v hyporeálu na živočichy a poté zvláště na mlže
- Sběr dat a zpracování data z tepelných čidel na Teplé Vltavě v NP Šumava
- Vztahu mezi prouděním a přežíváním perlorodek 2018-2022, případně také růstem podle převzatých dat
- Souhrn chemicko-fyzikálních faktorů a doporučení pro vysazování odchovaných jedinců

### Metodika

- Student zpracuje podrobnou rešerši k tématu a odevzdá jí školiteli nejpozději před začátkem zpracování dat (rozsah 7-10 stran, minimálně 40 zdrojů, použít v textu pro názornost také přejaté obrázky)
- Účast na terénních pracích v rámci širšího týmu, měření, vyjmutí dlouhodobých autonomních sond, kalibrace sond po měření (Hauer and Lamberti 2007)
- Použití automatických sond HOBO Pendat s nastavením hodinového kroku měření teploty a osvitů v různých hloubkových profilech
- Detekce charakteru proudění: upwelling , downwelling, bez významného proudění
- Porovnání s přežíváním juvenilních perlorodek podle přejatých dat z bioindikčních pokusů podle standardní metodiky (Bílý, Němčíková et al. 2018, Bílý, Simon et al. 2021)
- Závěry budou zpracovány s ohledem na praktické využití výsledků v NP Šumava.

**Doporučený rozsah práce**

40 + přílohy

**Klíčová slova**

perlododka říční, hyporeál, ochrana přírody, kontinuální měření teploty, HOBO Pendant

**Doporučené zdroje informací**

- Bílý, M., O. Simon, V. Barák and V. Jahelková (2021). "Occurrence depth of juvenile freshwater pearl mussels (*Margaritifera margaritifera*) in a river bed tested by experimental mesh tubes." *Hydrobiologia* 848(12-13): 3127-3139.
- Bílý, M., S. Němčíková, O. P. Simon, K. Douda, V. Barák and B. Dort (2018). "Bioindication testing of stream environment suitability for young freshwater pearl mussels using in situ exposure methods." *Journal of Visualized Experiments* 2018(139).
- Černá, M., O. P. Simon, M. Bílý, K. Douda, B. Dort, M. Galová and M. Volfová (2018). "Within-river variation in growth and survival of juvenile freshwater pearl mussels assessed by in situ exposure methods." *Hydrobiologia* 810(1): 393-414.
- Geist, J. and K. Auerswald (2007). "Physicochemical stream bed characteristics and recruitment of the freshwater pearl mussel (*Margaritifera margaritifera*)." *Freshwater Biology* 52(12): 2299-2316.
- HAUER, F. Richard; LAMBERTI, Gary Anthony. *Methods in stream ecology. Volume 1, Ecosystem structure* editet by F. Richard Hauer and Gary A. Lamberti. London, United Kingdom ; San Diego, CA ; Cambridge, MA ; Oxford: Academic Press, an imprint of Elsevier, 2017. ISBN 978-0-12-416558-8.
- Lewandowski, J., K. Meinikmann and S. Krause (2020). "Groundwater-surface water interactions: Recent advances and interdisciplinary challenges." *Water (Switzerland)* 12(1).
- Marzadri, A., D. Tonina and A. Bellin (2013). "Quantifying the importance of daily stream water temperature fluctuations on the hyporheic thermal regime: Implication for dissolved oxygen dynamics." *Journal of Hydrology* 507: 241-248.
19. Franken, R., Storey, R., & Dudley Williams, D. (2001). Biological, chemical and physical characteristics of downwelling and upwelling zones in the hyporheic zone of a north-temperate stream. *Hydrobiologia*, 444(13), 183-195. <https://doi.org/10.1023/A:1017598005228>

**Předběžný termín obhajoby**

2023/24 LS – FŽP

**Vedoucí práce**

Mgr. Ondřej Simon, Ph.D.

**Garantující pracoviště**

Katedra plánování krajiny a sídel

Elektronicky schváleno dne 27. 1. 2023

**prof. Ing. Petr Sklenička, CSc.**

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 20. 2. 2023

**prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.**

Děkan

V Praze dne 18. 03. 2024

## ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma:

Přežívání perlorodek říčních v hyporeálu podhorských řek v závislosti na změnách směru proudění v hyporeálu vypracoval samostatně a citoval jsem všechny informační zdroje, které jsem v práci použil a které jsem rovněž uvedl na konci práce v seznamu použitých informačních zdrojů.

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

Jsem si vědom, že odevzdáním závěrečné 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.

Prohlašuji, že jsem nástroje AI využil v souladu s vnitřními předpisy univerzity a principy akademické integrity a etiky. Na využití těchto nástrojů v práci vhodným způsobem odkazuji.

V Praze dne 28.3.2024

.....  
Jiří Březina

## **PODĚKOVÁNÍ:**

Chtěl bych poděkoval svému vedoucímu práce Mgr. Ondřeji Simonovi, Ph.D. za vedení diplomové práce, za jeho pomoc, ochotu, vstřícnost, trpělivost a za čas, který se mnou strávil, při vedení této práce, moc si toho vážím a děkuji. Dále bych chtěl poděkovat mé ženě Andrejce, která mě podporuje a je mi oporou. V neposlední řadě bych chtěl poděkovat rodině za podporu při studiu.

## **Abstrakt**

Diplomová práce se věnuje problematice výměny povrchové vody s mělkou hyporeální vodou. Zpracovává data z Teplé Vltavy v Národním parku Šumava, kde byl vytvořen transekt čtyřiceti teploměrů s funkcí osvitu. Výsledná data z kontinuálních teploměrů slouží k interpretaci směru proudění a popsání jeho vlivu na přežívání perlorodek říčních. Práce se soustředí na možné způsoby interpretace výsledků měření se zaměřením na možnost využití k záchraně perlorodky říční, ale může sloužit také k detekci směru proudění (downwelling, upwelling a bez výrazného směru proudění).

## **Klíčová slova**

perlorodka říční, hyporeál, ochrana přírody, kontinuální měření teploty, HOBO Pendant

## **Abstract**

The thesis deals with the issue of exchanging surface water with shallow hyporeal water. It processes data from the Teplá Vltava River in the Šumava National Park, where a transect of forty thermometers with an irradiation function was created. The resulting data from continuous thermometers are used to interpret the direction of the flow and describe its influence on the survival of freshwater pearl mussels. The work focuses on possible ways of interpreting the measurement results with a focus on the possibility of using it to save the freshwater pearl mussel, but it can also be used to detect the direction of flow (downwelling, upwelling and without a significant flow direction).

## **Keywords**

Freshwater pearl mussel, hyporeal, nature conservation, continuous temperature measurement, HOBO Pendant

## OBSAH

1	Úvod.....	9
2	Cíle práce .....	10
3	Literární rešerše .....	11
3.1	Životní cyklus: Perlorodka říční ( <i>Margaritifera margaritifera</i> ).....	11
3.2	Říční hyporeál: ekoton mezi proudící povrchovou vodou a podzemní vodou .....	12
3.3	Proudění v říčním hyporeálu: Vliv na chemismus a teplotu intersticiální vody .....	15
3.4	Fauna říčního hyporeálu: Zaměření na mělký hyporeál do hloubky 20 cm	16
3.5	Mělký hyporeál: Prostředí pro inkubaci jiker lososovitých ryb.....	19
3.6	Efekt směru proudění: Na hyporeálové živočichy zejména mlže .....	20
3.7	Přežívání perlorodek říčních v hyporeálu podhorských řek v závislosti na změnách směru proudění v hyporeálu .....	26
3.8	Shrnutí.....	29
4	Metodika .....	31
4.1	Lokalita .....	31
4.2	Měření .....	33
4.3	Data + Korekce .....	37
4.4	Přežívání perlorodek .....	41
5	Výsledky .....	43
5.1	Denní změny relativních teplot.....	43
5.2	Přístupy k vizualizaci dat .....	44
5.3	Určení směru proudění .....	49
5.4	Přežívání perlorodek .....	50
5.4.1	Shrnutí.....	52

6	Diskuse.....	53
6.1	Přesnost měření .....	53
6.2	Metodika měření .....	53
6.3	Využití extrémů k určení směru proudění.....	54
6.4	Přežívání perlorodek .....	55
6.5	Fyzikálně-chemické faktory v závislosti na směru proudění.....	56
7	Závěr a přínos práce.....	58
8	Přehled literatury a použitých zdrojů.....	59
9	Seznam obrázků, tabulek a grafů.....	69
10	Seznam příloh .....	74



## 1 Úvod

Diplomová práce se zabývá problematikou směru proudění v říčním dnu (hyporeálu) ve vztahu k perlorodce říční. Nejprve prezentuje aktuální vědecké poznatky k tematice říčního hyporeálu a směru proudění s důrazem na mělký hyporeál (do 20 cm). Obecná část práce se věnuje vlivu směru proudění na hyporeálové živočichy se zaměřením na mlže a na přežívání perlorodek říčních v závislosti na směru proudění v říčním ekotonu. V části metodiky je popsán průběh výzkumných prací na vybrané lokalitě na Teplé Vltavě v NP Šumava. Pozornost je zde také věnována použití automatických sond HOBO Pendant s nastavením hodinového kroku měření teploty a osvitů v různých hloubkových profilech. Výsledky práce popisují proudění v říčním dnu (downwelling, upwelling a bez významného proudění) a ukazují vztah mezi prouděním a přežíváním perlorodek. Diskuse se zaměřuje zejména na metodiku a přesnost měření a soustředí se na fyzikálně-chemické faktory v závislosti na směru proudění. Obsáhlé přílohy doplňují práci o grafy s vyjádřením primárních dat teploty jednotlivých automatických sond HOBO Pendant s funkcí osvitů v závislosti na časovém měření po dobu 3 měsíců.

## 2 Cíle práce

Práce bude zaměřena na následující okruhy:

- Rešerše na téma efektu směru proudění v hyporeálu na živočichy a poté zvláště na mlže
- Sběr dat a zpracování data z tepelných čidel na Teplé Vltavě v NP Šumava
- Vztahu mezi prouděním a přežíváním perlorodek 2018-2022, případně také růstem podle převzatých dat
- Souhrn chemicko-fyzikálních faktorů a doporučení pro vysazování odchovaných jedinců

### Metodika:

- Student zpracuje podrobnou rešerši k tématu a odevzdá jí školiteli nejpozději před začátkem zpracování dat (rozsah 7-10 stran, minimálně 40 zdrojů, použít v textu pro názornost také přejaté obrázky)
- Účast na terénních pracích v rámci širšího týmu, měření, vyjmutí dlouhodobých autonomních sond, kalibrace sond po měření (Hauer and Lamberti 2007)
- Použití automatických sond HOBO Pendant s nastavením hodinového kroku měření teploty a osvitů v různých hloubkových profilech
- Detekce charakteru proudění: upwelling, downwelling, bez významného proudění
- Porovnání s přežíváním juvenilních perlorodek podle přejatých dat z bioindikačních pokusů podle standardní metodiky (Bílý, Němčíková et al. 2018, Bílý, Simon et al. 2021)
- Závěry budou zpracovány s ohledem na praktické využití výsledků v NP Šumava.

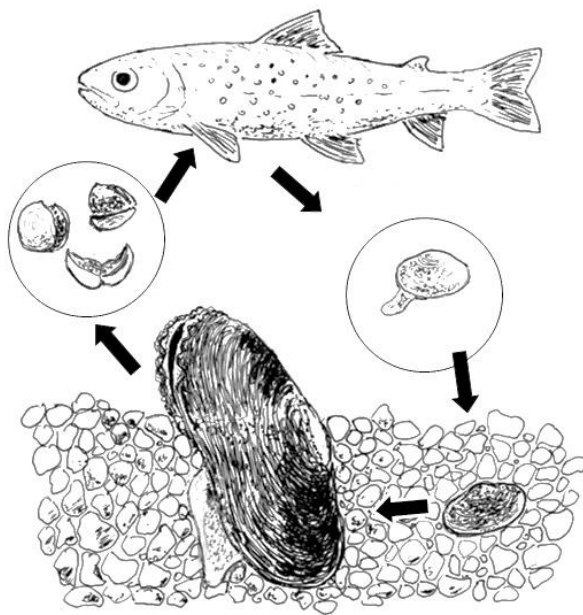
### 3 Literární rešerše

#### 3.1 Životní cyklus: Perlorodka říční (*Margaritifera margaritifera*)

Perlorodka říční je živočich s nejdelší dobou dožití v České republice – až 140 let. Splňuje kritéria pro vlajkový, klíčový a deštníkový druh (Geist, 2010). Její životní cyklus závisí na lososovitých rybách, u nás zejména na pstruhu říčním (*Salmo trutta*). V přírodě se může vyskytovat i na lososovi obecném (*Salmo salar*) (Taeubert & Geist, 2017). Na lososovi by se jí mohlo dařit dokonce lépe (Marwaha et al., 2021). Avšak perlorodka se však vyskytuje na řekách, kam kvůli přehradám jako je Masarykovo zdymadlo v Ústí nad Labem z roku 1936 nemůže losos domigrovat. (Marek & Musil, 2018). Z toho důvodu se vyskytuje pouze na pstruhu říčním.

Na začátku léta samec perlorodky vypouští do vodního prostředí spermie, které samice svým přijímacím otvorem přijme a dojde k oplození vajíček. U perlorodky říční může dojít i k výskytu hermafroditních jedinců, pokud jsou na dané lokalitě sami. K tomuto jevu však dochází pouze u samic. (Bauer, 1987).

Žije paraziticky jako glochidie přichycená v žaberních lupíncích hostitele (ryby) po dobu 10 měsíců (od srpna, do jara) (Cunjak & McGladdery, 1991). Fáze života mezi vypuštěním glochidií do vody a jejich uchycením se na rybě se vyznačuje vysokou mortalitou, kdy přežije méně než 1 % glochidií. (Simon et al., 2018).



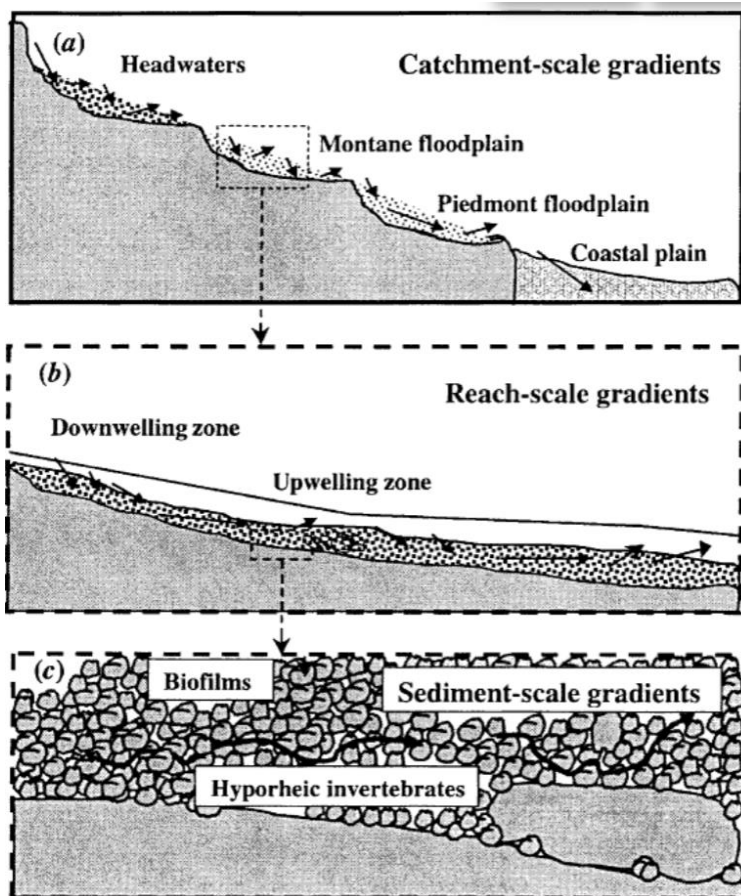
Obrázek 1: Životní cyklus perlorodky říční. Autor: Michal Bílý

Po dokončení metamorfózy glochidie se mění v juvenilního jedince o velikosti půl mm a odpadá od svého hostitele. Poté se zahrabe se do substrátu toku, kde zůstává skryt až 10 let. Toto je jedna z nejkritičtějších fází života, protože perlorodka je velmi vybíravá v otázce habitatních podmínek. Substrát by měl být oligotrofní s kvalitou vody v některých parametrech převyšující vodu určenou pro lidskou konzumaci (Simon et al., 2018). Musí být splněny i další podmínky týkající se kvality biotopu, jako je teplota, složení substrátu, kyslík, dusík, fosfor v intersticiální vodě i v řece (Bauer, 1988). Juvenilní perlorodka říční, chovaná v zajetí rozdílné přírůstky v závislosti na hrubosti substrátu, ve kterém se nalézá. Pokud je v substrátu o velikosti 1-2 mm, je její přírůstek statisticky výrazně větší, než když je substrátu o velikosti 0,25-1 mm (Lavictoire et al., 2016).

### 3.2 Říční hyporeál: ekoton mezi proudící povrchovou vodou a podzemní vodou

Hyporeál je část řeky pode dnem, kde se nachází směs povrchové a podzemní vody (Boulton et al., 2010). Tento termín, hyporeál, prvně použil Orghidan v roce 1959, který popsal rozhraní jako nové prostředí podzemní vody obsahující výraznou biotu

(Boulton et al., 1998). Původ slova “hyporheic“ pochází z řeckých slov „“pod“ (hypo) a “tok „nebo “proud“ (rheo) (Hauer & Lamberti, 2007).



Obrázek 2 Jednotlivé detaily povrchové vody a jakým způsobem interaguje s hyporeálem. Autor: (Boulton et al., 1998)

Hyporeál je oblast pod povrchem dna. Vrchní hyporeál se nachází v hloubce 5-15 cm hluboko, a také může se nazývat jako mělký hyporeál. Jak ukazuje (Bílý et al., 2018; Bílý et al., 2021) je nutné studovat vrchních 5 cm hloubky podrobněji a samotná tato část vykazuje výrazné gradienty. Svrchní části dna jsou obecně ideálním útočištěm pro bezobratlé v případě nepříznivých povrchových podmínek (Milner et al., 2022). To však může být i problém, a sice když tyto drobné sedimenty zaplní jemný substrát, čímž se zamezí kontaktu vody s hyporeálem. Následkem může být negativní vliv na biotu ekosystému daného hyporeálu, především na bezobratlé. (Duan et al., 2022).

Hyporeál je charakterizován vysokou prostorovou variabilitou, což je klíčové pro podporu druhové rozmanitosti napříč mnoha taxony. Při zkoumání podobností mezi jednotlivými říčními toky bylo zjištěno, že vodivost, pH a hladina rozpuštěného

kyslíku se zvyšují v oblastech s vyšším pokrytím makrofyt (dosahujícím 10-15 %). Dále bylo zjištěno, že vzdálenost mezi odběrovými místy by měla reflektovat meandrování řeky, přičemž v případech, kdy tok meandruje na vzdálenost až 1,5 km proti proudu, je vhodné zkrátit vzdálenosti odběrů vzorků z 6 na 2 metry. Tento výzkum, realizovaný na osmi tocích v Německu, poskytl důležitá poznání o významu zkoumání jak biotických, tak abiotických složek říčních ekosystémů (Braun et al., 2012).

Dále je klíčové podporovat aktivní výměnu vody a rozpuštěných materiálů mezi potokem a podzemní vodou, zejména v porézních řekách s pískovými a štěrkovými koryty. Tyto systémy jsou často narušovány antropogenními aktivitami jako regulace toků, těžba, zemědělství a urbanizace, což vede k jejich postupnému zanášení. Efektivní spolupráce mezi správcí vodních toků a vědci, kteří se dlouhodobě věnují výzkumu říčních ekosystémů, je nezbytná pro pochopení a ochranu hyporeálu. Jedním z potenciálních řešení je pravidelné proplachování sedimentů z toků, což přispívá k jejich okysličení a zlepšení celkového zdraví vodního ekosystému (Hancock, 2002).

Hyporeál je vrstva v blízkosti povrchu říčního dna, ale nachází se pode dnem. Existuje několik definic hyporeálu (biologická, geochemická a hydrologická definice), které spolu nemusí nutně korelovat. (Gooseff, 2010; White, 1993; Merrill & Tonjes, 2014) Biologové označují tento prostor jako podpovrchový prostor (habitat), kde se vyskytují říční bezobratlí (WILLIAMS, 1989). Hydrologové podporují koncepční model, který vidí tento prostor jako "průtokovou" podpovrchovou vodu, kdy tyto cesty začínají a končí u volné říční vody (Cardenas, 2015). Geochemici označují Hyporeál jako zónu mezi povrchovou a podzemní vodou a zároveň jako prostor, kde se tyto dva typy vod spolu mísí (Zimmer & Lautz, 2014).

V urbanizovaných oblastech dochází k antropogennímu zhoršování toků a řek, a to ovlivňuje také vazby mezi povrchovou a podpovrchovou vodou (Tewari et al., 2022). Na umělé řece ve Švýcarsku, byl prováděn experiment, kdy byla simulována umělá povodeň, ta měla za následek zbavení se jemného substrátu (jíl, písek). Tím vznikl pórovitý prostor a zlepšila se propojenost mezi povrchovou vodou a hyporeálem. Takovýto management může být v budoucnu využíván na uměle upravených typech koryt, kde je možné simulovat povodeň (Mathers et al., 2021). Propojení mezi

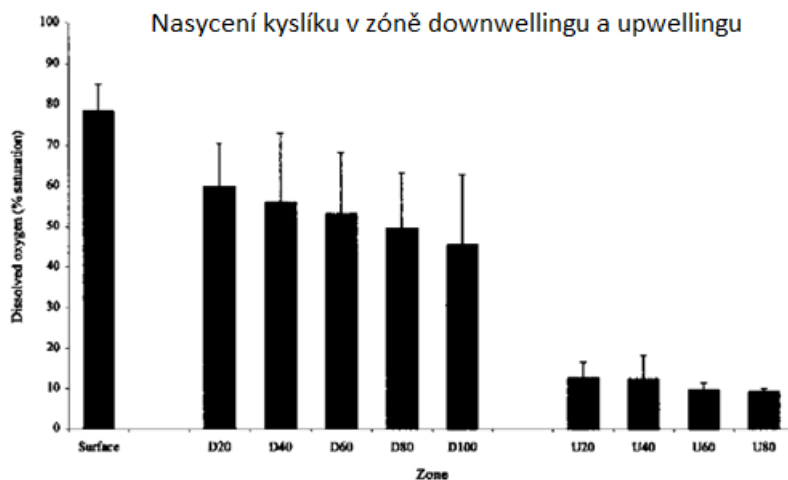
povrchovou vodou a podzemní vodou v hyporeálu bylo zkoumáno na řece Columbia River, kde hladina vody denně kolísá až o 2 m, kvůli výrobě vodní energie. Dochází tedy k pravidelnému odnášení jemného substrátu. V této řece je dlážděné koryto, které nejvíce ovlivňovalo propustnost vody do hyporeálu. Právě díky proměnlivosti toku je to ideální prostředí pro zkoumání hydrogeologických procesů v relativně krátkém období (dny, týdny) (Arntzen et al., 2006). V poslední době je zřetelná proměnlivost v říčních tocích, která je spojena s oteplováním a následným poklesem hladiny v říčních korytech. Aby se předešlo úplnému vyschnutí hyporeální zóny a zajistila se vlhkost i během nejsušších období, začínají se řeky podpírat umělými nádržemi. Tyto nádrže se naplní v době, kdy je vody dostatek, a v suchých měsících fungují jako rezervoáry. Tento postup se již uplatňuje v Austrálii v Lake Cave, kde se voda zachycená během zimních měsíců vede do jeskyně v létě. I když je to provizorní řešení, může nyní pomoci zachránit ohrožené druhy živočichů (Boulton, 2020). Podobné přístupy se vyskytují i v České republice, například na Šumavě, kde různé vodní rezervoáry mohou v suchých letních měsících dodávat vodu do řek (Degelmann, 2021).

### **3.3 Proudění v říčním hyporeálu: Vliv na chemismus a teplotu intersticiální vody**

V poslední době se věnuje zvýšená pozornost proudění v říčním hyporeálu a nivě řeky jako celek (Lewandowski et al., 2019; Lewandowski et al., 2020; Hauer & Lamberti, 2007). Výměna vody, materiálu a energie mezi těmito částmi říčního ekosystému má zásadní vliv na jeho strukturu a funkci. Toto proudění je klíčové nejen pro koloběh živin, dýchání a stabilizaci teploty vody (kde se chladnější voda dostává ke dnu a teplejší stoupá k hladině), ale také pro přežití bezobratlých v těchto prostředích (Gooseff, 2010; Štěrbá et al., 1992). Intersticiální voda, také známá jako pórová nebo mezery voda, je voda, která se nachází v mezerách mezi částicemi půdy, písku, šterku nebo jiných horninových materiálů. Tato voda hraje klíčovou roli v některých ekosystémech, včetně hyporeální zóny v říčních ekosystémech (Bílý et al., 2022).

Koncentrace rozpuštěného kyslíku je spolehlivým ukazatelem přítomnosti povrchové vody v hyporeálu. Další statisticky významné rozdíly mezi povrchovou a podzemní vodou zahrnují parametry jako výrazné rozdíly v teplotě, pH, redoxním potenciálu a

vodivosti. Tyto faktory jsou také v těsné korelaci s množstvím rozpuštěného kyslíku (Storey & Dudley Williams, 2004).



Obrázek 3 Nasycení kyslíku v zóně downwellingu a upwellingu, číslice označují hloubku odběru, přičemž nejmělejší bod 20 cm pod povrchem. Autor: (Franken et al., 2001)

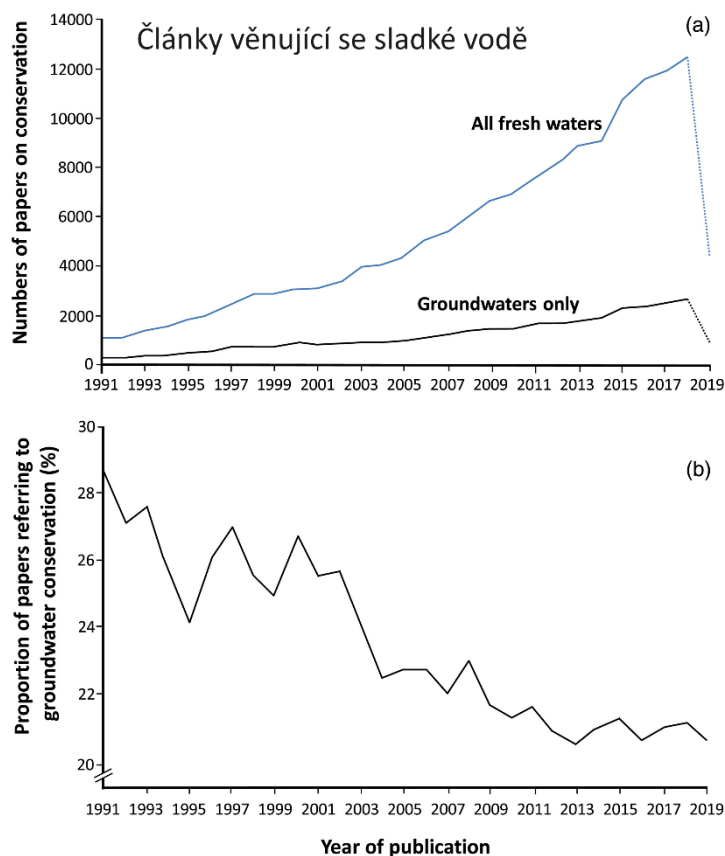
Ve své studii se (Franken et al., 2001) zabývají nasycením substrátu kyslíkem. Již na první pohled je z grafu zřejmá variabilita nasycení kyslíkem mezi oblastmi downwellingu (D) a upwellingu (U). Označení číselnými hodnotami ukazuje konkrétní hloubku odběru v cm (např. U80 znamená upwelling v hloubce 80 cm).

### 3.4 Fauna říčního hyporeálu: Zaměření na mělký hyporeál do hloubky 20 cm

Životní strategie fauny nacházející se v hyporeálu stále představují částečně neznámé téma. Tato část přírodního prostředí je komplikovanější k průzkumu kvůli jejímu ponoření pod vodou a přítomnosti drobných organismů. V hyporeálu můžeme nalézt mikroorganismy, meiofaunu a makrobezobratlé (Hauer & Lamberti, 2007).

Ačkoliv jsou podzemní vody ekologicky, ekonomicky a sociálně důležité, výzkum jejich ochrany výrazně zaostává za výzkumem povrchových vod. Pouze malý zlomek publikovaných prací se specificky věnuje ochraně habitatů nebo biodiverzity podzemních vod, viz Obrázek 4. V posledních dvaceti letech byl zaznamenán prudký nárůst v počtu publikací zabývajících se aspekty ochrany sladkých vod, naopak v oblasti podzemních vod je tento trend mnohem méně výrazný (Boulton, 2020).





Obrázek 4 a) Roční počty publikovaných článků od roku 1991 do května 2019, které se týkali sladkých vod (modrá čára) a pouze podzemních vod (černá čára), b) Roční podíl článků týkajících se ochrany podzemních vod. Výsledky pocházejí z bibliometrické analýzy Web of Science (27. května 2019) Autor: (Boulton, 2020)

Dno řek obsahuje rozličné mikroorganismy jako bakterie, prokaryotické organismy a houby. Tyto organismy představují základní složku mikrobioty dna a často se nacházejí na kameních, spadaném listí a dřevě. Zvláště v mělkém hyporeálu nalezneme nejvyšší koncentrace těchto organismů. Houby tvoří významnou část této mikrobiální biomasy, konkrétně 95–99 % celkového objemu, a jsou spojeny s rozkladem rostlinného opadu (Hauer & Lamberti, 2007).

Meiofauna, malí bentičtí bezobratlí, se může vyskytovat v mořském nebo sladkovodním prostředí či obojím (Schratzberger & Ingels, 2018). Je definována jako bentická zvířata, která projdou sítím než 500  $\mu\text{m}$ , ale jsou zachyceny ve 40  $\mu\text{m}$  sítu. V bentičtích ekosystémech dominuje meiofauna co do počtu i druhové diverzity. Mezi nejčastější patří vířníci, veslonožci, buchanky, pakomáři, mnohoštětinatci a hlístice (Hauer & Lamberti, 2007).

Makrobezobratlí se vyskytují ve většině řek a potoků na světě (Wallace & Webster, 1996). Pouze v extrémně nepřátelských nebo silně znečištěných prostředích může

chybět některá podskupina z této rozmanité skupiny. Termín "makro" se týká bezobratlých organismů, které jsou zachyceny v sítu s otvory o velikosti 500  $\mu\text{m}$ . Vědecké výzkumy často sledují vodní hmyz, zejména jejich raná vývojová stádia (Hauer & Lamberti, 2007).

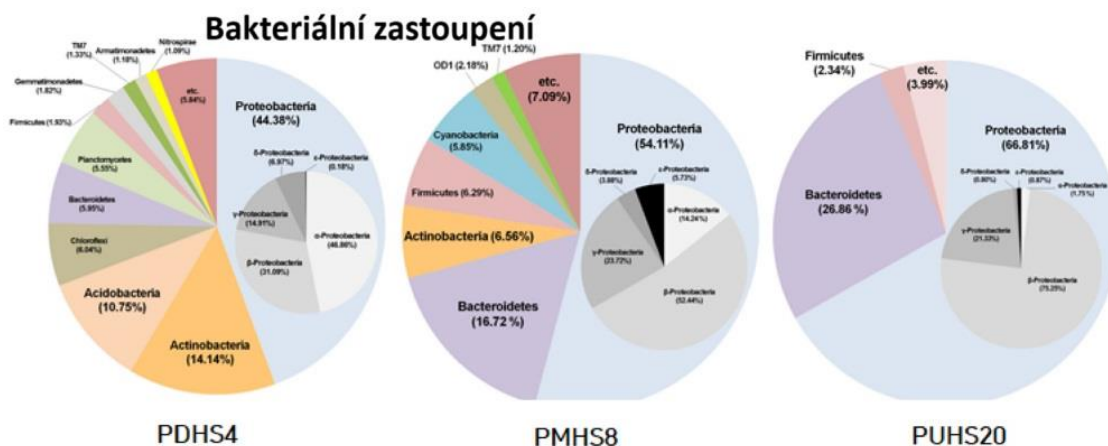
Ze studií tohoto tématu lze uvést zkoumání štěrkového dna v Japonsku zaměřené na druh pošvatky, *Alloperla ishikariana*, který ve svém larválním stádiu obývá koryto hlubokého hyporeálu (30-50 cm) (Rahman et al., 2021). Kalifornská studie zkoumala vysychání na bezobratlé – přišlo se na to, že vrstva hyporeálu má pozitivní vliv na vodní hmyz (chrostíci apod.), který je v ní zahrabán. Tato vrstva si totiž udrží svou vlhkost i po vyschnutí povrchové vody v řece. Poté, co dojde k obnovení proudění v řece, navrátí se přeživší živočichové ke svému obvyklého životního cyklu (Del Rosario & Resh, 2000).

Perlorodka říční je velmi citlivá na změnu hydrologického režimu a degradace stanovišť (Simon et al., 2018). Detailní hydrologicko hydraulický model zohledňující dva scénáře klimatické změny byl aplikován v Rakousku na celé povodí řeky Aist, se zaměřením na perlrodka ukázal, že je velmi důležité usilovat o zachování vysoké průtočnosti koryta. Pokud se sníží průtok, klesne i unášení jemného materiálu. Ten pak může vytvořit substrát nevhodný pro život perlrodky (Baldan et al., 2021).

Studie ze Spojeného království porovnává živočichy v říčním dnu. V článku se popisuje řeka Lambourn na které byl jez, do kterého se udělaly díry. Byly zkoumány dvě lokality, jedna proti proudu řeky (nad jezem) a druhá po proudu (pod jezem). Studie zkoumá účinky obnovy toků na bezobratlé organismy v různých částech toku, včetně sedimentu na dně (bentos) a hyporheické zóny v řádu 5 let. Autoři použili biologické charakteristiky bezobratlých organismů k porovnání stavu společenstev před a po obnově toku. Výsledky ukázaly, že hyporheické společenstvo bylo výrazněji ovlivněno obnovou než bentické společenstvo, ačkoli efekty se projeví v průběhu času rozdílně. Zatímco v prvním roce po obnově bylo v hyporheické zóně pozorováno snížení počtu druhů, v třetím roce se počet druhů zvýšil. Naopak, v bentických společenstvech nebyla zjištěna žádná zřetelná změna po obnově toku. Výsledky této studie ukazují, že hyporheická zóna je důležitá pro poskytování ekosystémových funkcí a služeb a měla by být zahrnuta do budoucích monitorovacích protokolů, které

mají za cíl posoudit úspěšnost obnovy toků. Revitalizace malé části řeky nemá na bentos vliv, aby to mělo vliv na bentos, tak by bylo potřeba revitalizovat celou řeku (Robertson et al., 2021).

V hyporeálu, v různých směrech proudění podpovrchové vody, se nachází různá společenství bakterií. Zajímavé je, že na místech, kde docházelo k *upwellingu*, bylo nalezeno mnohem více druhů bakterií než v zóně *downwellingu* (Kim et al., 2018). Je to vidět na grafu bakteriálního zastoupení Obrázek 5, kde v *downwellingu* je mnohem více druhů bakterií (11 druhů), zatímco v *upwellingu* jsou pouze 3 druhy. PMHS8 značí bod mísení *upwellingu* a *downwellingu* (7 druhů). Největší zastoupení měly proteobakterie u všech typů zkoumaného hyporeálu. U Smíšené zóny byly objeveny bakterie, které se nenalezaly v jiném typu hyporeální zóny (Kim & Lee, 2019).



Obrázek 5 Bakteriální diverzita v Hyporeální zóně. PDHS4 – sestupná zóna (Downwelling), PUHS20 – vzestupná zóna (Upwelling), PMHS8 – Zóna, kde se mísí sestupná a vzestupná (Mixed) Autor: (Kim & Lee, 2019)

### 3.5 Mělký hyporeál: Prostředí pro inkubaci jiker lososovitých ryb

Po vytření si samice lososovitých ryb vyhledává ideální místo. Vytvoří na dně oblast vyčištěnou od jemného sedimentu, kam klade jikry o velikosti 5-7 mm do podlouhlých jam. Jedna samice může mít až 40 000 jiker. Následně tato samice pohybem svého těla vajíčka zahrabe substrátem (Junker et al., 2015).

Podmínky pro vylíhnutí jiker lososa obecného a pstruha potočního jsou výrazně ovlivněné výměnou vody v hyporeálu a prokysličením. Na místech, kde vystupuje podzemní voda, dosahuje hladina kyslíku někdy velmi nízkých hodnot nasycení. Kvůli nízkému obsahu kyslíku se mohou embrya lososa vykulit později, a ještě nedostatečně

vyvinutá. Tudíž může docházet k nižší životaschopnosti, kvůli predaci a konkurenci (Bloomer et al., 2016). Klíčovými faktory jsou struktura dna, jeho propustnost, množství šterku a okysličení, přičemž okysličení je pro vývoj embrya naprosto zásadní (Greig et al., 2007; Sear et al., 2014).

Povrchová voda obvykle obsahuje vysokou koncentraci rozpuštěného kyslíku, nízkou alkalitu a vodivost. Naopak, voda v hyporeálu se obvykle vyznačuje vyšší alkalitou a vodivostí, a díky delšímu průtoku vody v hyporeálu má často nízkou koncentraci rozpuštěného kyslíku. (Malcolm et al., 2004). Jikry, vystavené vodě, jsou chráněny před nepříznivou kvalitou vody třemi vrstvami – vitelinovou membránou, obalovou vrstvou a chorionem. Vitelinová membrána je nejméně propustnou ze všech známých membrán. Chorion poskytuje chemickou obranu proti kovům, patogenům a chemikáliím (Finn, 2007). Pro vývoj larev je důležitá pH hodnota, která by měla být v rozmezí 5,5 - 7,4 (Duis & Oberemm, 2000), přičemž jiný výzkum udává minimální hodnotu od pH 4,5 výše (Carrick, 1979).

Úspěšné vylíhnutí z vajíčka záleží na tom, v jak hlubokém podkladu jsou vajíčka. S narůstající hloubkou substrátu, klesá úspěšnost vylíhnutí lososovité ryby. Ve hloubce 150 mm je pravděpodobnost vylíhnutí o 26% menší, než v hloubce 50 mm (Sternecker et al., 2013). Nejčastější výskyt jiker je od 50–200 mm (DeVries, 1997). Z důvodu změny transportu sedimentů v řece se mění i substrát na dně řeky, který pak má významný vliv na tření ryb a zahrabávání vajíček. Může docházet ke větší úmrtnosti embryí z důvodu nevyhovující vrstvy mělkého hyporeálu (Montgomery et al., 1996).

### **3.6 Efekt směru proudění: Na hyporeálové živočichy zejména mlže**

Výměnné procesy mezi tokem a hyporeálem mají klíčový význam pro přepravu materiálu, proudění bioty a ekosystémové procesy (Hauer & Lamberti, 2007; Fleckenstein et al., 2010). Existují dva hlavní druhy proudění: (Obrázek 6)

1. U prvního typu povrchová voda, obohacená o živiny, protéká do hyporeálu. Tato zóna je označována jako sestupná, tedy "downwelling".
2. U druhého typu voda vystupuje z hyporeálu a vrací se zpět do toku, označovaného jako "upwelling", přičemž odvádí odpadní látky (Hayashi & Rosenberry, 2002).

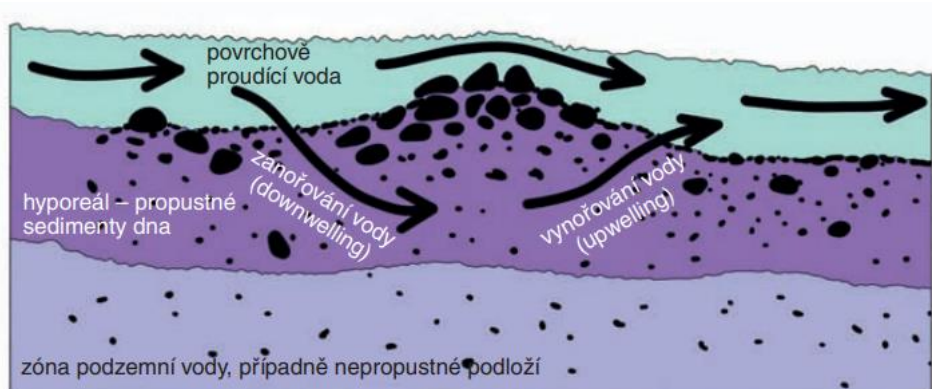
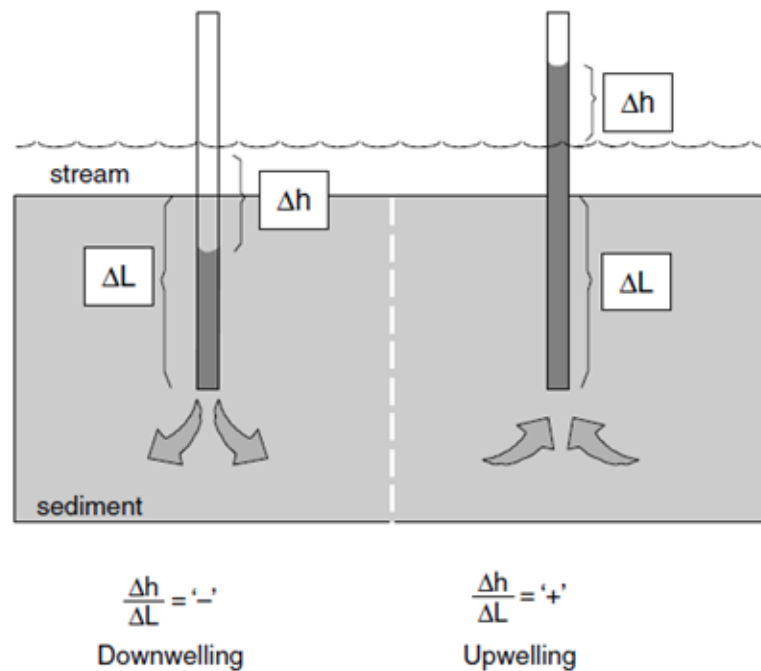


Schéma průtoku vody hyporeálem

Obrázek 6: Schéma průtoku vody hyporeálem. Nejvyšší interakce povrchové a intersticiální vody se vyskytuje v zónách, kde se střídá hlubší voda se štěrkopískovými náplavy. Autor: Podle M. Bílého kreslila R. Bošková (Bílý et al., 2022)

Co se týče jednotlivých faktorů, jako je teplota, pH, nasycenost kyslíkem a redox, jsou obvykle menší (během zimy to může být i obráceně) u *upwellingu*, než u *downwellingu* (Franken et al., 2001). Vztlínání a zanořování se měří piezometrem, to je zařízení, které slouží k měření tlaku kapaliny (nejčastěji vody) v uzavřeném prostoru, například vrtu (Veras et al., 2016). Skládá se z trubky, ve které je kapalina a manometru, který slouží k měření tlaku kapaliny v trubce. Piezometr umožňuje zjistit, jak vysoko se kapalina v daném prostoru nachází a jaký je její tlak (tím se zjistí, jestli se jedná o *upwelling* nebo *downwelling*) (Hauer & Lamberti, 2007). Když je v trubce méně vody, než je hladina toku, jedná se o *downwellingu*, pokud je tam více vody, než je hladina toku, jedná se o *upwelling*.

## Metoda zkoumání downwellingu a upwellingu pomocí piezometru

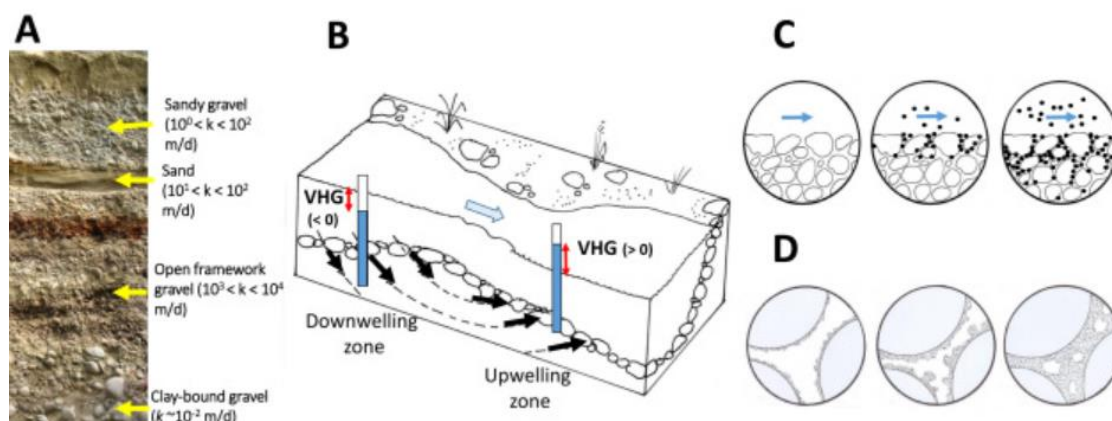


Obrázek 7 Vertikální hydraulický gradient, v oblastech downwellingu a upwellingu. Tento výkyv je reprezentován funkcí  $h$  (rozdíl ve výšce mezi hladinou vody v piezometru a úrovní hladiny proudu) a  $L$  (hloubka od koryta proudu ke dnu piezometru) Zdroj: (Hauer & Lamberti, 2007)

Článek se zabývá vlivem dlouhodobého snížení průtoku na složení společenstev bentických a hyporeálových bezobratlých živočichů v teplé krasové řece. Změny v bentických společenstvech byly způsobeny snížením dostupnosti habitatů v důsledku variability průtoku. Hlavním cílem studie bylo zjistit, jaký vliv má snížení průtoku na hyporeálové společenstvo bezobratlých živočichů a mlže čeledi okružankovití (*Sphaeriidae*). Výsledky ukázaly, že se zvýšením hustoty populace převládajícího druhu *Gammarus pulex* v bentickém prostředí, došlo k zvýšení jeho abundance v hyporeálu. Důvodem může být snaha živočichů přesídlit do hyporeálu, aby se snížilo riziko biologických interakcí v bentickém prostředí. Zvýšení abundance *Gammarus pulex* mělo negativní vliv na druhovou diverzitu bentických společenstev, ale hyporeálové společenstvo nebylo ovlivněno. Zvláštní pozornost byla věnována vlivu downwellingu na zvýšení populace *Gammarus pulex* v hyporeálu, zejména v místech s historicky nestálým průtokem, tento pozitivní vliv by mohl mít stejný vliv na mlže (Stubbington et al., 2011).

V různých tocích se výskyt dusíku proměňuje, snadno se transformuje, přesunuje nebo se vrací zpět do atmosféry. Dusík je klíčový pro hyporeálové živočichy, k nimž se dostává právě *downwellingem*. (Merill & Tonjes, 2014). V současné době je literatura týkající se ochrany sladkovodních mlžů v Evropě poměrně omezená, což naznačuje, že se jedná o nové a dosud plně neprobádané téma. I když existuje několik studií, které se věnují různým aspektům tohoto problému—od fragmentace stanovišť po klimatické změny—stále zůstávají nezodpovězené otázky. Například většina dosavadního výzkumu opomíjí faktory jako směr proudění v řekách a stav hyporeálu, které by mohly mít zásadní vliv na ekologii a ochranu těchto druhů. Jako pozitivum je třeba zdůraznit, že v některých regionech byla zaznamenána zlepšená kvalita vody, což by mohlo představovat důležitý krok směrem k trvalejší ochraně těchto klíčových ekosystémů. (Lopes-Lima et al., 2017). Navzdory prvořadému významu spojených dutin pro distribuci a složení kyslíku v podzemních vodách, měření propustnosti sedimentů často chybí ve většině terénních ekologických studií. Tento nedostatek je obzvláště překvapující, vzhledem k existenci rychlých, efektivních a nákladově nenáročných metod pro měření propustnosti, což by mohlo přinést klíčové informace pro lepší pochopení ekologických interakcí v těchto systémech (Marmonier et al., 2023). Obrázek 8 ilustruje různé druhy sedimentů v náplavech s odlišnými velikostmi zrn a rychlostmi průtoku vody. Dále zachycuje místa s měřenými rychlostmi průtoku vody, kde voda v řece stoupá (upwelling) nebo klesá (downwelling), a ucpání sedimentem v podobě jak malých kamenů či prachu, tak bakteriemi. Je důležité podotknout, že klíčovým faktorem pro mlže není pouze hrubost substrátu, ale také je třeba zohlednit, že propustnost dna může být ovlivněna přítomností bakteriálního biofilmu.

## Vztah mezi propustností hyporeálu a hrubostí sedimentu



Obrázek 8: (A) Různé druhy sedimentů v náplavech s odlišnými velikostmi zrn a rychlostmi průtoku vody (foto M. Close), (B) Místa, kde voda v řece stoupá nebo klesá, s měřeními rychlosti průtoku vody piezometrem, (C) Ucpání sedimentu malými kameny a prachem (černé tečky), (D) Ucpání sedimentu bakteriálním biofilmem (šedá vrstva) (Marmonier et al., 2023).

Podobně jako u jiných druhů mlžů, například u velevruby (*Pleurobema clava*), je pro přežití klíčové čisté a nezanesené dno. Pro hlubší pochopení podmínek potřebných pro přežití velevruby byl ve Spojených státech amerických zkoumán jiný, běžnější druh tohoto mlže, *Elliptio complanata* (Roley & Tank, 2016). Tento výzkum se zaměřil na několik aspektů, včetně měření podzemních vod piezometrem. Zjištění ukázala, že pohyb podzemní vody může významně ovlivnit dostupnost kyslíku, potravy a dalších materiálů pro mlže (Hauer & Lamberti, 2007). Většina lokalit s výskytem *Elliptio complanata* byla charakterizována upwellingem, tedy vynořující se podzemní vodou. Na jedné ze šesti zkoumaných lokalit byla polovina plochy se zanořující se vodou a druhá polovina s vynořující se vodou. Toto pozorování je zásadní, jelikož *Elliptio complanata* tráví většinu svého života zanořen v říčním substrátu, a jeho hlavní zdroj potravy je tedy spojen s upwellingem (Roley & Tank, 2016).

Ve vztahu k čistotě vody byly zkoumány říční toky v blízkosti čistíren odpadních vod a jejich dopad na sladkovodní mlži. Během studie bylo prozkoumáno 55 lokalit, přičemž v oblastech 7 km po proudu od čistíren nebyly objeveny žádné živí mlži. Naproti tomu v oblastech proti proudu od čistíren byly mlži nalezeny. Zvýšená hladina amoniaku a dusitanů byla spojována s vyhynutím mlžů. Naopak, živí mlži byly objeveny v místech, kde se do hlavního toku vlévaly čistší přítoky, které sloužily jako útočiště pro tyto organismy (Gillis et al., 2017).



Učebnice (Hauer & Lamberti, 2007) se v kapitole o interakci povrchových a podpovrchových proudů věnuje i vlivu na makrozoobentos. V této souvislosti diskutuje o metodách odběru vzorků bezobratlých, které jsou prováděny při instalaci jímek určených pro měření teploty vody a rozpuštěného kyslíku ve vodě. Z důvodu potřeby velkého objemu vody z těchto jímek se používá malé membránové čerpadlo. Vzorková voda je následně shromažďována a prosévána za účelem izolace bezobratlých. Učebnice dále poznamenává, že existují rozdíly v počtech a druzích bezobratlých v oblastech s upwellingem a downwellingem, což je dáno rozdílnou tolerancí těchto organismů k faktorům jako jsou kyslík, teplota a další (Hauer & Lamberti, 2007). Jedna studie zkoumá vliv upwellingu na bezobratlé v dočasných řekách a identifikuje tento fenomén jako klíčový prvek pro jejich přežití, poskytující jim zdroje v obdobích, kdy voda není dostupná; konkrétně se týká řádů *Ephemeroptera*, *Plecoptera* a *Trichoptera* (Leigh et al., 2013). Po odvedení vody z koryta v hyporeální zóně může dojít k až sedminásobnému nárůstu počtu bezobratlých živočichů. Migrace byla taxon-specifická a omezovala se především na nejhojnější bentické taxony, které dočasně kolonizují hyporeál, například *Leuctra cf. fusca*, *Baetis sp.*, *Caenis sp.*, *Orthocladiinae* a *Tanypodinae*. V kontextu klimatických změn může větší využívání hyporeálových útočišť podpořit přežití komunit, které jsou stále častěji vystaveny extrémním hydrologickým podmínkám (Maazouzi et al., 2017).

Další výzkum zkoumal bentické organismy a vliv směrů proudění na tyto organismy ve čtyřech různých hloubkách: 0,5 m, 1,0 m, 1,5 m a 2,0 m pod povrchem vodního toku. Downwelling fungoval jako hlavní úkrytová oblast pro různé bentické taxony. V rámci výzkumných stanic byly pozorovány významné vertikální migrace bentických skupin, například *Gammarus* a *Cladocera*, a také hyporheických taxonů, jako jsou *Cyclopoidea*, *Harpacticoida*, *Niphargus* a *Niphargopsis*. Tyto migrace pronikaly hluboko do sedimentu, až do hloubky 2 metrů. Tyto vertikální pohyby byly zvláště důležité při nízkém až středním průtoku, kdy velké množství jedinců migrovalo. Avšak při vysokém průtoku, kdy byl překročen určitý práh nestability sedimentu, se tyto pohyby staly nevýznamnými. V těchto situacích se substrát stal nestabilním, což spustilo drift bentických organismů. Ovšem v místech se vzestupným prouděním (upwelling), kde panovala stabilita, byla akumulace organismů méně významná (s nižším počtem druhů a nižší hustotou). Nicméně, tato akumulace byla konstantnější s

rostoucím průtokem, což ukazuje, že stabilita substrátu je v těchto podmínkách také klíčovým faktorem (DOLE-OLIVIER et al., 2003).

### **3.7 Přežívání perlorodek říčních v hyporeálu podhorských řek v závislosti na změnách směru proudění v hyporeálu**

Perlorodka preferuje různou hloubku substrátu v hyporeálu v řece. Bylo provedeno testování na jednoletých juvenilních perlorodkách, které se v letních měsících nalézaly 2–3 cm hluboko, při snížení kyslíku bylo patrné, že se juvenilové chtěly přesunout na vhodnější místo v hyporeálu, to je dáno i lokalitou na které se nachází, jestli to je oblast downwellingu nebo upwellingu (Bílý et al., 2021). Navíc bylo zjištěno, že mláďata perlorodek se častěji vyskytovala zahrabaná v hrubém písku než v jemném písku (Hyvärinen et al., 2021).

V diplomové práci Michaely Galové (2017) se zkoumá přežívání perlorodky ve vltavském luhu. Výzkum zahrnuje analýzu říčního sedimentu a úmrtnosti jednotlivých jedinců perlorodky. Z výsledků výzkumu vyplývá, že perlorodkám se obecně daří lépe v hrubším substrátu, jako je šterkopísek, kde musí být zajištěno stálé proudění vody. Substrát musí být dostatečně stabilní, aby se jedinci mohli zahrabat, avšak nesmí být příliš jemný, což by mohlo omezit jejich pohyb. V písčných sedimentech byla zaznamenána nejvyšší úmrtnost (65 %), zatímco mezi kameny v hyporeální zóně šterkových hlavic byla nejnižší (5 %). Jemný sediment může negativně ovlivnit výměnu látek a zejména kyslíku v hyporeické zóně. Dále bylo zjištěno, že zákal a sedimentace jemných částic jsou odpovědné za selhání reprodukce a přežívání juvenilních jedinců. Během letních a podzimních měsíců, kdy dochází k nízkému průtoku vodních toků, jsou podmínky pro přísun kyslíku do hyporeické zóny nejhorší, což může kriticky ovlivnit přežití říčních perlorodek (GEIST & AUERSWALD, 2007; Braun et al., 2012). Na lokalitě, jako je vltavský luh, může dojít ke značným změnám vlivem událostí, jako je povodeň. Taková událost může způsobit změnu směru proudění v hyporeální zóně. Například, pokud se perlorodky původně usídlily na místě, které bylo pro ně ideální z hlediska nasycení kyslíkem (100 %), následná změna proudění může vést ke snížení tohoto nasycení pod 50 %. Taková výrazná změna v nasycení kyslíkem může mít za následek úhyn jedinců. Toto zjištění

ilustruje, jak velký vliv mohou mít lokální environmentální změny na přežití a prosperitu perlorodkové populace (Galová, 2017).

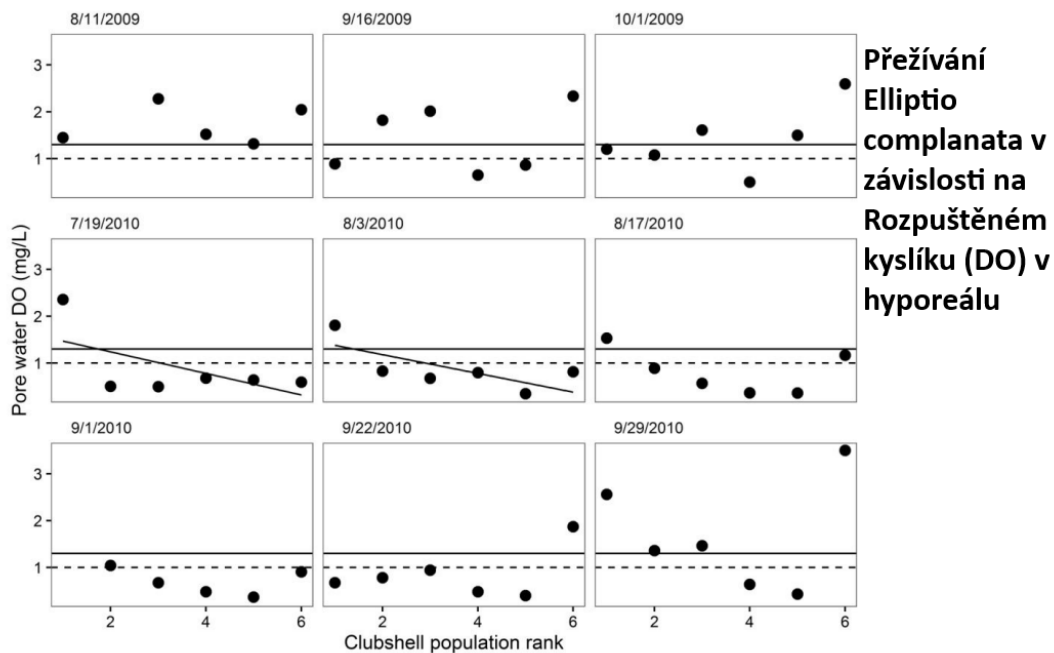
Článek zabývající se významem rozpuštěného kyslíku ve vodě, s důrazem na jeho kritickou roli pro vodní organismy, jako jsou larvy hmyzu, jikry ryb a juvenilní jedinci mlžů. Zatímco pro některé organismy, například larvy hmyzu a jikry ryb, nemusí být okysličení vody kritické a kolísání jednoho roku je tolerovatelné, perlorodka říční prochází juvenilním stádiem života zahrabaná v sedimentu po dobu pěti let. (Geist, 2010; GEIST & AUERSWALD, 2007) Tento delší životní cyklus z ní činí organismus, který je kriticky závislý na stabilních a dobře okysličených podmínkách v intersticiálních stanovištích (Piatka et al., 2021). Vliv na kritickou situaci perlorodkových populací má zejména využívání půdy, které vede k silnému zanášení řek. Tento proces degraduje juvenilní stanoviště ucpáním makropórů, což následně snižuje hladinu rozpuštěného kyslíku v intersticiální zóně. Tento faktor je klíčovým důvodem, proč některé populace perlorodky říční stojí na pokraji vyhynutí; v důsledku nedostatečného rekrutování mláďat po dobu několika desetiletí (Denic et al., 2015). Navíc, pro úspěšný vývoj mladých mlžů, lososovitých jiker a larev je předpokladem dosažení vysokých redoxních potenciálů minimálně 400 mV a koncentrací rozpuštěného kyslíku nejméně 6,9 mg/l (Denic & Geist, 2015). Dalším málo zkoumaným fenoménem je predace v podzemní vodě a v hyporeálu (Marmonier et al., 2023).

Klíčovým faktorem pro přežití perlorodky *Margaritifera margaritifera* se jeví být rozpuštěný kyslík v hyporeálu, jehož dostupnost závisí na směru proudění vody v tomto prostředí. V tomto kontextu hrají významnou roli jak downwelling, tak upwelling, stejně jako smíšené zóny, které mohou ovlivňovat koncentraci kyslíku.

Další výzkum se zaměřil na mlže druhu *Elliptio complanata*, který patří do stejného řádu *Unionoida* jako perlorodka. V rámci studie Roleyho a Tanka (2016) byl proveden průzkum na šesti lokalitách během jednoho roku, a to v letních a podzimních měsících. Zjištění ukázala, že většina lokalit byla charakterizována upwellingem, pouze jedna se nacházela ve smíšené zóně a žádná v downwellingu.

Obrázek 9 ilustruje mezní hodnoty pro přežití mlžů, kde plná přímková reprezentuje mezní hodnotu pro juvenilní jedince a přerušovaná pro dospělé. Dospělí jedinci mají

výhodu v tom, že se v případě nepříznivých podmínek mohou snáze přesunout na vhodnější místo, například blíže k povrchové vodě, a jsou méně náchylní k tomu, aby je odnesla tekoucí voda. Naopak juvenilní jedinci jsou většinu svého života vázáni k podpovrchovému substrátu v řece, a jakákoli změna v jejich prostředí může mít pro ně fatální následky.



Obrázek 9 Koncentrace rozpuštěného kyslíku (DO) ve vodě, v pórech, podle data odběru vzorku (měsíc/den/rok). Každý bod označuje střední hodnotu DO z pěti vzorkovačů na konkrétním místě během daného data vzorkování. Plně vodorovné přímky představují práh pro přežití juvenilních jedinců *Elliptio complanata*, zatímco přerušovaná přímka značí práh stresu dospělých jedinců. (Roley & Tank, 2016)

Další studie zkoumá ekologii perlorodky v řece Kerry v severozápadním Skotsku a zaměřuje se jak na dospělé jedince, tak na juvenilní fázi. Analýza zahrnuje několik fyzikálních parametrů, jako jsou vzdálenost od nejbližšího břehu, střední hloubka vody, průměrná rychlost proudu, charakteristika substrátu a vodní vegetační pokryv. Výzkum ukazuje, že dospělí a juvenilní jedinci mají podobné ekologické nároky, ale dospělci jsou schopni tolerovat širší spektrum fyzických podmínek. Optimální stanoviště pro obě vývojová stádia zahrnuje balvanité dno s příměsí písku, které je ideální pro zahrabávání juvenilů. Optimální hloubka vody se pohybuje mezi 0,3 a 0,4 metru, zatímco optimální rychlost proudu je v rozmezí 0,25 až 0,75 m/s. Zatímco dospělí jedinci jsou schopni tolerovat bahnitě či blátivé podmínky na neznámý časový úsek, juvenilní jedinci se v těchto stanovištích nikdy nevyskytují (Hastie et al., 2000).

Studie provedená v rakouských tocích zkoumala vliv hydromorfologických parametrů na perlorodky, se zvláštním zaměřením na stabilitu říčního koryta a propustnost intersticiální vody. Klíčovým faktorem pro přežití juvenilních jedinců je substrát; jeho jemné frakce mohou omezovat proudění kyslíku. Pro optimální životní podmínky musí vodní tok splňovat dva kritéria: stabilní substrát pro všechna vývojová stadia a neucpanou intersticiální vodu pro juvenilny. Substrát byl kategorizován do sedmi typů na základě hrubosti, od balvanů větších než 40 cm po bahno menší než 0,063 mm. Intersticiální voda byla odebírána v dubnu, květnu a září 2012 ve dvou hloubkách—5 a 10 cm. Je třeba poznamenat, že odebrání vzorků v červenci a srpnu neproběhlo z důvodu povodní, ačkoliv v těchto měsících jsou podmínky v intersticiálních pórech nejnepříznivější. (Scheder et al., 2015) Hloubka odebíraných vzorků byla omezena na 10 cm, jelikož tato zóna je biologicky nejrelevantnější, s maximální druhovou bohatostí a obývána mladými perlorodkami (GEIST & AUERSWALD, 2007).<sup>1</sup>

### 3.8 Shrnutí

Téma upwellingu a downwellingu je problematikou známou už desítky let a existují výzkumy zaměřené na měření chemismu vody v těchto místech. Zároveň proběhla četná zkoumání doby, za kterou se interstacionální voda přesune od downwellingu k upwellingu a jakou vzdálenost tato voda může cestovat. Bentičtí živočichové, kteří se zmiňovanou problematikou úzce souvisí, bylo doposavad věnováno výrazně méně pozornosti.

V knize věnující se této problematice “Groundwater Ecology and Evolution”, se autoři pozastavují nad nedostatečnou prozkoumaností hyporeálu a opomíjením tohoto tématu vědeckými studii, zvláště s přihlédnutím k faktu, že výzkumům nebrání technické možnosti. Vzniklo pouze malé množství článků zaměřených na problematiku směru proudění na mlže, konkrétně perlorodce se články věnují minimálně. Přes zmiňovanou malou zmapovanost mezi vědci panuje shoda, že větší zastoupení živočichů je v místech downwellingu, i když byly provedeny výzkumy, které potvrdili u jiného druhu mlže velevrubu pravý opak, kdy většina jedinců se nalézala v upwellingu.

---

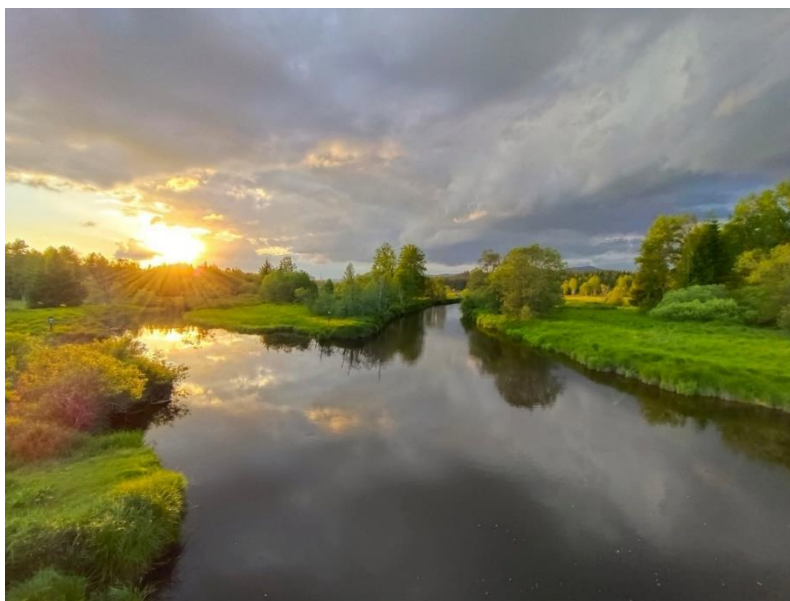
<sup>1</sup> V rešeršní části byla využita umělá inteligence na korekturu mnou napsaného textu: Příkaz zněl: „Prosím zkontroluj mi gramatické chyby.“ Jazykový model: ChatGPT 4.

Hyporeál je místo, kam se v případě nepřízně počasí a rozvodněného toku ukrývají bentičtí živočichové, aby je neodnesl proud. Dále se vědci shodují, že pro perlorodku je nejdůležitějších prvních 10 cm substrátu a jemný substrát pro snadné zahrabání. Oblast downwellingu je mnohem lépe zásobena kyslíkem a živinami, a i to může být důvod mnohem většího výskytu živočichů. Juvenilní perlorodka též potřebuje kyslík a živiny, a to je nejdůležitějším faktorem při výběru ideálního místa. Dále se vědci shodují, že největším problémem může být zanášení říčního dna jemnými sedimenty jako je bahno, což může způsobit nedostatek kyslíku a živin v těchto prostorách a změnu proudění pod říčním korytem, i to může být obrovský problém pro juvenilní perlorodku a když k takové změně dojde, nedostatek kyslíku může způsobit i její úhyn. Dalším problémem může být v této době nedostatek vody, a tudíž i větší zanášení říčního dna, obzvláště v letních měsících. V případě větších dešťů a následných povodní, to zase znamená nestabilitu říčního substrátu a tím i možnou změnu směru proudění. Faktorů, které mohou ovlivnit říčního dna je několik, avšak jak velký vliv a dopad to může mít na juvenilní perlorodku, není doposud jasně určeno. Nevelké množství výzkumů pouze zmiňuje, že důležitým faktorem pro přežití mlžů, včetně juvenilní perlorodky je redoxní potenciál minimálně 400 mV a koncentrace rozpuštěného kyslíku nejméně 6,9 mg/l.

## 4 Metodika

### 4.1 Lokalita

Výzkum byl prováděn v 1.zóně NP Šumava, nedaleko vesnice Dobrá, na řece Teplá Vltava, lokalita se nachází v těsné blízkosti přírodní rezervace Mrtvý luh, kde se nachází vrchovištní rašeliniště. Větším městem v okolí jsou Volary, okres Prachatice. Kvůli přísné ochraně Perlorodky říční a snaze o zachování její populace, zde není přiložená mapa konkrétního místa zkoumání. V případě zájmu o více informací se lze obrátit na mého vedoucího práce. Současný výskyt perlorodky říční v ČR ilustruje přiložená mapa viz Obrázek 12 Mapa současného výskytu (zdroj Záchranný program perlorodky říční *Margaritifera Margaritifera* v České republice (AOPK ČR, 2013)) převzato (Zdroj: <http://www.perlorodkaricni.cz/lide/soucasnost.html>) Obrázek 12. Pro představu o charakteru říční nivy v místě výzkumu je přiložen obrázek pořízený z vyvýšeného místa nedaleko vybrané lokality Obrázek 10 přímo úsek instalace transektu Obrázek 11. Pro navštívení lokality je nutné mít souhlas od správy Národního parku, který může dovolit vstup do oblastí se zakázaným vstupem (1. zóna NP mimo značené cesty). Měli jsme zde vstup povolen jako vědečtí pracovníci a po dobu výzkumu bylo potřeba mít na oblečení viditelný pruh látky (na rukávu), kde bylo napsáno: „vědecký pracovník NP Šumava“).

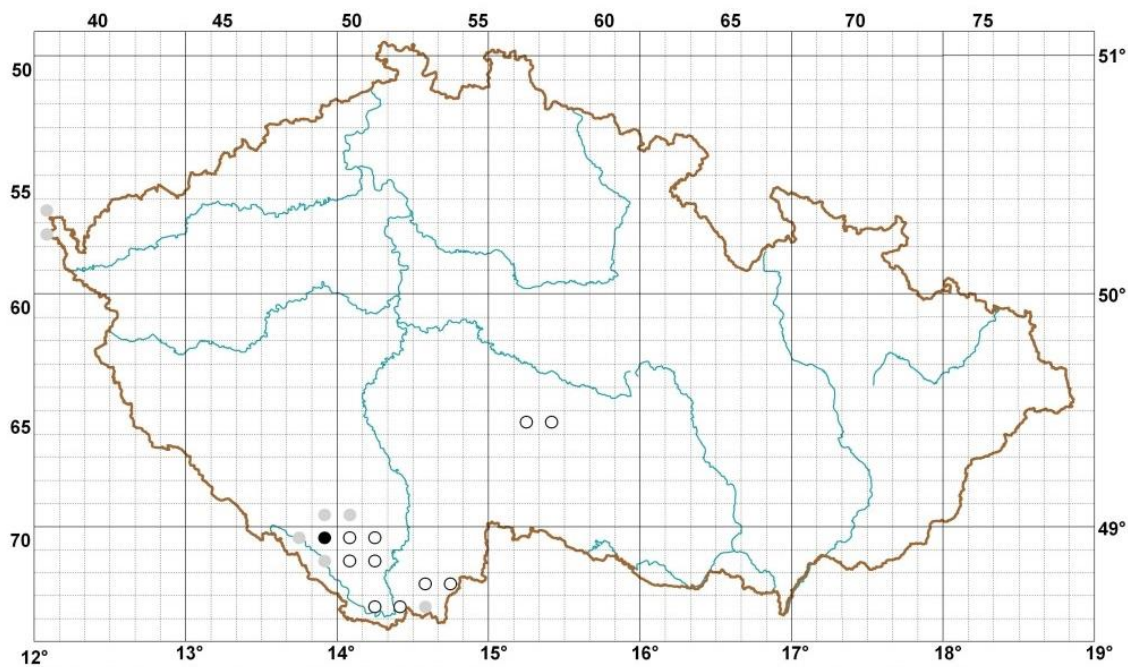


Obrázek 10 Teplá Vltava, lokalita u obce Dobrá, ukazuje charakter nivy Teplé Vltavy včetně slepého ramena vpravo autorem fotografie Kristýna Kubíková





Obrázek 11 Lokalita instalace transektu teploměrů v místě s kódem KOVH (27. květen 2020) autorem fotografie je O. Simon



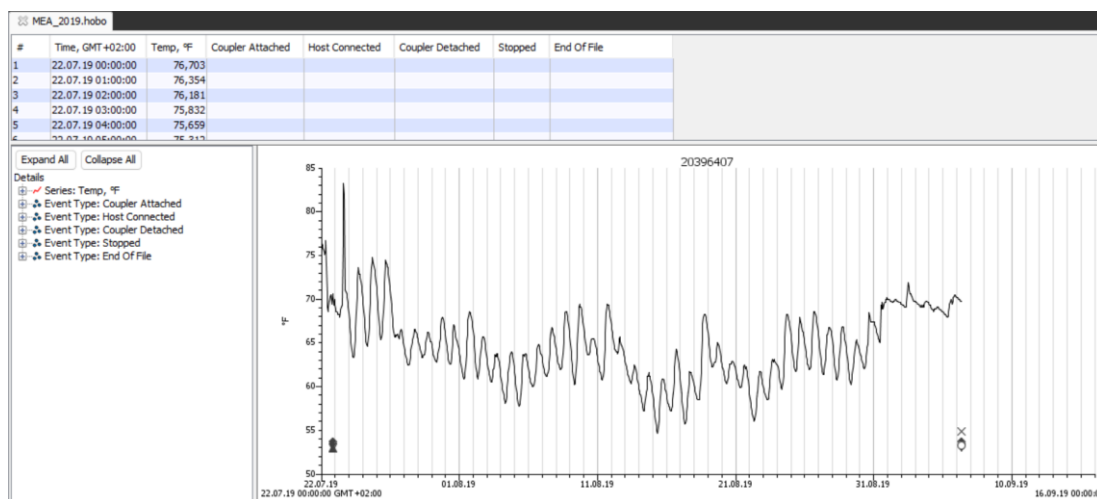
Obrázek č. 2: Rozšíření perlorodky říční v ČR v roce 2006. Bílá: 1 - 100 jedinců, světle šedá: 100 - 1 500, středně šedá: 1 500 - 5 000, tmavě šedá: 5 000 - 15 000, černá: více než 15 000 jedinců.

Obrázek 12 Mapa současného výskytu (zdroj Záchranný program perlorodky říční *Margaritifera Margaritifera* v České republice (AOPK ČR, 2013)) převzato (Zdroj: <http://www.perlorodkaricni.cz/lide/soucasnost.html>)



## 4.2 Měření

Před začátkem zpracováním dat z roku 2020 jsem k seznámení s tématem využíval již částečně zpracovaná cvičná data z roku 2019, která jsem zpracovával v programu HOBOWare. Obrázek 13 ukazuje data bez korektury ve formátu grafu produkovaném přímo ovládacím softwarem pro správu záznamových sond. Příklad na obrázku ukazuje data z teplotního čidla od data 22.7.2019 do 7.9.2019 včetně startovního úseku (před vložením do řeky) a koncového, kalibračního úseku po vyjmutí z řeky. Tato data mi demonstrovala očekávané denní cykly teplot a pomohla mi v pochopení teplotních měření z roku 2020.



Obrázek 13 HOBOWare program, teplotní data z meandru v Teplé Vltavě

Měření v roce 2020 probíhalo v předem vytipovaném meandru Teplé Vltavy, v úseku, kde se nalézají perlorodky říční. Přimo v místě prací však žádní jedinci zjištěni nebyli a riziko poškození perlorodek bylo jen minimální.

Na lokalitě byl stanoven pás, kde se zakopali teploměry s funkcí monitorování osvitů. Pás měl každý 0,5 m zakopaný 3 teplotní čidla s doplňkovou funkcí osvitů slunečního záření (jednalo se o automatické sondy **HOBO Pendant**). Výhoda těchto automatických sond je, že jsou vodotěsné a hodí se na dlouhodobý sběr dat (několik měsíců). Na Obrázek 14 lze pozorovat vzhled lokality a kontrolu z terénních prací na Teplé Vltavě, na fotografii jsem zachycen já (Jiří Březina) společně s vedoucím práce Ondřejem Simonem.



*Obrázek 14 Fotografie z terénních prací zaznamenávající kontrolu sond na Teplé Vltavě. Autorem fotografie je Vojtěch Macháček*

Celkem bylo 40 míst, které se rozkládali na linii 20 metrů směrem po proudu řeky. Na každém ze 40 míst byly umístěny 3 teploměry. Na každém místě ze všech 40 míst se vyskytovaly 3 teploměry, celkem bylo použito 120 teploměrů. Zahradnickou lopatkou byl opatrně vytvořen úzký otvor, kam se vložily 2 ze 3 teploměrů viz Obrázek 15. Dva teploměry, které se vyskytovaly v říčním dně, byly vždy instalovány do stejné hloubky, jeden do 13 cm pode dno a druhý, mělčí, do 3 cm pode dno. Poslední ze třech teploměrů byl instalován nad říční dno do volné vody cca 2 cm nad hladinu. Všechny teploměry byly spojeny prádelní šňůrou s ocelovým lankem, která měla přesah 10 cm přes teploměr, vyskytující se ve volné vodě. Instalace probíhala na jaře 29.5.2020 a vyjmutí teploměrů proběhlo v létě 19.8.2020.

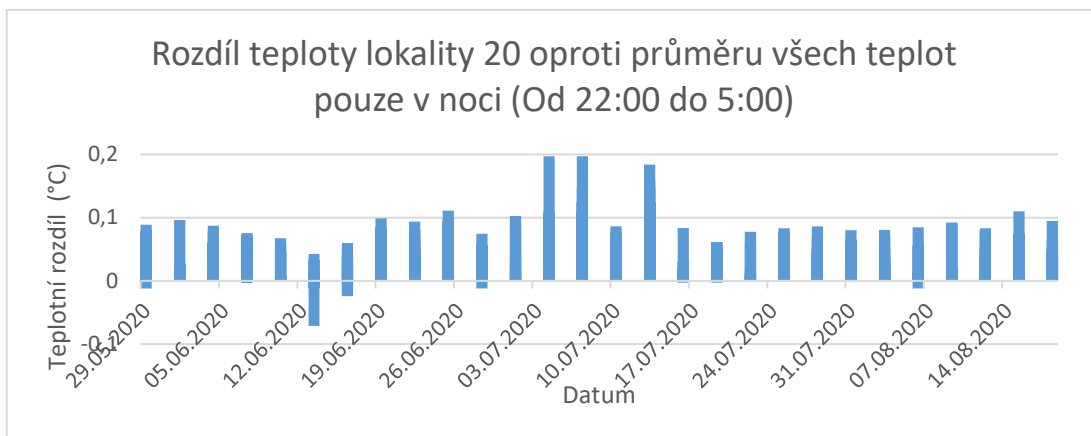


*Obrázek 15 A Instalce do dna a B výsledná poloha teploměru. Nade dnem po instalaci byl viditelný jen teploměr určený k měření teploty volné vody, teploměr ve třech a třinácti centimetrech byl na stejném lanko přímo pod ním. (foto O.Simon, červen 2020)*

Teplotní čidla snímala teplotu každou hodinu(°C) a čidla s funkcí osvit, vždy udávala osvit za danou hodinu (lux).

Na konci experimentu byl proveden test na přesnost senzorů tepla a hodnoty byly přesné na  $\pm 0,2$  °C (test byl prováděn pomocí volné vody během noci, když teploměry nejsou ovlivněny slunečním zářením), což je přesnější, než udává výrobce ( $\pm 0,5$  °C). Při zahrnutí všech chyb považujeme absolutní přesnost ( $\pm 0,5$  °C), avšak skutečná měření přesnosti teploměrů, vykazují přesnější hodnoty jednotlivých teploměrů při porovnávání mezi sebou ( $\pm 0,2$  °C)

Dále pak porovnávám měřený teploměr vybraný pro volnou vodu (VOLVO) oproti průměrů teplot z nočních hodin (22:00-5:00), kdy se teplota od průměru liší o 0,05 °C (o tuto hodnotu měřil vybraný teploměr hodnoty tepleji od průměru všech ostatních teploměrů) viz Obrázek 16. Z obrázku lze vyčíst přesnost měřeného teploměru.



Obrázek 16 demonstruje přesnost vybraného teploměru pro volnou vodu (VOLVO) oproti průměru všech ostatních teploměrů v nočních hodinách ve volné vodě. Průměr v absolutní hodnotě je 0,05°C.

Data osvitů fungovala pro určení, zda byly teplotní senzory vyhrabány ze dna (teploměry co byly ve 3 cm nebo ve 13 cm) anebo zda byly zahrabány teploměry vyskytující se ve volné vodě (2 cm nade dnem).

Z teploměrů ve volné vodě bylo potřeba vybrat teploměr, který ukazuje skutečnou teplotu vody a poskytuje přesná data, která nebyla znehodnocena případným zahřátím teploměru od slunečního záření (rozdíly teploty volné vody se za určitých meteorologických podmínek lišily až o jednotky stupňů Celsia, kvůli ohřátí teploměrů od slunečního záření).

Při odinstalaci automatických sond **HOBO Pendant** (Obrázek 17) na konci měření bylo zjištěno, že některé teploměry chybí, jsou dvě možnosti, co se s nimi mohlo stát, první možnost: říční substrát byl odhrabán natolik, že vyhrabal teploměry, které poté neměly být jak uchycené, a proto je odnesla voda (voda by musela vyhrabat říční dno o více než 13 cm) včetně kotevního hřebíku. Druhá možnost: jedná se o lidské zavinění, Teplá Vltava má přes léto povolení splouvání na kánoích a někdo si mohl všimnout šňůr vyčuhujících z míst kde teploměry byly a mohl je vytáhnout. Takto poškozené a chybějící lokality byly pouze 2, jedná se o místa 18 a 19. Na některých místech chyběl pouze některý ze 3 instalovaných teploměrů (jednalo se o lokalitu 5 ve 13 cm, lokalitu 30 ve volné vodě a ve 13 cm).



Obrázek 17 Hobo Pendant. Zdroj: <https://www.onsetcomp.com/products/data-loggers/ua-002-64>.

### 4.3 Data + Korekce

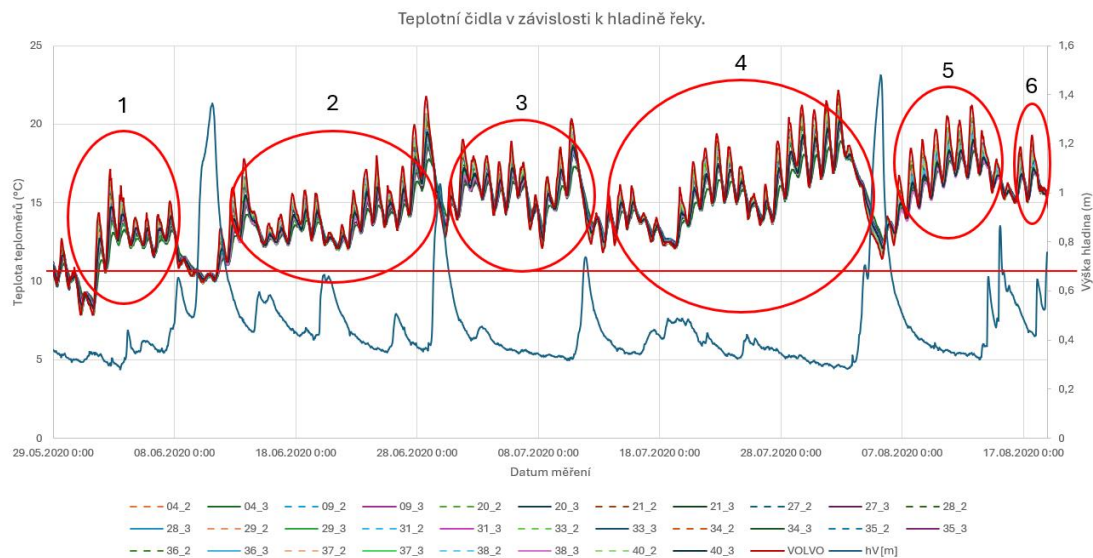
Data z teploměrů byla po vyjmutí z řeky v roce 2020 převedena z formátu používaného sondami HOBO do tabulky MS Excel a takto archivována. Práce tedy započala s tabulkou ve formátu excelu (.xlsx) a obsahovala 2007 řádků a 240 sloupců (120 sloupců byla teplota a 120 sloupců byl osvit (lux)). Příklad zobrazení dat v excelu viz Obrázek 18.

		nade dnem		3 cm hloubka		13 cm hloubka									
	bod transektu_ teplom	01_1	01_1	01_2	01_2	01_3	01_3	02_1	02_1	02_2	02_2	02_3	02_3	03_1	
	počet >0 z 2834		1 189		948		9		940		539		8		
	součet >0		534 702		1 555 778		23 799		228 499		445 811		5 952		
čas	Date Time, GMT+02:0	20590254	20590254	20400537	20400537	20128300	20128300	9677796	9677796	20400553	20400553	20400533	20400533	20590255	
20:00	27.05.2020 20:00	12,50	0	12,50	0	12,50	0	12,50	0	12,50	0	12,50	0	12,50	
21:00	27.05.2020 21:00	12,50	0	12,50	0	12,50	0	12,50	0	12,50	0	12,50	0	12,50	
22:00	27.05.2020 22:00	12,30	0	12,30	0	12,30	0	12,30	0	12,30	0	12,30	0	12,30	
23:00	27.05.2020 23:00	12,21	0	12,21	0	12,21	0	12,21	0	12,21	0	12,21	0	12,21	
00:00	28.05.2020 00:00	12,01	0	12,01	0	12,01	0	12,01	0	12,01	0	12,01	0	12,01	
01:00	28.05.2020 01:00	11,82	0	11,82	0	11,82	0	11,82	0	11,82	0	11,82	0	11,82	
02:00	28.05.2020 02:00	11,72	0	11,72	0	11,72	0	11,72	0	11,72	0	11,72	0	11,72	
03:00	28.05.2020 03:00	11,63	0	11,63	0	11,63	0	11,63	0	11,63	0	11,63	0	11,63	
04:00	28.05.2020 04:00	11,63	0	11,63	0	11,63	0	11,63	0	11,63	0	11,63	0	11,63	
05:00	28.05.2020 05:00	11,53	0	11,53	0	11,53	0	11,53	0	11,53	0	11,53	0	11,53	
06:00	28.05.2020 06:00	11,43	0	11,43	0	11,43	0	11,43	0	11,43	0	11,43	0	11,43	
07:00	28.05.2020 07:00	11,24	0	11,24	0	11,24	0	11,24	0	11,24	0	11,24	0	11,24	
08:00	28.05.2020 08:00	11,14	0	11,14	0	11,14	0	11,14	0	11,14	0	11,14	0	11,14	
09:00	28.05.2020 09:00	10,94	0	10,94	0	10,94	0	10,94	0	10,94	0	10,94	0	10,94	
10:00	28.05.2020 10:00	21,28	420	21,19	162	21,66	183	21,38	258	21,09	398	21,38	603	21,28	

Obrázek 18 Příklad zobrazení zpracovávaných dat v Microsoft Excel. Tmavě šedý sloupec značí teploměr v hloubce 13 cm, na levé straně sloupce jsou zobrazeny teploty (°C) a na pravé straně je zobrazeno sluneční záření (lux). Šedý sloupec znázorňuje teploměr ve 3 cm a bílý sloupec označuje teploměr ve volné vodě.

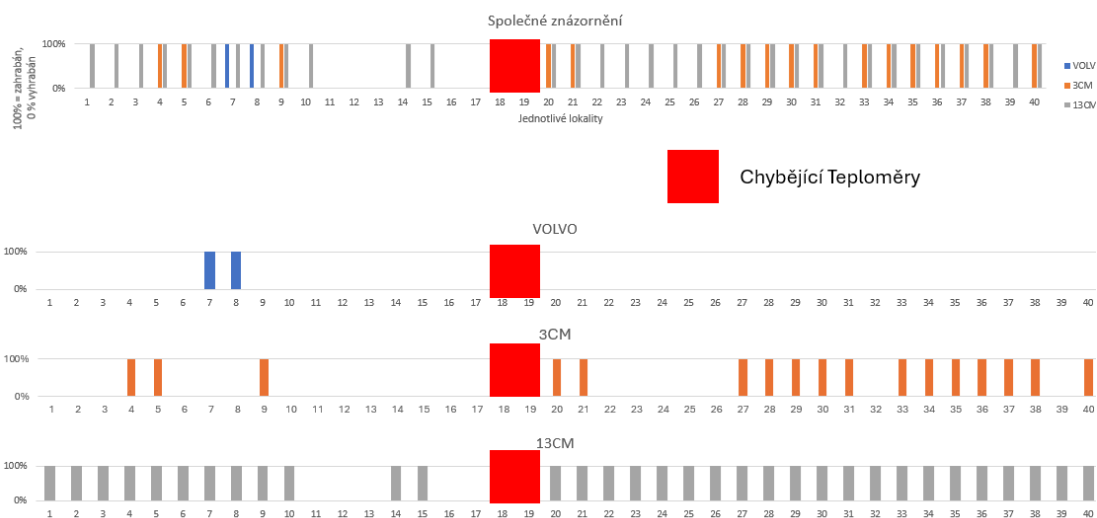
Některé teploměry přestaly po čase fungovat (nestabilita baterie, problémy s vlhkostí), jedná se o lokalitu 8 ve volné vodě, lokalitu 11 ve 3 cm, lokalitu 14 ve volné vodě, lokalitu 15 ve 3 cm, lokalitu 22 ve 13 cm, lokalitu 26 ve 13 cm.





Obrázek 19 Teplotní čidla, měření probíhalo od 29.5.2020 do 18.8.2020, v horní části obrázku se vyskytují data z teploměru, kdy červená linie představuje volnou vodu. Spodní modrá část demonstruje výšku hladiny v lokalitě Meandr, červená příčka značí hranici výšky hladin. Jednotlivé červené elipsy byly podrobeny podrobnějšímu zkoumání, jestli se po povodních měnil směr proudění. Pro určení směru proudění je využitelná část grafu, kdy dochází k oteplování vody, proto úseky v době vysokých průtoků a povodní nejsou využitelné.

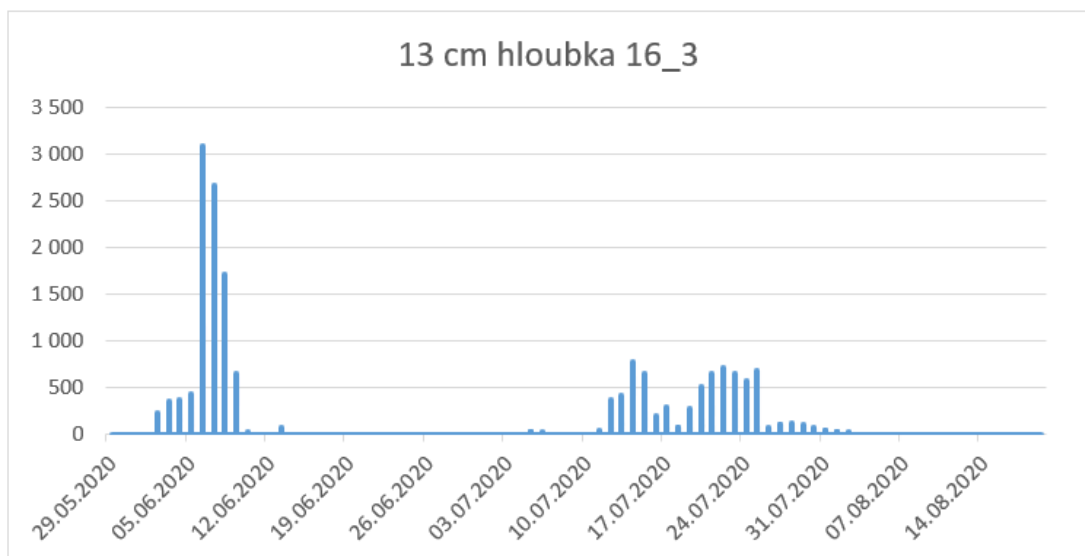
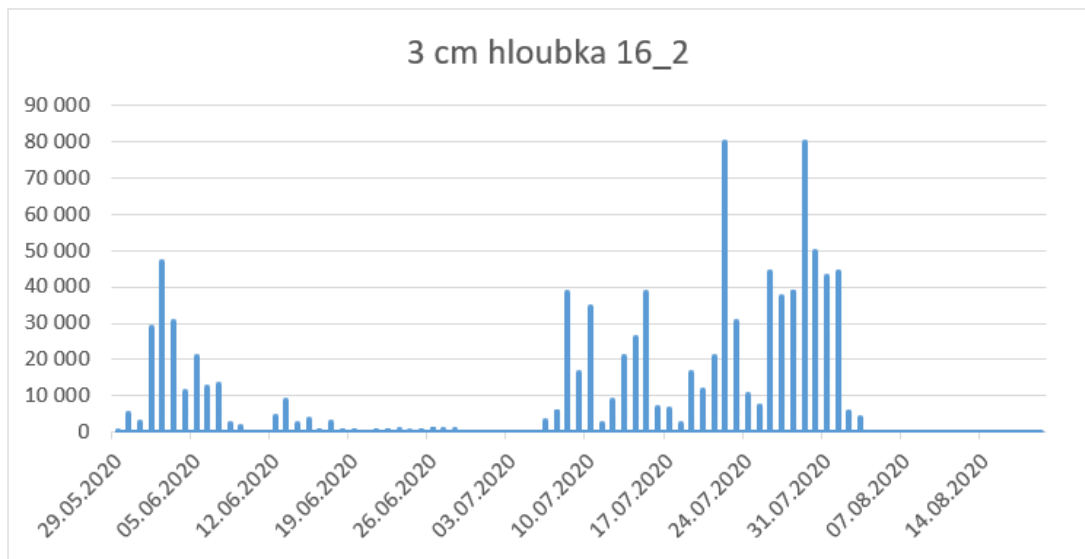
Teplá Vltava měla v průběhu léta několikrát zvýšenou hladinu (bouřkové povodně), v klidovém stavu se hladina pohybuje kolem výšky 0,4 m, jako zvýšení vodní stav jsem považoval období kdy hladina byla nad 0,7 m. Dvakrát během období se hladina přiblížila k 1. povodňovému stupni, a to, když hladina byla vyšší než 1,3 m viz Obrázek 19. Různá zvýšená hladina říčního toku utvářela říční dno a síla proudu vyhrabávala nebo zahrabávala teploměry, viz Obrázek 20. Lokalita 11, 12, 13, 16 a 17 měla vyhrabané teploměry až do hloubky 13 cm. Lokalita 7 a 8 měla v průběhu času jak vyhrabané teploměry ve 3 cm, tak díky vyvíjejícímu se korytu říční substrát zahrabal teploměry vyskytující se ve volné vodě. Lokality 18 a 19 byly ztraceny.



Obrázek 20 Přehled všech teploměrů v transektu s uvedením vyhrabaných a zahrabaných teploměrů, šedě ve 13 cm, oranžově ve 3 cm a modře ve volné vodě. Červeným čtvercem je označena chybějící trojice teploměrů (18 a 19). Pokud chybí jednotlivé sloupce znamená to, že dané teploměry byly v čase vyhrabány (to platí pro teploměry ve 3 cm a 13 cm). Pokud je znázorněn modrý sloupec, značí to zahrabání teploměru, který byl ve volné vodě.

Teploměry, které byly vyhrabány buď ve 3 cm nebo ve 13 cm, nebyly pro bližší zkoumání použity, nemohlo by být přesně určeno v jaké hloubce se nachází a mohlo by to způsobit znehodnocení správných dat. Stejně tak nebyly použity teploměry, které byly zahrabány ve volné vodě, protože nelze určit hloubku teploměrů. Data ukazující dobu změny hloubky vyhodnocené podle změny osvitů pro všechny teploměry, které byly zahrabány nebo vyhrabány jsou ve větším rozlišení v příloze této práce. Příloha 7–17.

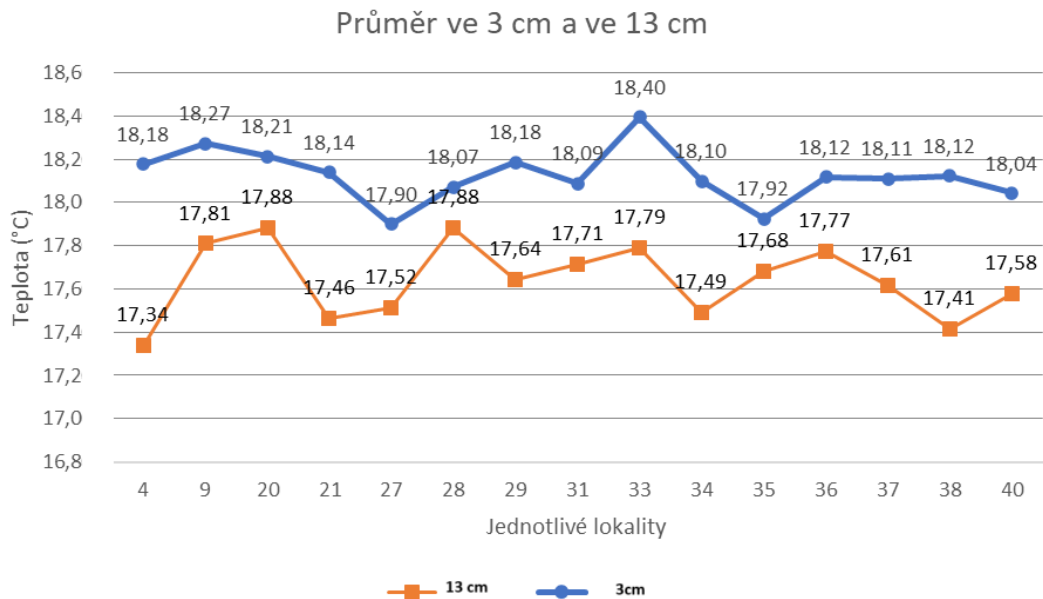
Pro demonstraci, jak takové výsledky vypadaly slouží Obrázek 21. Zprvu byl teploměr po instalaci pod povrchem a osvit tedy ukazuje hodnotu 0 luxů. Aniž by byl zaznamenán zvýšený průtok byl od 29.5. – 19.6 teploměr ve 3 cm vyhrabáný a část období i teploměr ve 13 cm. Dále byl teploměr nějakou dobu zahrabán a vyhrabán okolo dne 6.7. do 4.8. Dále byl zase zahrabán. Osvit dosahoval hodnoty přes 10 000 luxů, podobně se choval i teploměr ve 13 cm jen s určitým zpožděním při vyhrabávání. I v době, kdy byl vyhrabán, zaznamenával jen slabý osvit (obvykle do 1000 luxů), byl tedy pravděpodobně těsně pod povrchem šterkového dna.



Obrázek 21 Lokalita 16 ve 3 cm a ve 13 cm, osa y značí osvit (lux) a osa x značí den. Jednotlivé sloupce značí jednotlivé dny.

V případě znázornění průměrů teploty na jednotlivých lokalitách ve 3 cm a ve 13 cm, můžeme získat informace o průměrných teplotách na jednotlivých místech, avšak odebrali bychom tím informaci o maximu a minimu z určitých lokalit - Obrázek 22.





Obrázek 22 Průměrná teplota na lokalitách ve 3 cm a ve 13 cm. V jednom dni 11.8. 2020

Znázornění dat ve výsledcích je ve stylu XX\_1, XX\_2, XX\_3, kdy písmeno XX označuje číslo lokality a číslice 1,2 a 3 označuje, zda se teploměr nachází ve volné vodě (XX\_1), v hloubce tří centimetrů (XX\_2) anebo v hloubce 13 cm (XX\_3).

#### 4.4 Přežívání perlorodek

Na stejném úseku, kde byl zkoumaný transektu, byly umístěny jednotlivé sondy s uměle odchovanými perlorodkami a teploměrem. Perlorodky byly ve dně exponovány ve věku 1 rok, byly vloženy do hloubky třech centimetrů do síťových trubic, kde mohly volně vertikálně migrovat a případně i trubici horem opustit a nechat se odnést proudem. Tuto metodu bioindikace detailně popisuje (Bílý et al. 2021) a je odlišná od použití bioindikačních destiček nebo klíček (Bílý et al. 2018).

Na zkoumaném úseku KOVH a také srovnávacích úseků KOVD, EXP a NAT byl směr proudění určen podle rozdílů minim a maxim od extrémů volné vody v jednotlivých dnech a podle časového posunu těchto extrémů oproti volné vodě.

Plocha	není výrazný směr proudění	UP	DW	Kyslík (ruční měření nasáváním v týdenních intervalech)				Hloubka dna v místě instalace sondice	Přežívání perlorodek za měsíc expozice v trubicích	přírůstek v % vstupní velikosti
				min. (mg/l)	min. (%)	průměr (mg/l)	průměr (%)			
KOVH-J	x			6,2	70	6,966	78,74	28	0	2,4
KOVH-B	x			6,25	73	7,652	87,7	41	0	-0,4
KOVH-C			1	7,88	96,2	8,7	98,18	23	10	5,9
KOVH-D			1	7,53	92,1	8,876	100,76	20	22,2	1,4
KOVH-A		1		5,21	55,7	7,37	84,14	45	0	1,3
KOVH-E			1	7,6	86	8,222	95,14	46	25	0,4

Obrázek 23 Část excelovské tabulky zaměřující se na zkoumání přežívání perlorodek v závislosti na směru proudění. Data převzata z projektu OPŽP (Pithart a kol. 2023) předpřipravená v DP Adama Sailera (2021)

Obrázek 23 prezentuje excelovskou tabulku zkoumaného úseku řeky, kde byly vysazeny perlorodky a demonstruje závislost přežívání perlorodek na směru proudění. Výzkum se podrobněji věnuje ještě kyslíku, který byl měřen v týdenních intervalech nasátím vody ze dna a změřením na místě oximetrem.

Data pochází z projektu OPŽP (Pithart, 2023) předpřipravená v DP Adama Sailera (2021). Data o přežívání perlorodek z roku 2019 a 2021-2 byla závislá na zpracování v jiné diplomové práci, kterou studentka včas nedokončila. Z toho důvodu byla použita oproti plánu jen dostupná data z roku 2020.

## 5 Výsledky

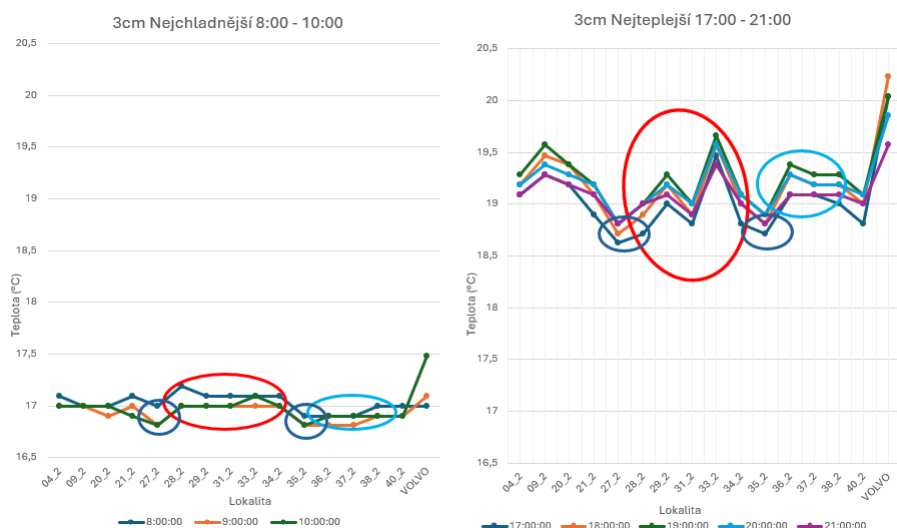
Ve výsledcích prezentuji několik možných interpretací grafů, které spolu s tabulkou s daty vedly k pochopení směru proudění a jeho určení. Jsou různé způsoby, jak daná místa měření interpretovat, v mé práci se budu zaměřovat na upwelling, downwelling, či lokality bez významného směru proudění.

Teplotní maximum volné vody bylo pravidelně od 17–19 h, zatímco teplotní minimum bylo mezi 7–9 h.

### 5.1 Denní změny relativních teplot

K lepšímu pochopení jednotlivých grafů může posloužit ukázka znázornění extrémů mezi jednotlivými lokalitami v podélném transektu na dně řeky viz Obrázek 24. Za nejchladnější fáze dne (levý graf) jsou teploty na všech lokalitách skoro stejné, modrý ovál značí o trochu chladnější místa než červený (celé mělké dno má 17 °C, volná voda též. v 10:00 ale už začíná stoupat teplota volné vody (VOLVO)).

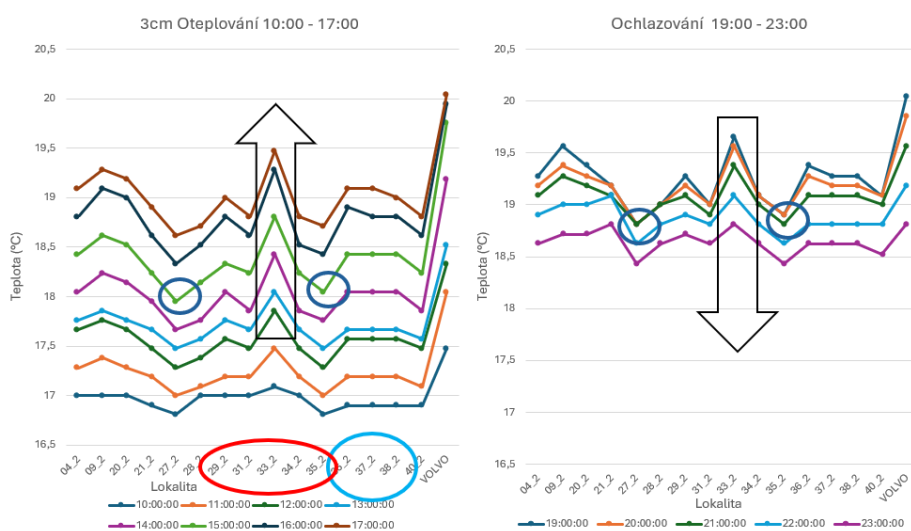
Za nejteplejší fáze dne jsou tři nejchladnější homogenní lokality (světle modrý kruh) mírně teplejší. Tmavomodře jsou značena nejchladnější místa (přesněji nejméně se ohřívající, ráno nijak nevyčnívají).



Obrázek 24 Detail zaměřený na nejchladnější a na nejteplejší část dne. Se zaměřením na konkrétní časové úseky při nejchladnější části dne a při nejteplejší části dne. Lokality jsou znázorněny v hloubce třech centimetrů.

Obrázek 25: Lokalita 33-2 se jasně ohřívá nejrychleji, tj je teplotně nejblíže volné vodě = intenzivně tam proudí horní voda pod povrch, obdobně lokalita 9 ve 3 cm, jsou to

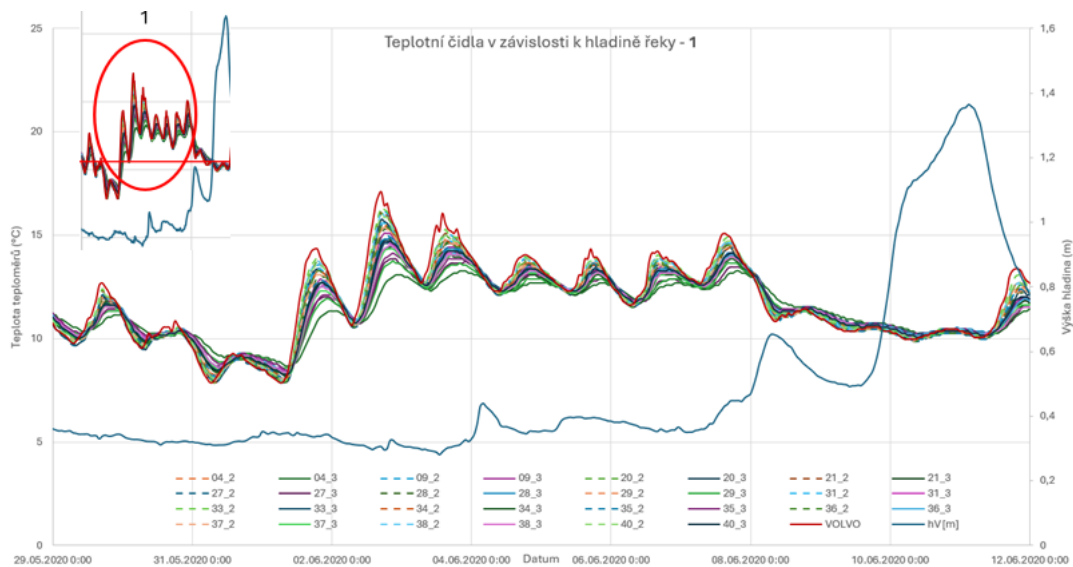
případy downwellingu. Málo se prohřívající 27\_2 s oteplováním čím dál tím více zaostává v ohřevu, stejně tak 35-2 (obě tmavomodře). Málo se prohřívající 27\_2 se s ochlazováním volné vody zprvu teplotně zastaví a pak se dynamicky ochlazuje stejně rychle jako ostatní teploměry (obě tmavomodře) nejteplejší 32\_nejlépe kopíruje volnou vodu.



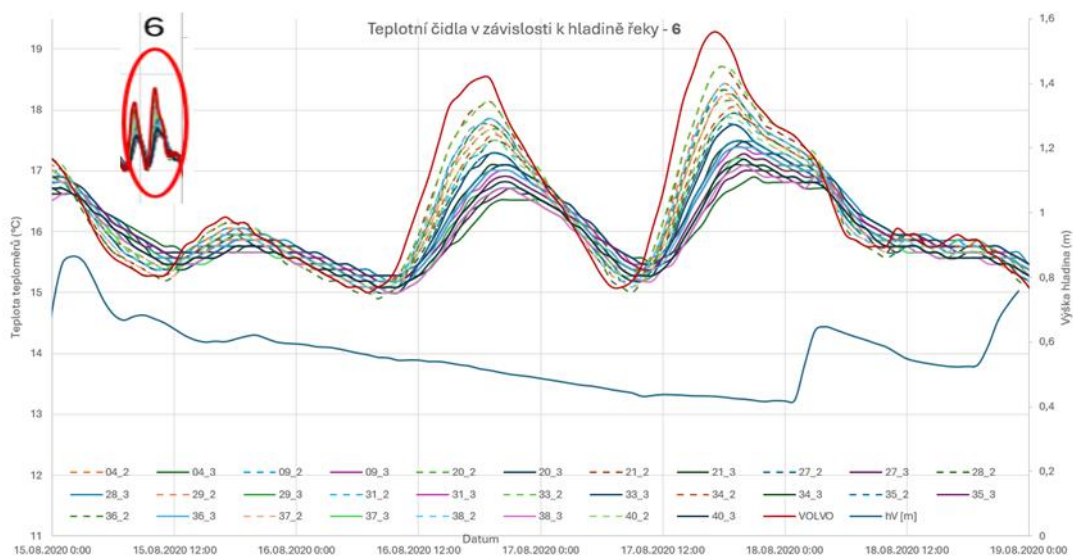
Obrázek 25 Grafy znázorňují různá časová rozpětí ve 3 cm se zaměřením na oteplování (během dne a ochlazování během večera pro vybrané lokality).

## 5.2 Přístupy k vizualizaci dat

K určení směru proudění, zdali se voda zanořuje (downwelling) nebo vynořuje (upwelling) sloužili grafy a tabulky. Zásadní pro určení těchto dat byly extrémy jako jsou maxima a minima, proto nelze využít průměrné hodnoty a na každé z míst je potřeba se zaměřit individuálně a sledovat o jaký typ proudění by se mohlo jednat. Ze 40 měřených lokalit se zaměřuji na 15 lokalit, které nebyly po celou dobu významně ovlivněny zahrabáním, či vyhrabáním teploměrů a u kterých jsou komplexní data. Obrázek 19 ukazuje 6 kruhů, jedná se o místa, na které jsem se zaměřoval a zjišťoval jsem, zda se po zvýšeném vodním stavu (povodních) směr proudění změní. Obrázek 26 a Obrázek 27 prezentují detailněji časové úseky (1 a 6), pro lepší znázornění se nachází v příloze 1 až 6 všechny záznamy z teplotních čidel.



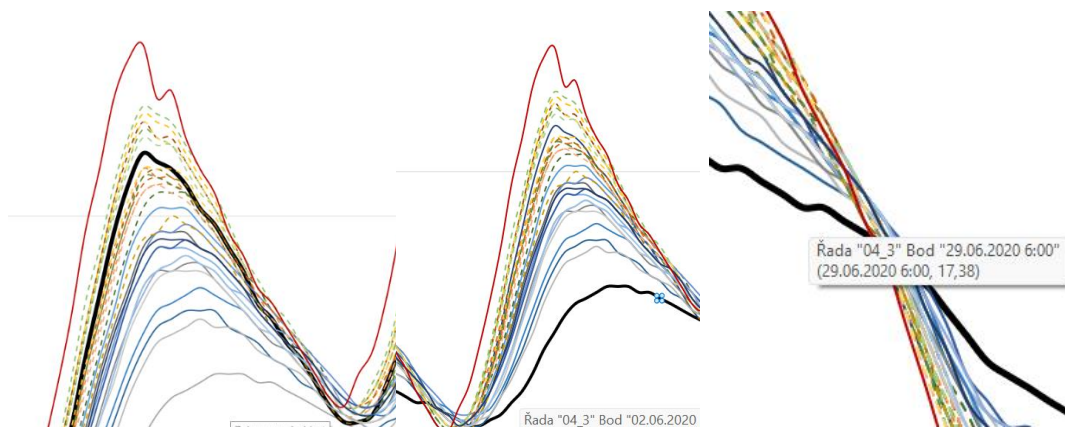
Obrázek 26 První úsek dat po vložení měřících teploměrů před první velkou povodní, která je na obrázku znázorněna výškou hladiny (modře). V levé horní části obrázku je znázorněna zkoumaná přibližně lokalita. Šrafované křivky značí teploměr v hloubce 3 cm, a plně křivky vodu ve 13 cm, červenou vrchní křivkou je značena volná voda a modrou spodní křivkou je značena výška hladiny



Obrázek 27 Poslední dny měření před vyjmutí teploměrů, jedná se o období po poslední menší povodni. Souhrn tří dnů od 15.8. - 19.8. Šrafované křivky značí teploměr v hloubce 3 cm, a plně křivky vodu ve 13 cm, červenou vrchní křivkou je značena volná voda a modrou spodní křivkou je značena výška hladiny

Obrázek 27 je detailnější, protože se jedná o pouze 3 dny. Pro lepší orientaci v grafu je vhodné přiblížit si graf ve velikosti jednoho dne (24 hodin). Takový výřez ukazuje Obrázek 28, kde je černou čarou znázorněna lokalita 20 ve 13 cm, která se nachází v oblasti typické pro teploměry nacházející se ve 3 cm a je zde patrný minimální časový posun denních maxim, a to konkrétně v 17 h je největší teplota volné vody

17,09 °C a v ten stejný čas lokalita 20 v hloubce 13 cm má též své maximum 15,76°C. Teploty teploměrů ve 3 cm se v maximech pohybují od 16,33 °C (lokalita 20 ve 3 cm) do 15 °C (lokalita 35 ve 3 cm). Lokalita 20 ve 13 cm se zde chová jako průměrná lokalita ve 3 cm, je zde patrný brzký ohřev takto hluboké lokality a tím i zanořování vody. Lokalita 20 po celou dobu měření prezentovala silný downwelling.



Obrázek 28 Černou čarou je zvýrazněn teploměr 20\_3 (lokalita 20 ve 13 cm), kdy je i přesto že jde o hluboko zakopaný teploměr, jasně patrné zanořování teplé ohřáté vody tekoucí ve volné vodě. Hodnota znázorněná černou čarou je na úrovni teploměrů, nacházejících se ve 3 cm (šrafované). Dále obrázek prezentuje minimální teplotní opoždění maxima. Datum: 2.6.2020 Graf na levé straně.

Obrázek 29 Černou čarou je ve stejných datech zvýrazněn teploměr 04\_3 (lokalita 4 ve 13 cm), Lokalita 4 po celou dobu měla své teplotní maximum o 7 hodin (17:00 teplotní maximum volné vody, 24:00 teplotní maximum lokality 4) později než tekoucí maximum volné vody. Dále kromě časového posunu měla i své maximum o 4 stupně chladnější. Volná voda v maximum má 17 °C (červeně), lokalita 4 ve svém maximum má pouze 13 °C). Datum: 2.6.2020 Graf uprostřed.

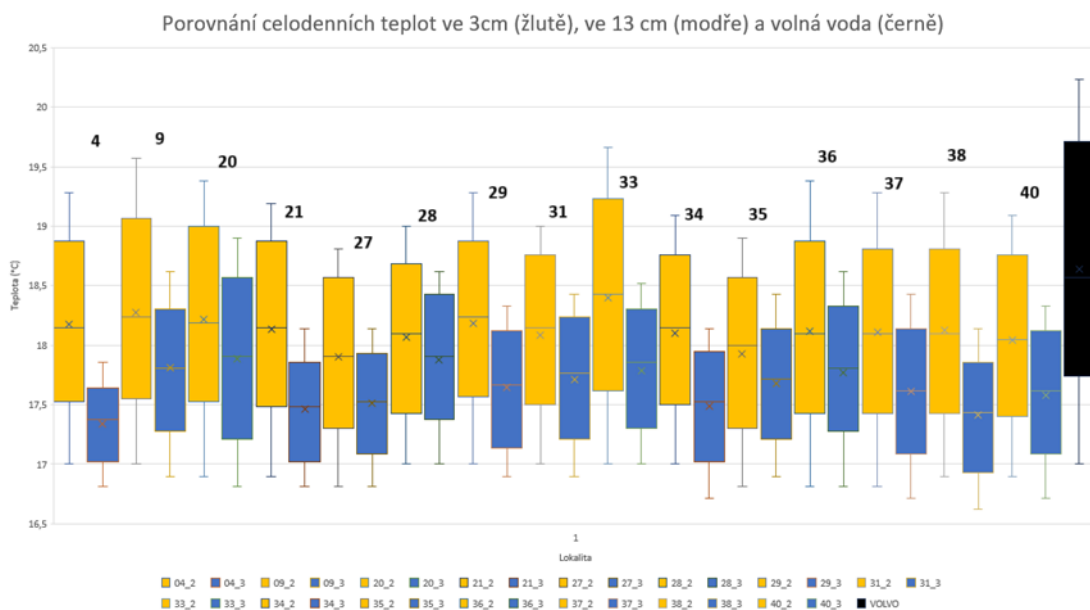
Obrázek 30 29.6.2020 Zpoždění teploměru č. 4 (04\_3 označována šedou křivkou) ve 13cm oproti všem ostatním lokalitám. Silně zaostává při ohřívání, a také silně zaostává při ochlazování. Důkaz upwellingu. Graf na pravé straně.

Obrázek 29 černou čarou prezentuje lokalitu 4 ve 13 cm. Teplotní maximum lokality 4 je posunuto o 7 hodin oproti volné vodě a teplotní rozdíl je o 4 °C (13 °C a 17 °C). Zpoždění maxima oproti volné vodě prezentuje případný upwelling, to lze doložit i rozdílnou teplotou v maximum volné vody a lokality 4, tyto dva faktory dokazují na lokalitě silný upwelling.

Třetím faktorem prokázání upwellingu může být teplotní zpoždění i když se ostatní lokality silně ochlazují, tak lokalita se silným upwellingem bude naopak nejteplejší – Obrázek 30, lokalita 4 je znázorněna vychýlenou šedou křivkou, lokalizovanou zprvu nad „svazkem“ ostatních čar a poté pod ním. Jedná se o den 29.6.2020.

I přes zkoumání lokalit po různých povodních se nikdy nezměnil směr proudění. Směr proudění zůstal po celou dobu měření stejný, povodně pouze vyhrabávaly nebo zahrabávaly zakopané teploměry.

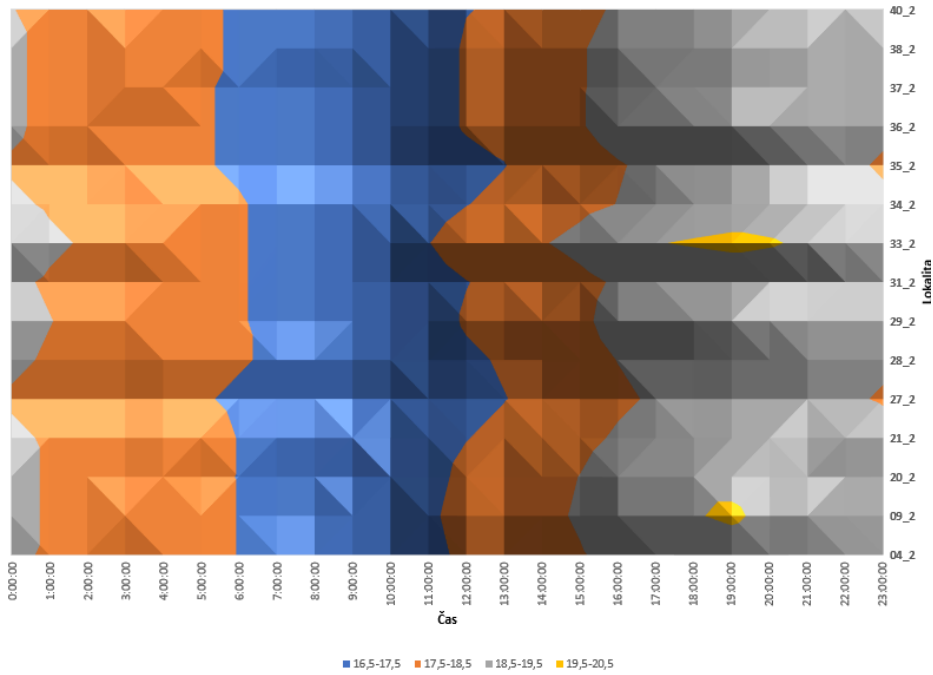
Další způsob zobrazení dat je vybrání konkrétního dne, kdy byly velké teplotní extrémy (na grafu nejlépe vyniknou maxima a minima) a zobrazit tento den pomocí sloupcových grafů - Obrázek 31. Tento graf slouží k hrubšímu odhadu lokality, vyniká zde lokalita 4 ve 13 cm a lokalita 33 ve 3 cm. Větší odsazení modrého sloupce od žlutého může znamenat upwelling, ale pro lepší představu poslouží následující grafy.



Obrázek 31 Sloupcový graf prezentuje 15 zkoumaných lokalit se zakanou dvojicí teploměrů pode dnem, jednotlivé lokality jsou označeny číslem, žlutě jsou místa nacházející se ve 3 cm a modře jsou označeny místa ve 13 cm, černě je znázorněna teplota volné vody. Nad příslušným grafem je číslo dané lokality. Data pochází ze dne 11.8.2020 a jsou souhrnem za celý den, od půlnoci do půlnoci.

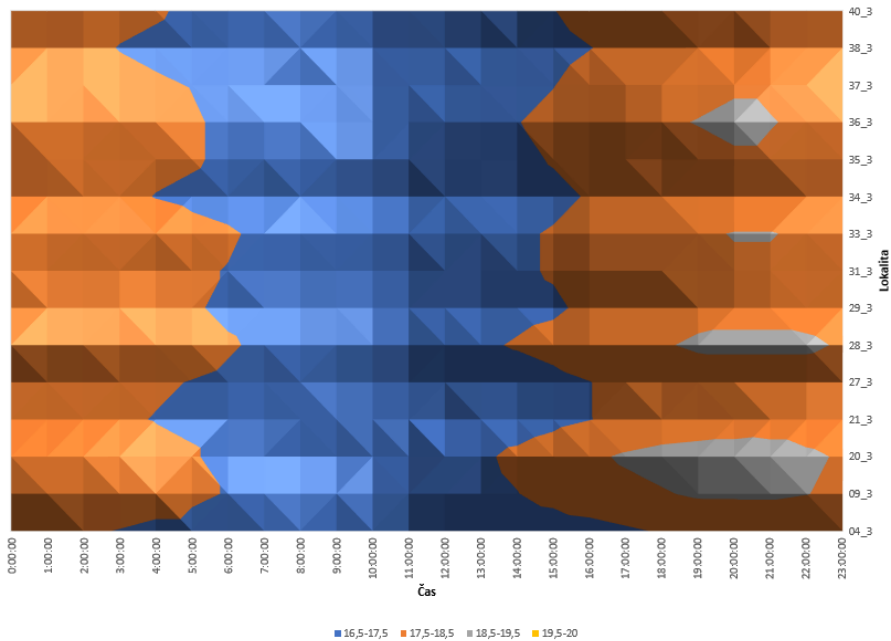
Další možností zobrazení je obrysový povrchový graf, kde mohou vyniknout extrémy. Obrázek 32 demonstruje den 11.8.2020 ve 3 cm pod povrchem. Žluté části grafu, (lokality 33 a 9) značí největší naměřené teploty a tím zanořování teplé povrchové vody do hyporeálu, mohou vypovídat o Downwellingu. Oproti tomu lokality 27 a 35 nám značí nejkratší prohřívání dna a může to být způsobeno vynořováním vody upwellingem. Obrázek 33 demonstruje ten stejný den změna je pouze v hloubce teploměrů, nacházející se ve 13 cm. Zajímavé jsou lokality **9,20,28,33 a 36**, kde by se z grafu dalo usuzovat, že se jedná o zanořující se vodu, z důvodu velkého oteplení v odpoledních hodinách oproti jiným lokalitám.

Změna teploty v hloubce 3 cm, 11.8.2020



Obrázek 32 Změny teploty 11.8.2020 na lokalitách během jednoho dne ve 3 cm. Obrysový povrchový graf, žlutá místa v grafu znázorňují největší oteplení, která představují místa se zanořováním vody: Downwellingem. Naopak místa 35 a 27 kvůli nejchladnějším teplotám mohou dokládat zóny upwellingu.

Změna teploty v hloubce 13 cm, 11.8.2020



Obrázek 33 Graf znázorňuje den 11.8. v hloubce 13 cm. Lokalita 4 je po celou dobu velmi chladná. Oproti tomu lokality 9,20,28,33,36 demonstrují lepší prohřívání dna volnou vodou a mohou znázorňovat zanořující se vodu: downwelling



### 5.3 Určení směru proudění

Obrázek 34: Znárodnění souhrnné tabulky všech lokalit v průběhu jednoho dne: Obrázek 35 a Obrázek 36 znázorňují detaily se zaměřením na 3 cm a 13 cm v kratším časovém úseku. Lokality, kde se bude nalézat downwelling, budou nejvíce podobné volné vodě, zde bych uvedl lokalitu 33. A naopak pokud při největším teplotním maximu volné vody (černý obdélník) zde pozorujeme hodnoty v červeném, či nažloutlém poli, jedná se o lokality, které nejsou ovlivněny sestupující vodou, a naopak se v těchto místech voda vynořuje. Upwelling lze pozorovat u lokality: 27, 29, 35 a zvláště silný upwelling u lokality 4.

	04_2	04_3	09_2	09_3	20_2	20_3	21_2	21_3	27_2	27_3	28_2	28_3	29_2	29_3	31_2	31_3	32_2	33_3	34_2	34_3	35_2	35_3	36_2	36_3	37_2	37_3	38_2	38_3	40_2	40_3	VOVVO
02.06.2020 7:00	10,75	10,94	10,75	10,94	10,65	10,55	10,75	10,85	10,65	10,85	10,94	11,04	10,85	10,94	10,85	10,94	10,75	10,94	10,85	10,85	10,75	11,04	10,65	10,94	10,75	10,85	10,75	10,94	10,75	10,94	10,65
02.06.2020 8:00	10,75	10,85	10,75	10,85	10,65	10,55	10,75	10,75	10,55	10,75	10,85	10,94	10,75	10,85	10,75	10,85	10,75	10,85	10,75	10,85	10,75	10,65	10,85	10,55	10,85	10,65	10,75	10,65	10,85	10,75	11,04
02.06.2020 9:00	10,94	10,75	10,94	10,85	10,94	10,75	10,94	10,75	10,65	10,75	10,85	10,94	10,85	10,75	10,94	10,85	10,94	10,85	10,85	10,75	10,65	10,85	10,75	10,85	10,75	10,75	10,94	10,75	10,94	10,85	11,43
02.06.2020 10:00	11,33	10,75	11,43	11,04	11,33	11,14	11,33	10,94	11,04	10,75	11,04	11,14	11,14	10,85	11,24	11,04	11,43	10,94	11,14	10,85	10,94	10,94	11,14	10,94	11,14	10,85	11,33	10,94	11,33	11,04	12,11
02.06.2020 11:00	11,82	10,85	12,01	11,43	12,01	11,72	12,01	11,33	11,63	10,94	11,53	11,33	11,63	10,94	11,72	11,33	12,11	11,33	11,63	11,14	11,33	11,04	11,63	11,14	11,53	11,14	12,01	11,14	12,01	11,33	12,88
02.06.2020 12:00	12,5	10,94	12,79	11,92	12,69	12,4	12,79	11,82	12,21	11,24	12,01	11,72	12,21	11,24	12,4	11,72	12,98	11,72	12,3	11,53	11,92	11,33	12,3	11,53	12,11	11,43	12,69	11,53	12,69	11,82	13,75
02.06.2020 13:00	13,27	11,14	13,65	12,59	13,56	13,27	13,65	12,4	13,08	11,63	12,69	12,3	12,98	11,53	13,17	12,21	13,94	12,21	13,08	12,01	12,5	11,72	13,08	12,01	12,88	11,92	13,65	12,01	13,56	12,3	14,8
02.06.2020 14:00	13,94	11,33	14,42	13,27	14,33	14,04	14,42	13,08	13,85	12,01	13,37	12,88	13,65	11,92	13,85	12,79	14,61	12,79	13,75	12,59	13,17	12,21	13,75	12,5	13,56	12,5	14,33	12,5	14,33	12,98	15,57
02.06.2020 15:00	14,61	11,63	15,19	13,85	15,09	14,8	15,19	13,65	14,52	12,5	14,04	13,46	14,33	12,3	14,61	13,37	15,38	13,37	14,42	13,17	13,75	12,69	14,42	13,08	14,23	12,98	15,09	13,08	15	13,56	16,43
02.06.2020 16:00	15,09	12,01	15,86	14,52	15,66	15,38	15,76	14,13	15,09	12,98	14,61	14,04	14,9	12,79	15,19	13,94	15,95	13,94	15	13,65	14,33	13,17	15	13,65	14,9	13,56	15,66	13,65	15,57	14,04	16,9
02.06.2020 17:00	15,57	12,3	16,24	14,9	16,05	15,76	16,14	14,61	15,47	13,37	15,09	14,52	15,28	13,17	15,57	14,33	16,33	14,33	15,38	14,13	14,71	13,56	15,47	14,04	15,28	13,94	16,14	14,13	15,95	14,52	17,05
02.06.2020 18:00	15,47	12,59	16,14	15,09	15,95	15,66	15,95	14,8	15,57	13,65	15,28	14,8	15,38	13,46	15,57	14,61	16,24	14,61	15,47	14,33	14,8	13,85	15,47	14,33	15,38	14,23	15,95	14,33	15,86	14,71	16,43
02.06.2020 19:00	15,47	12,79	16,05	15,09	15,86	15,57	15,95	14,8	15,47	13,75	15,28	14,8	15,38	13,56	15,57	14,61	16,14	14,61	15,38	14,33	15	13,94	15,38	14,42	15,28	14,33	15,86	14,42	15,86	14,71	16,52
02.06.2020 20:00	15,28	12,88	15,76	15,09	15,66	15,38	15,66	14,8	15,38	13,85	15,28	14,9	15,28	13,65	15,47	14,61	15,86	14,71	15,28	14,42	14,9	14,04	15,28	14,52	15,19	14,33	15,66	14,52	15,57	14,71	15,95
02.06.2020 21:00	15	12,98	15,47	14,9	15,38	15,09	15,38	14,61	15,09	13,85	15,09	14,8	15	13,75	15,19	14,52	15,57	14,61	15,09	14,42	14,8	14,13	15	14,42	15	14,33	15,38	14,42	15,28	14,61	15,57
02.06.2020 22:00	14,8	13,08	15,19	14,71	15,09	14,9	15,09	14,52	14,8	13,85	14,9	14,61	14,8	13,65	15	14,42	15,28	14,52	14,9	14,23	14,61	14,04	14,8	14,33	14,8	14,23	15,09	14,33	15,09	14,52	15,28
02.06.2020 23:00	14,52	13,08	14,8	14,52	14,8	14,61	14,8	14,33	14,52	13,65	14,61	14,42	14,52	13,65	14,71	14,23	14,9	14,33	14,61	14,04	14,42	13,94	14,52	14,13	14,52	14,04	14,8	14,13	14,71	14,33	14,8
03.06.2020 0:00	14,33	13,08	14,52	14,23	14,42	14,33	14,42	14,13	14,23	13,56	14,33	14,23	14,33	13,56	14,42	14,04	14,52	14,13	14,33	13,85	14,13	13,85	14,23	14,04	14,23	13,85	14,42	13,94	14,42	14,13	14,52
03.06.2020 1:00	14,04	12,98	14,13	14,04	14,13	13,94	14,13	13,85	13,94	13,46	14,13	14,04	14,04	13,37	14,13	13,85	14,23	13,94	14,04	13,65	13,85	13,65	13,94	13,85	13,94	13,65	14,13	13,75	14,13	13,85	14,13
03.06.2020 2:00	13,75	12,98	13,94	13,85	13,85	13,75	13,94	13,65	13,65	13,27	13,85	13,85	13,85	13,27	13,94	13,65	13,94	13,75	13,85	13,46	13,65	13,56	13,75	13,65	13,75	13,56	13,94	13,56	13,94	13,65	13,94
03.06.2020 3:00	13,56	12,88	13,65	13,65	13,46	13,65	13,46	13,46	13,17	13,65	13,65	13,56	13,17	13,65	13,56	13,75	13,56	13,65	13,37	13,46	13,37	13,56	13,46	13,56	13,37	13,65	13,37	13,65	13,46	13,65	
03.06.2020 4:00	13,37	12,79	13,46	13,46	13,37	13,27	13,46	13,27	13,27	12,98	13,46	13,46	13,37	13,08	13,46	13,37	13,46	13,37	13,46	13,17	13,27	13,27	13,27	13,27	13,37	13,17	13,46	13,27	13,46	13,37	13,37
03.06.2020 5:00	13,08	12,69	13,17	13,17	13,17	12,98	13,17	13,08	12,98	12,88	13,27	13,27	13,17	12,88	13,17	13,17	13,17	13,17	13,17	12,98	13,08	13,08	13,08	13,17	13,08	13,08	13,17	13,08	13,17	13,17	13,08
03.06.2020 6:00	12,88	12,59	12,88	12,98	12,88	12,69	12,88	12,88	12,69	12,69	12,98	13,08	12,88	12,69	12,98	12,98	12,98	12,98	12,98	12,98	12,79	12,79	12,88	12,79	12,98	12,88	12,88	12,88	12,88	12,88	12,79
03.06.2020 7:00	12,69	12,5	12,69	12,79	12,69	12,5	12,69	12,69	12,5	12,59	12,79	12,88	12,69	12,59	12,79	12,79	12,69	12,79	12,69	12,59	12,59	12,69	12,59	12,69	12,59	12,59	12,69	12,69	12,69	12,69	12,69

Obrázek 34 Tabulka znázorňující 25 hodin, výřez dat od 2.6. 7:00 do 3.6. 7:00. Barevně jsou označeny teplotní extrém, červeně nejchladnější, a zeleně nejteplejší. Data jsou zde společně jak ve 3 cm, tak ve 13 cm.

## 3cm

	04_2	09_2	20_2	21_2	27_2	28_2	29_2	31_2	33_2	34_2	35_2	36_2	37_2	38_2	40_2
02.06.2020 13:00	13,27	13,65	13,56	13,65	13,08	12,69	12,98	13,17	13,94	13,08	12,5	13,08	12,88	13,65	13,56
02.06.2020 14:00	13,94	14,42	14,33	14,42	13,85	13,37	13,65	13,85	14,61	13,75	13,17	13,75	13,56	14,33	14,33
02.06.2020 15:00	14,61	15,19	15,09	15,19	14,52	14,04	14,33	14,61	15,38	14,42	13,75	14,42	14,23	15,09	15
02.06.2020 16:00	15,09	15,86	15,66	15,76	15,09	14,61	14,9	15,19	15,95	15	14,33	15	14,9	15,66	15,57
02.06.2020 17:00	15,57	16,24	16,05	16,14	15,47	15,09	15,28	15,57	16,33	15,38	14,71	15,47	15,28	16,14	15,95
02.06.2020 18:00	15,47	16,14	15,95	15,95	15,57	15,28	15,38	15,57	16,24	15,47	14,8	15,47	15,38	15,95	15,86
02.06.2020 19:00	15,47	16,05	15,86	15,95	15,47	15,28	15,38	15,57	16,14	15,38	15	15,38	15,28	15,86	15,86
02.06.2020 20:00	15,28	15,76	15,66	15,66	15,38	15,28	15,28	15,47	15,86	15,28	14,9	15,28	15,19	15,66	15,57
02.06.2020 21:00	15	15,47	15,38	15,38	15,09	15,09	15	15,19	15,57	15,09	14,8	15	15	15,38	15,28
02.06.2020 22:00	14,8	15,19	15,09	15,09	14,8	14,9	14,8	15	15,28	14,9	14,61	14,8	14,8	15,09	15,09
02.06.2020 23:00	14,52	14,8	14,8	14,8	14,52	14,61	14,52	14,71	14,9	14,61	14,42	14,52	14,52	14,8	14,71
03.06.2020 0:00	14,33	14,52	14,42	14,42	14,23	14,33	14,33	14,42	14,52	14,33	14,13	14,23	14,23	14,42	14,42
03.06.2020 1:00	14,04	14,13	14,13	14,13	13,94	14,13	14,04	14,13	14,23	14,04	13,85	13,94	13,94	14,13	14,13
03.06.2020 2:00	13,75	13,94	13,85	13,94	13,65	13,85	13,85	13,94	13,94	13,85	13,65	13,75	13,75	13,94	13,94

Obrázek 35 Tabulka znázorňující 14 hodin, výřez dat od 2.6. 13:00 do 3.6. 2:00. Barevně jsou označeny teplotní extrém, červeně nejchladnější, a zeleně nejteplejší.

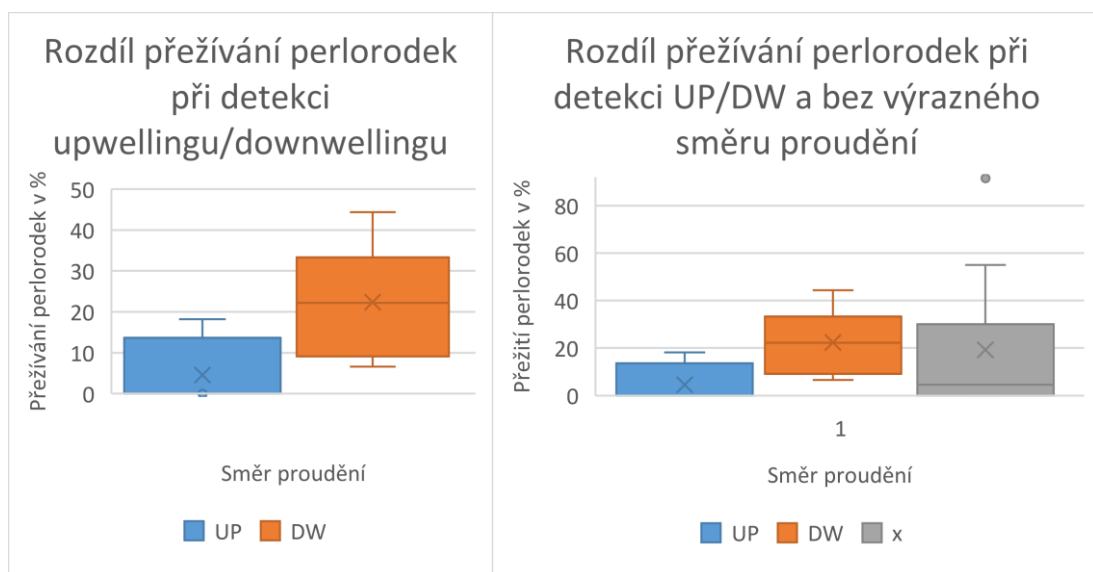
## 13 cm

	04_3	09_3	20_3	21_3	27_3	28_3	29_3	31_3	33_3	34_3	35_3	36_3	37_3	38_3	40_3
02.06.2020 13:00	11,14	12,59	13,27	12,4	11,63	12,3	11,53	12,21	12,21	12,01	11,72	12,01	11,92	12,01	12,3
02.06.2020 14:00	11,33	13,27	14,04	13,08	12,01	12,88	11,92	12,79	12,79	12,59	12,21	12,5	12,5	12,5	12,98
02.06.2020 15:00	11,63	13,85	14,8	13,65	12,5	13,46	12,3	13,37	13,37	13,17	12,69	13,08	12,98	13,08	13,56
02.06.2020 16:00	12,01	14,52	15,38	14,13	12,98	14,04	12,79	13,94	13,94	13,65	13,17	13,65	13,56	13,65	14,04
02.06.2020 17:00	12,3	14,9	15,76	14,61	13,37	14,52	13,17	14,33	14,33	14,13	13,56	14,04	13,94	14,13	14,52
02.06.2020 18:00	12,59	15,09	15,66	14,8	13,65	14,8	13,46	14,61	14,61	14,33	13,85	14,33	14,23	14,33	14,71
02.06.2020 19:00	12,79	15,09	15,57	14,8	13,75	14,8	13,56	14,61	14,61	14,33	13,94	14,42	14,33	14,42	14,71
02.06.2020 20:00	12,88	15,09	15,38	14,8	13,85	14,9	13,65	14,61	14,71	14,42	14,04	14,52	14,33	14,52	14,71
02.06.2020 21:00	12,98	14,9	15,09	14,61	13,85	14,8	13,75	14,52	14,61	14,42	14,13	14,42	14,33	14,42	14,61
02.06.2020 22:00	13,08	14,71	14,9	14,52	13,85	14,61	13,65	14,42	14,52	14,23	14,04	14,33	14,23	14,33	14,52
02.06.2020 23:00	13,08	14,52	14,61	14,33	13,65	14,42	13,65	14,23	14,33	14,04	13,94	14,13	14,04	14,13	14,33
03.06.2020 0:00	13,08	14,23	14,33	14,13	13,56	14,23	13,56	14,04	14,13	13,85	13,85	14,04	13,85	13,94	14,13
03.06.2020 1:00	12,98	14,04	13,94	13,85	13,46	14,04	13,37	13,85	13,94	13,65	13,65	13,85	13,65	13,75	13,85
03.06.2020 2:00	12,98	13,85	13,75	13,65	13,27	13,85	13,27	13,65	13,75	13,46	13,56	13,65	13,56	13,56	13,65

Obrázek 36 Tabulka znázorňující 14 hodin, výřez dat od 2.6. 13:00 do 3.6. 2:00. Barevně jsou označeny teplotní extrém, červeně nejchladnější, a zeleně nejteplejší.

## 5.4 Přežívání perlorodek

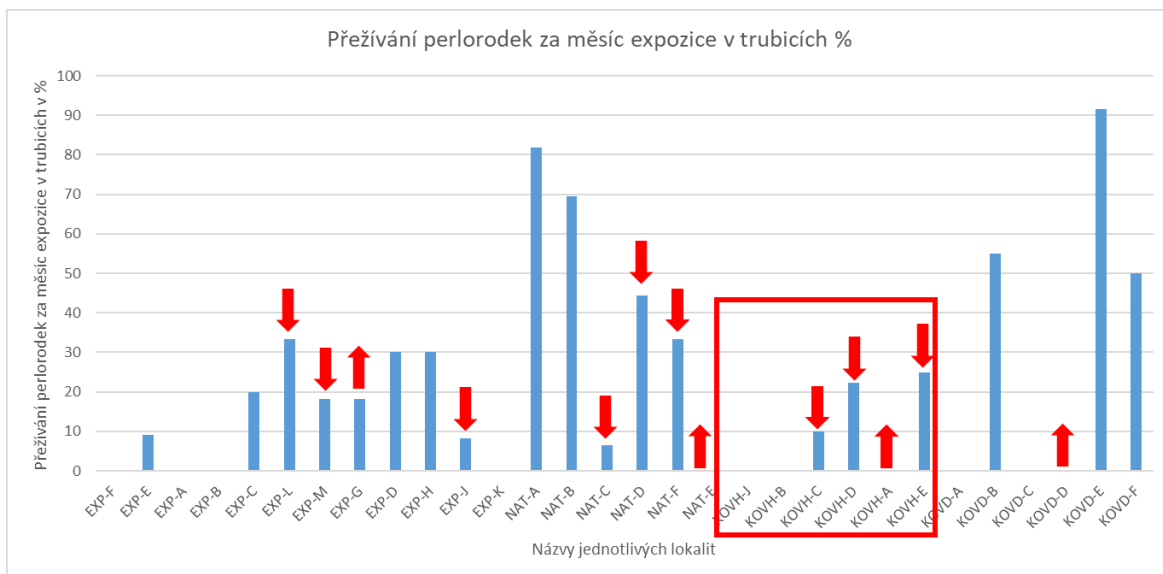
Přežívání perlorodek je vyhodnoceno za rok 2020 ve vztahu ke zkoumaným lokalitám na Teplé Vltavě. Je výrazný rozdíl mezi přežíváním perlorodek v místě upwellingu a downwellingu - Obrázek 37, kdy u upwellingu, přežily perlorodky pouze na jedné lokalitě. Procentuální přežití perlorodek za měsíc expozice v experimentálních trubicích se lišil dle proudění. U upwellingu přežila pouze **4,6 %** všech vysazených perlorodek, pokud zde nebyl detekován výrazný směr proudění, přežilo **15,9 %** perlorodek a největší míra přežití perlorodek byla v místě downwellingu **25,2 %** viz. Obrázek 38.



Obrázek 37 Rozdíl mezi přežíváním perlorodek pouze mezi upwellingem a downwellingem na zkoumaných lokalitách Teplé Vltavy 2020. Na levé straně

Obrázek 38 Rozdíl mezi přežíváním perlorodek pouze mezi upwellingem, downwellingem a bez výrazného směru proudění na zkoumaných lokalitách Teplé Vltavy 2020. Na pravé straně

Obrázek 39 demonstruje graf přežívání perlorodek na jednotlivých lokalitách, KOVH je lokalita, na které se vyskytoval zkoumaný transekt. Šipkou je vždy značen směr proudění. Na místě, kde byl downwelling, nikdy nebyla stoprocentní úmrtnost perlorodek, vždy tam přežila alespoň část populace. Průměrně nejvíce perlorodek přežilo na místě s downwellingem a to **25,2 %**. Pouze na jedné lokalitě, kde se vyskytoval upwelling perlorodky přežily. Více než polovina míst (53,57 % všech lokalit – bez šipky) měla pouze malou výměnu vody mezi mělkým hyporeálem a volnou vodou a je určeno, že zde není výrazný směr proudění. Downwelling byl na 32,14 % míst, zatím co upwelling byl pouze na 14,29 % míst a dvě lokality byly z měření vyřazeny kvůli chybě v měření (NAT-A a NAT-B).



Obrázek 39 Procentuální ukázka přežití perlrodek na jednotlivých lokalitách v závislosti na směru proudění. Šipka nahoru značí lokalitu s upwellingem a šipka dolu lokalitu s downwellingem. Bez šipky jsou označeny lokality bez význačného směru proudění. Lokalita NAT-A měla ke konci expozice nestabilní bod s přepínáním upwellingu a downwellingu, Lokalita NAT-B vykazovala chybu v měření, měla systematicky vyšší reálné teploty měření, chyba teploměru. Lokalita KOVH-A měla konec expozice po povodni. Červeným čtvercem je označena mnou zkoumaná pod lokalita. Na místech bez šipky nebyl výrazný směr proudění.

#### 5.4.1 Shrnutí

Celkově výsledky bioindikací ukázaly velmi nepříznivé hodnoty přežívání perlrodek (s pouhými třemi výjimkami) a zcela nedostatečný růst (všechny instalace). Přesto se ukázal výrazný rozdíl v přežívání mezi downwellingem a upwellingem. Počet zaznamenaných případů upwellingu byl však celkově nízký a bylo by potřeba získat rozsáhlejší data.

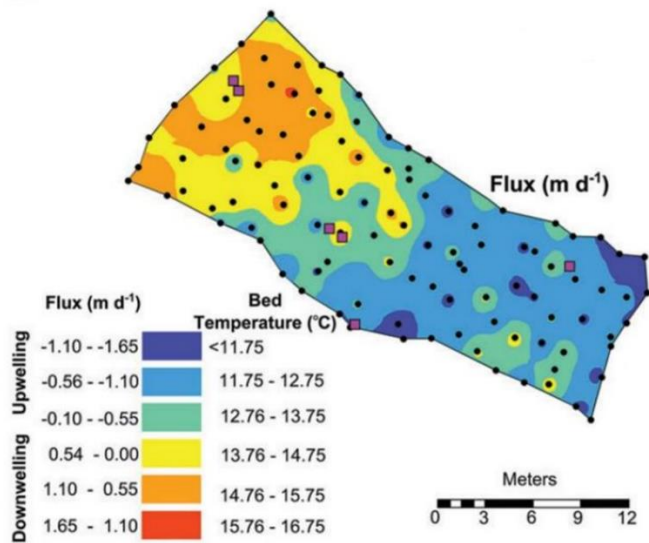
## 6 Diskuse

### 6.1 Přesnost měření

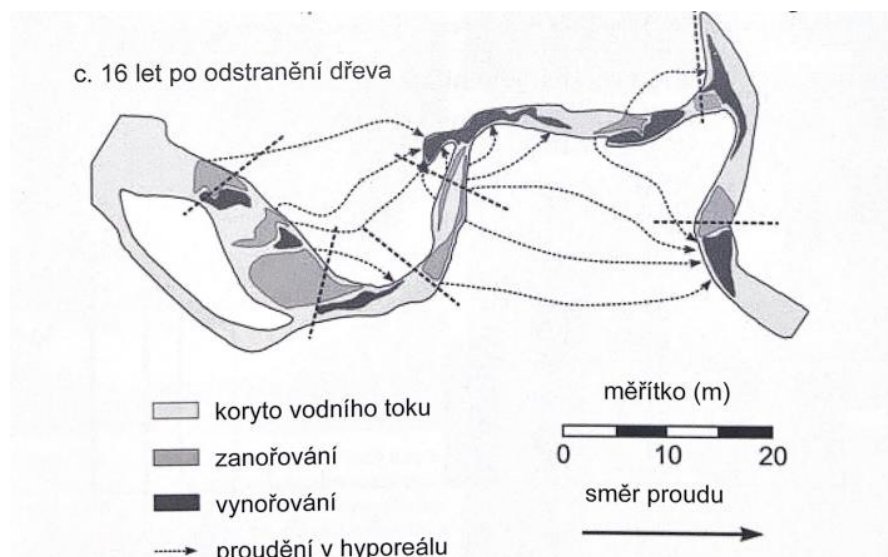
Přesnost měření v případě volné vody mohla být ovlivněna slunečním zářením na teploměry a následným zahřátím. Proto byl vždy vybrán takový teploměr, na který po celou dobu dopadalo světlo a zároveň, aby se jednalo o lokalitu, která se nalézá podle míry osvitu ve stínu. Na základě zkoumání přesnosti měření jednotlivých teploměrů jsem došel k závěru, že odchylka daná výrobcem (+, -0,5 °C) je větší než skutečně měřená odchylka v praxi (+, -0,2 °C). Srovnání jednotlivých teploměrů probíhalo v nočních hodinách bez osvitu slunečního záření (22–5 h) a jednalo se o teploměry nacházející se ve volné vodě.

### 6.2 Metodika měření

Irvine (Irvine et al., 2017) se ve své práci zabývá též zanořování a vynořování vody do říčního dna (upwelling a downwelling) viz. Obrázek 40. Rozlišuje všechny místa jako upwelling a downwelling a žádná místa neoznačuje bez význačného proudění (Irvine et al., 2017). Toto pojetí je diskutabilní. Chtělo by to určit přesná pravidla pro lepší následnou interpretaci výsledků, aby všichni měli stejnou metodiku. Rozdíl mnou měřenými daty a daty od Irvine je způsob měření. Irvine měřil jeden den data na různých částech řeky, zatímco má data obsahovala i časovou informaci za každou hodinu po dobu třech měsíců. Obrázek 41 dobře dokumentuje, že v řece převažují místa bez výrazného proudění (Wondzell et al., 2009) a jednotlivé zóny dna jsou nepravidelně rozmístěny. Nejedná se tedy obvykle o nějakou jednoduchou sekvenci zanořování v peřejích a vynořování v tůních, jak naznačují schematické obecné obrázky proudění v hyporeálu (Boulton et al., 1998) Výrazné a kontrastní výsledky práce (Irvine et al., 2017) mohou být způsobeny např. tím že záměrně vybral místo, které je na přelomu zóny zanořování a vynořování ze dna.



Obrázek 40 Schéma říčního dna, černě bylo prováděno bodové měření v určitý čas v hloubce 5 cm. Barvou je rozlišeno, jestli se jedná o upwelling nebo downwelling. Zdroj: (Irvine et al., 2017)



Obrázek 41 Variabilita prostředí hyporeálu. Detailní mapování na malé řece (koryto je šedě) publikované (Wondzell et al., 2009) ukazuje na pestrost a časovou proměnlivost zón se zanořováním vody do hyporeálu (tzv. downwelling) a jejího následného vynořování (upwelling), zde umocněnou vyjmutím kmenů a dalšího mrtvého dřeva ze dna. Voda může drenovat i napříč meandry. zdroj: (Wondzell et al., 2009)

### 6.3 Využití extrémů k určení směru proudění

Podstatnou otázkou je, zda je lepší použití maxima nebo posun maxima v čase oproti volné vodě pro detekci směru proudění?

Vhodnou metodou pro určení směru proudění se ukázalo použití posunu maxima teploty v mikrohabitatu dna oproti maximu teploty ve volné vodě. Pokud tento posun byl minimální (žádný), tak se s velkou pravděpodobností jedná o downwelling a pokud

je posun maxima v řádů hodin, tak se jedná pravděpodobně o upwelling (záleží na časovém rozpětí). Více se jev upwellingu projevil v lokalitách, které byly v hloubce 13 cm. Downwelling je často viditelný už na lokalitách ve 3 cm. Pouhé použití maxima nebo průměrných teplot (Irvine et al., 2017), by však nestačilo k určení směru proudění.

#### **6.4 Přežívání perlorodek**

V roce 2020 byl u všech instalací umělého odchovu perlorodek jejich růst pouze minimální a na většině lokalit byla obrovská úmrtnost, často i 100 %. Vybírali se přitom předem vytipované lokality, které by mohly být pro perlorodku vhodným stanovištěm. Jako jedno z možných vysvětlení celkově nízkého fitness perlorodek v roce 2020 se nabízí potenciální toxicita kovové síťoviny (Pithart a kol. 2023) což však nepostihlo 100 % instalací.

Podle výsledků přežívání perlorodek se ukázal i ve velmi nepříznivém roce velký rozdíl v přežívání mezi upwellingem a downwellingem a jeví se to jako důležitý faktor pro správný výběr lokality pro perlorodku. Na lokalitách, kde se nacházel downwelling nikdy nebyla 100% úmrtnost jako na lokalitě s upwellingem nebo bez výrazného směru proudění, jako zajímavá se jeví zkoumaná lokalita, kde perlorodky přežily pouze na místě s downwellingem.

Je obrovské množství faktorů, které potřebuje perlorodka říční ke svému životu a směr proudění v říčním dně, kterým se tato práce zabývá je pouze jedním z nich. Dodnes nejsou přesně známy všechny náležitosti spojené s přežitím tohoto živočicha a jeho celoevropským vymíráním (Ferreira-Rodríguez et al. 2019). Dalšími faktory, na které by bylo potřeba se zaměřit je: eutrofizace, chemické složení vod, eroze a sedimentace v tocích, nevhodný průběh teplotní křivky, nevyrovnaný vodní režim, narušení vápníkového metabolismu a nedostatek vhodných hostitelských ryb (Agentura ochrany přírody a krajiny České republiky: Záchranné programy, n.d.).

## 6.5 Fyzikálně-chemické faktory v závislosti na směru proudění

Intenzita proudění mezi volnou vodou a vodou mezi zrnky hyporeálového sedimentu má zásadní vliv na fyzikálně chemické vlastnosti vody pod dnem. Zanořující se voda přináší kyslík, řasy i drobné částičky detritu oproti tomu vynořující se voda bývá bohatá na živiny jako je amoniak a může mít jen málo kyslíku (Franken et al., 2001; Hauer & Lamberti, 2007). Naše vlastní výsledky ukázaly lepší přežívání v místech zanořování vody, což lze nejlépe vysvětlit dostatečným prouděním a větším množstvím kyslíku. Koncentrace kyslíku v místech podélného transektu hyporeálem Teplé Vltavy vyhodnocoval v diplomové práci Maxa (2022). Jeho výsledky ukazují na malé okysličení kyslíkem (30 %) právě v místech upwellingu a velké okysličení na místech downwellingu (94 %). Jako ideální by bylo okysličení měřit kontinuálně a sledovat, jak se okysličení mění v čase. Měření tohoto typu by bylo zajímavé propojit s daty z teplotních čidel a dostat tím zase o něco ucelenější výsledky s větší výpovědní hodnotou.

Pravděpodobnou příčinou nesouladu mezi kontinuálními daty a jednorázově měřeným kyslíkem může být rychlé diurnální kolísání koncentrací kyslíku a data se proto „nepotkají“. To by se dalo vyřešit časovým rozlišením, měřením kyslíku několikrát za den se zahrnutím sezónní variability. Ideálně spojit jednorázové měření s kontinuálními daty.

Jak zdůrazňuje Marmonier et al (2023), záleží také na tom, jak dlouho byla voda v hyporeálu, než se vynořila upwellingem. Krátký čas pode dnem příliš nezmění fyzikálně-chemické faktory, jen se diurnální změny opozdí. U našich případů upwellingu lze předpokládat spíše krátké zdržení vody pode dnem, neboť denní kolísání teplot bylo výrazné, jen opožděné oproti volné vodě. Jak ukazuje Obrázek 39, v přejatých datech juvenilní perlorodky přežívaly v místech s vystupující vodou jen výjimečně (místo EXP-G). Patrně tedy i krátká doba pode dnem vedla k vyčerpání kyslíku nebo mohlo dojít k nárůstu množství jedovatého amoniaku.

Ukazuje se tak, že velmi těsné propojení mezi hyporeálovou vodou a volnou vodou v řece (Geist and Auerswald 2007) je pro úspěšné přežívání perlorodek zásadní. Fyzikálně-chemické parametry by tam měly být co nejbližší vodě tekoucí přímo v řece nade dnem, jako tomu bylo v našem měrném bodě 33\_2 (obr. 34).



Obecně se také naše výsledky mohou lišit od literatury (např. Franken et al., 2001) z toho důvodu, že jsme se zabývali jen velmi mělkou částí hyporeálu do 13 cm, zatímco jiní autoři sledovali vrstvy až do více než 1 m. Vzhledem k tomu, že juvenilní perlodky, pokud se mohou volně pohybovat byly nalezeny nejčastěji 3 cm pod povrchem (Bílý et al. 2018; Bílý et al. 2021), hlubší horizonty nebyly měřeny. Lze v nich ale předpokládat výskyt vody s výrazně jinými fyzikálně-chemickými parametry než těsně u povrchu.

## 7 Závěr a přínos práce

V této práci jsem se věnoval detekci směru proudění v hyporeálu na základě kontinuálního měření teploty vody. Zpracovával jsem data nasbíraná v roce 2020 (květen až srpen) z transektu čtyřiceti teploměrů s rozestupy po padesáti centimetrech. Byly použity automatické sondy HOBO Pendant s nastaveným hodinovým měřením teploty a osvitů ve třech hloubkových profilech (3 cm a 13 cm pode dnem a ve volné vodě). Měření je unikátní v časové délce třech měsíců, díky kterým jsme získali komplexní data o změnách teplot hyporeálu (jarní a letní aspekt). I přes v práci prezentované různé možnosti interpretace dat nebyly vyčerpány všechny informace, která data demonstrují a mohou být podrobeny dalšímu zkoumání.

Práce došla k několika výsledkům, které by mohly být dále v budoucnu využity k praktickým účelům v Národním parku Šumava na Teplé Vltavě, ale i kdekoliv jinde, kde je snaha zachránit nebo navrátit populaci perlorodky říční. Důležitým zjištěním je, že se v průběhu času (třech měsíců) neměnil směr proudění v řece, a tudíž by mohly být využity lokality, kde se nacházel downwelling přinášející do dna vodu bohatou na kyslík k vysazení juvenilních perlorodek. Právě downwelling se ukázal jako nejvhodnější místo pro přežívání juvenilních perlorodek říčních na základě dat sesbíraných v Teplé Vltavě v roce 2020. Extrémy denního chodu teploty (společně s funkcí s doplňkovou funkcí osvitů) posloužily jako hlavní ukazatel směru proudění. Vyhodnocení dat se zaměřuje na několik forem zobrazení a interpretaci výsledků. Během zpracování dat byly nalezeny jak lokality se silným downwellingem (lokalita 33) a se silným upwellingem (lokalita 4).

Výsledek práce může napomoci k lepšímu pochopení významu směru proudění v hyporeálu a jeho vlivu na fyzikálně-chemické faktory jako je teplota, rychlost tepelné výměny, osvit a obsah rozpuštěného kyslíku, může být využit v praxi při záchranných programech pro perlorodku říční pro hledání míst k vysazení odchovaných juvenilních jedinců.

## 8 Přehled literatury a použitých zdrojů

Agentura ochrany přírody a krajiny České republiky: Záchranné programy. *Příčiny ohrožení: Perlorodka říční (Margaritifera margaritifera)*. zachranneprogramy.cz. Retrieved 2024-03-25, from <https://www.zachranneprogramy.cz/perlorodka-ricni/priciny-ohrozeni/>

Arntzen, E., Geist, D., & Dresel, P. (2006). Effects of fluctuating river flow on groundwater/surface water mixing in the hyporheic zone of a regulated, large cobble bed river. *River Research and Applications*, 22(8), 937-946. <https://doi.org/10.1002/rra.947>

Baldan, D., Kiesel, J., Hauer, C., Jähnig, S., & Hein, T. (2021). Increased sediment deposition triggered by climate change impacts freshwater pearl mussel habitats and metapopulations. *Journal of Applied Ecology*, 58(9), 1933-1944. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13940>

Bauer, G. (1987). Reproductive Strategy of the Freshwater Pearl Mussel *Margaritifera margaritifera*. *The Journal of Animal Ecology*, 56(2). <https://doi.org/10.2307/5077>

Bauer, G. (1988). Threats to the freshwater pearl mussel *Margaritifera margaritifera* L. in Central Europe. *Biological Conservation*, 45(4), 239-253. [https://doi.org/10.1016/0006-3207\(88\)90056-0](https://doi.org/10.1016/0006-3207(88)90056-0)

Bílý, M., Němčíková, S., Simon, O., Douda, K., Barák, V., & Dort, B. (2018). Bioindication Testing of Stream Environment Suitability for Young Freshwater Pearl Mussels Using emIn Situ/em Exposure Methods. *Journal of Visualized Experiments*, (139), 139. <https://doi.org/10.3791/57446>

Bílý, M., Simon, O., Barák, V., & Jahelková, V. (2021). Occurrence depth of juvenile freshwater pearl mussels (*Margaritifera margaritifera*) in a river bed tested by experimental mesh tubes. *Hydrobiologia*, 848(12-13), 3127-3139. <https://doi.org/10.1007/s10750-020-04298-8>

Bílý, M., Simon, O., & Rulík, M. (2022). Hyporeální zóna – neviditelná součást řeky. *Živa*, 2022(5), 258-260.

- Bloomer, J., Sear, D., Dutey-Magni, P., & Kemp, P. (2016). The effects of oxygen depletion due to upwelling groundwater on the posthatch fitness of Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 73(12), 1830-1840. <https://doi.org/10.1139/cjfas-2016-0189>
- Boulton, A. (2020). Editorial: Conservation of groundwaters and their dependent ecosystems. In *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* (vol. 30, pp. 1-7). <https://doi.org/10.1002/aqc.3268>
- Boulton, A., Datry, T., Kasahara, T., Mutz, M., & Stanford, J. (2010). Ecology and management of the hyporheic zone: stream-groundwater interactions of running waters and their floodplains. *Journal of the North American Benthological Society*, 29(1), 26-40. <https://doi.org/10.1899/08-017.1>
- Boulton, A., Findlay, S., Marmonier, P., Stanley, E., & Valett, H. (1998). The Functional Significance of the Hyporheic Zone in Streams and Rivers. 59–81., (29), 59–81. <http://www.jstor.org/stable/221702>.
- Braun, A., Auerswald, K., Geist, J., & Slomp, C. (2012). Drivers and Spatio-Temporal Extent of Hyporheic Patch Variation: Implications for Sampling. *PLoS ONE*, 7(7). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0042046>
- Cardenas, M. (2015). Hyporheic zone hydrologic science: A historical account of its emergence and a prospectus. *Water Resources Research*, 51(5), 3601-3616. <https://doi.org/10.1002/2015WR017028>
- Carrick, T. (1979). The effect of acid water on the hatching of salmonid eggs. *Journal of Fish Biology*, 14(2), 165-172. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.1979.tb03506.x>
- Cunjak, R., & McGladdery, S. (1991). The parasite-host relationship of glochidia (Mollusca: Margaritiferidae) on the gills of young-of-the-year Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Canadian Journal of Zoology*, 69(2), 353-358. <https://doi.org/10.1139/z91-055>
- Degelmann, W. (2021). Život perlorodek - dokument.
- Del Rosario, R., & Resh, V. (2000). Invertebrates in intermittent and perennial streams: is the hyporheic zone a refuge from drying?. *Journal of the North American Benthological Society*, 19(4), 680-696. <https://doi.org/10.2307/1468126>

- Denic, M., & Geist, J. (2015). Linking Stream Sediment Deposition and Aquatic Habitat Quality in Pearl Mussel Streams: Implications for Conservation. *River Research and Applications*, 31(8), 943-952. <https://doi.org/10.1002/rra.2794>
- Denic, M., Taeubert, J., Lange, M., Thielen, F., Scheder, C., Gumpinger, C., & Geist, J. (2015). Influence of stock origin and environmental conditions on the survival and growth of juvenile freshwater pearl mussels (*Margaritifera margaritifera*) in a cross-exposure experiment. *Limnologica*, 50, 67-74. <https://doi.org/10.1016/j.limno.2014.07.005>
- DeVries, P. (1997). Riverine salmonid egg burial depths: review of published data and implications for scour studies. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 54(8), 1685-1698. <https://doi.org/10.1139/f97-090>
- DOLE-OLIVIER, M., MARMONIER, P., & BEFFY, J. (2003). Response of invertebrates to lotic disturbance: is the hyporheic zone a patchy refugium?. *Freshwater Biology*, 37(2), 257-276. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2427.1997.00140.x>
- Duan, N., Song, J., Mao, H., Sun, H., & Huang, P. (2022). Environmental context mediates the interaction between fine sediment and hyporheic macroinvertebrate. *Ecohydrology*, 15(2). <https://doi.org/10.1002/eco.2392>
- Duis, K., & Oberemm, A. (2000). Sensitivity of early life stages of vendace, *Coregonus albula*, to acid pH in postmining lakes: An experimental approach. *Environmental Toxicology*, 15(3), 214 - 224. [https://doi.org/10.1002/1522-7278\(2000\)15:3<214::AID-TOX6>3.0.CO;2-M](https://doi.org/10.1002/1522-7278(2000)15:3<214::AID-TOX6>3.0.CO;2-M)
- Finn, R. (2007). The physiology and toxicology of salmonid eggs and larvae in relation to water quality criteria. *Aquatic Toxicology*, 81(4), 337-354. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2006.12.021>
- Fleckenstein, J., Krause, S., Hannah, D., & Boano, F. (2010). Groundwater-surface water interactions: New methods and models to improve understanding of processes and dynamics. *Advances in Water Resources*, 33(11), 1291-1295. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2010.09.011>

- Franken, R., Storey, R., & Dudley Williams, D. (2001). Biological, chemical and physical characteristics of downwelling and upwelling zones in the hyporheic zone of a north-temperate stream. *Hydrobiologia*, 444(13), 183-195. <https://doi.org/10.1023/A:1017598005228>
- Galová, M. (2017). *Hodnocení habitatů a bioindikačních vlastností perlířodky říční ve Vltavském luhu s využitím juvenilních jedinců* [Diplomová práce]. Univerzita Palackého Olomouc.
- Geist, J. (2010). Strategies for the conservation of endangered freshwater pearl mussels (*Margaritifera margaritifera* L.): a synthesis of Conservation Genetics and Ecology. *Hydrobiologia*, 644(1), 69-88. <https://doi.org/10.1007/s10750-010-0190-2>
- GEIST, J., & AUERSWALD, K. (2007). Physicochemical stream bed characteristics and recruitment of the freshwater pearl mussel (*Margaritifera margaritifera*). *Freshwater Biology*, 52(12), 2299-2316. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2007.01812.x>
- Gillis, P., McInnis, R., Salerno, J., de Solla, S., Servos, M., & Leonard, E. (2017). Municipal wastewater treatment plant effluent-induced effects on freshwater mussel populations and the role of mussel refugia in recolonizing an extirpated reach. *Environmental Pollution*, 225, 460-468. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.03.010>
- Gooseff, M. (2010). Defining Hyporheic Zones - Advancing Our Conceptual and Operational Definitions of Where Stream Water and Groundwater Meet. *Geography Compass*, 4(8), 945-955. <https://doi.org/10.1111/j.1749-8198.2010.00364.x>
- Greig, S., Sear, D., & Carling, P. (2007). A review of factors influencing the availability of dissolved oxygen to incubating salmonid embryos. *Hydrological Processes*, 21(3), 323-334. <https://doi.org/10.1002/hyp.6188>
- Hancock, P. (2002). Human Impacts on the Stream-Groundwater Exchange Zone. *Environmental Management*, 29(6), 763-781. <https://doi.org/10.1007/s00267-001-0064-5>
- Hastie, L., Boon, P., & Young, M. (2000). *Hydrobiologia*, 429(13), 59-71. <https://doi.org/10.1023/A:1004068412666>

- Hauer, F., & Lamberti, G. (eds.). (2007). *Methods in Stream Ecology* (Second Edition). Elsevier Inc.
- Hayashi, M., & Rosenberry, D. (2002). Effects of Ground Water Exchange on the Hydrology and Ecology of Surface Water. *Ground Water*, 40(3), 309-316. <https://doi.org/10.1111/j.1745-6584.2002.tb02659.x>
- Hyvärinen, H., Saarinen-Valta, M., Mäenpää, E., & Taskinen, J. (2021). Effect of substrate particle size on burrowing of the juvenile freshwater pearl mussel *Margaritifera margaritifera*. *Hydrobiologia*, 848(5), 1137-1146. <https://doi.org/10.1007/s10750-021-04522-z>
- Irvine, D., Briggs, M., Lautz, L., Gordon, R., McKenzie, J., & Cartwright, I. (2017). Using Diurnal Temperature Signals to Infer Vertical Groundwater-Surface Water Exchange. *Groundwater*, 55(1), 10-26. <https://doi.org/10.1111/gwat.12459>
- Junker, J., Heimann, F., Hauer, C., Turowski, J., Rickenmann, D., Zappa, M., & Peter, A. (2015). Assessing the impact of climate change on brown trout (*Salmo trutta fario*) recruitment. *Hydrobiologia*, 751(1), 1-21. <https://doi.org/10.1007/s10750-014-2073-4>
- Kim, H., Kaown, D., Mayer, B., Lee, J., & Lee, K. (2018). Combining pyrosequencing and isotopic approaches to assess denitrification in a hyporheic zone. *Science of The Total Environment*, 631-632, 755-764. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.03.073>
- Kim, H., & Lee, K. (2019). Effect of vertical flow exchange on microbial community distributions in hyporheic zones. *Episodes*, 42(1), 1-16. <https://doi.org/10.18814/epiiugs/2019/019001>
- Lavictoire, L., Moorkens, E., Ramsey, A., Sinclair, W., & Sweeting, R. (2016). Effects of substrate size and cleaning regime on growth and survival of captive-bred juvenile freshwater pearl mussels, *Margaritifera margaritifera* (Linnaeus, 1758). *Hydrobiologia*, 766(1), 89-102. <https://doi.org/10.1007/s10750-015-2445-4>
- Leigh, C., Stubbington, R., Sheldon, F., & Boulton, A. (2013). Hyporheic invertebrates as bioindicators of ecological health in temporary rivers: A meta-analysis. *Ecological Indicators*, 32, 62-73. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2013.03.006>

Lewandowski, J., Arnon, S., Banks, E., Batelaan, O., Betterle, A., Broecker, T., Coll, C., Drummond, J., Gaona Garcia, J., Galloway, J., Gomez-Velez, J., Grabowski, R., Herzog, S., Hinkelmann, R., Höhne, A., Hollender, J., Horn, M., Jaeger, A., Krause, S. et al. (2019). Is the Hyporheic Zone Relevant beyond the Scientific Community?. *Water*, *11*(11). <https://doi.org/10.3390/w11112230>

Lewandowski, J., Meinikmann, K., & Krause, S. (2020). Groundwater–Surface Water Interactions: Recent Advances and Interdisciplinary Challenges. *Water*, *12*(1), 7. <https://doi.org/10.3390/w12010296>

Lopes-Lima, M., Sousa, R., Geist, J., Aldridge, D., Araujo, R., Bergengren, J., Bernal, Y., Bódis, E., Burlakova, L., Van Damme, D., Douda, K., Froufe, E., Georgiev, D., Gumpinger, C., Karatayev, A., Kebapçi, Ü., Killeen, I., Lajtner, J., Larsen, B. et al. (2017). Conservation status of freshwater mussels in Europe: state of the art and future challenges. *Biological Reviews*, *92*(1), 572-607. <https://doi.org/10.1111/brv.12244>

Maazouzi, C., Galassi, D., Claret, C., Cellot, B., Fiers, F., Martin, D., Marmonier, P., & Dole-Olivier, M. (2017). Do benthic invertebrates use hyporheic refuges during streambed drying? A manipulative field experiment in nested hyporheic flowpaths. *Ecohydrology*, *10*(6). <https://doi.org/10.1002/eco.1865>

Malcolm, I., Soulsby, C., Youngson, A., Hannah, D., McLaren, I., & Thorne, A. (2004). Hydrological influences on hyporheic water quality: implications for salmon egg survival. *Hydrological Processes*, *18*(9), 1543-1560. <https://doi.org/10.1002/hyp.1405>

Marek, P., & Musil, J. (2018). Masarykovo zdymadlo Střekov – migrační bariéra i po roce 2020?. *Ochrana přírody*, (4), 10-13.

Marmonier, P., Galassi, D., Korb, K., Close, M., Datry, T., & Karwautz, C. (2023). Groundwater biodiversity and constraints to biological distribution. *Groundwater Ecology and Evolution*, 113-140. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819119-4.00003-2>

Marwaha, J., Jakobsen, P., Karlsson, S., Larsen, B., & Wacker, S. (2021). Higher mortality of the less suitable brown trout host compared to the principal Atlantic



salmon host when infested with freshwater pearl mussel (*Margaritifera margaritifera*) glochidia. *Parasitology Research*, 120(7), 2401-2413. <https://doi.org/10.1007/s00436-021-07145-4>

Mathers, K., Robinson, C., & Weber, C. (2021). Artificial flood reduces fine sediment clogging enhancing hyporheic zone physicochemistry and accessibility for macroinvertebrates. *Ecological Solutions and Evidence*, 2(4). <https://doi.org/10.1002/2688-8319.12103>

Merill, L., & Tonjes, D. (2014). A Review of the Hyporheic Zone, Stream Restoration, and Means to Enhance Denitrification. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 44(21), 2337-2379. <https://doi.org/10.1080/10643389.2013.829769>

Milner, V., Jones, J., Maddock, I., & Bunting, G. (2022). The hyporheic zone as an invertebrate refuge during a fine sediment disturbance event. *Ecohydrology*, 15(6). <https://doi.org/10.1002/eco.2450>

Montgomery, D., Buffington, J., Peterson, N., Schuett-Hames, D., & Quinn, T. (1996). Stream-bed scour, egg burial depths, and the influence of salmonid spawning on bed surface mobility and embryo survival. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 53(5), 1061-1070. <https://doi.org/10.1139/f96-028>

Piatka, D., Wild, R., Hartmann, J., Kaule, R., Kaule, L., Gilfedder, B., Peiffer, S., Geist, J., Beierkuhnlein, C., & Barth, J. (2021). Transfer and transformations of oxygen in rivers as catchment reflectors of continental landscapes: A review. *Earth-Science Reviews*, 220. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2021.103729>

Pithart, D. (ed.). (2023). Závěrečná projektová zpráva: Posílení a ochrana populace perlorodky říční v NP Šumava, 2018–2022. – NP Šumava, Vimperk.

Rahman, M., Negishi, J., Alam, M., Yiyang, G., Tolod, J., & Pongsivapai, P. (2021). Lateral and longitudinal flight dispersals of a stonefly, *Alloperla ishikariana* (Plecoptera, Chloroperlidae), from the hyporheic zone in a gravel-bed river in Japan. *Limnologica*, 89. <https://doi.org/10.1016/j.limno.2021.125886>

Robertson, A., Perkins, D., England, J., & Johns, T. (2021). Invertebrate Responses to Restoration across Benthic and Hyporheic Stream Compartments. *Water*, 13(7). <https://doi.org/10.3390/w13070996>

- Roley, S., & Tank, J. (2016). Pore water physicochemical constraints on the endangered clubshell mussel ( *Pleurobema clava* ). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 73(12), 1712-1722. <https://doi.org/10.1139/cjfas-2015-0442>
- Sear, D., Pattison, I., Collins, A., Newson, M., Jones, J., Naden, P., & Carling, P. (2014). Factors controlling the temporal variability in dissolved oxygen regime of salmon spawning gravels. *Hydrological Processes*, 28(1), 86-103. <https://doi.org/10.1002/hyp.9565>
- Scheder, C., Lerchegger, B., Flödl, P., Csar, D., Gumpinger, C., & Hauer, C. (2015). River bed stability versus clogged interstitial: Depth-dependent accumulation of substances in freshwater pearl mussel (*Margaritifera margaritifera* L.) habitats in Austrian streams as a function of hydromorphological parameters. *Limnologica*, 50, 29-39. <https://doi.org/10.1016/j.limno.2014.08.003>
- Schratzberger, M., & Ingels, J. (2018). Meiofauna matters: The roles of meiofauna in benthic ecosystems. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 502, 12-25. <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2017.01.007>
- Simon, O., Tichá, K., Rambousková, K., Bílý, M., Černá, M., Dort, B., Horáčková, J., Hruška, J., Kladivová, V., Švanyga, J., & Vydrová, A. (2018). *Metodika podpory perlorodky říční (Margaritifera margaritifera)*. Výzkumný ústav vodohospodářský T.G. Masaryka.
- Sternecker, K., Cowley, D., & Geist, J. (2013). Factors influencing the success of salmonid egg development in river substratum. *Ecology of Freshwater Fish*, 22(2), 322-333. <https://doi.org/10.1111/eff.12020>
- Storey, R., & Dudley Williams, D. (2004). Spatial responses of hyporheic invertebrates to seasonal changes in environmental parameters. *Freshwater Biology*, 49(11), 1468-1486. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2004.01284.x>
- Stubbington, R., Wood, P., Reid, I., & Gunn, J. (2011). Benthic and hyporheic invertebrate community responses to seasonal flow recession in a groundwater-dominated stream. *Ecohydrology*, 4(4), 500-511. <https://doi.org/10.1002/eco.168>

- Štěřba, O., Uvíra, V., Mathur, P., & Rulík, M. (1992). Variations of the hyporheic zone through a riffle in the r. morava, Czechoslovakia. *Regulated Rivers: Research & Management*, 7(1), 31-43. <https://doi.org/10.1002/rrr.3450070106>
- Taeubert, J., & Geist, J. (2017). The relationship between the freshwater pearl mussel (*Margaritifera margaritifera*) and its hosts. *Biology Bulletin*, 44(1), 67-73. <https://doi.org/10.1134/S1062359017010149>
- Tewari, A., Singh, P., & Gaur, S. (2022). Engineered hyporheic zones: design and applications in stream health restoration – a review. *Water Supply*, 22(2), 2179-2193. <https://doi.org/10.2166/ws.2021.366>
- Veras, T., Cabral, J., Paiva, A., Barcellos, R., & Santos, L. (2016). Vertical hydraulic gradient research in hyporheic zone of Beberibe river in Pernambuco State (Brazil). *RBRH*, 21(4), 674-684. <https://doi.org/10.1590/2318-0331.011615153>
- Wallace, J., & Webster, J. (1996). The Role of Macroinvertebrates in Stream Ecosystem Function. *Annual Review of Entomology*, 41(1), 115-139. <https://doi.org/10.1146/annurev.en.41.010196.000555>
- White, D. (1993). Perspectives on Defining and Delineating Hyporheic Zones. *Journal of the North American Benthological Society*, 12(1), 61-69. <https://doi.org/10.2307/1467686>
- WILLIAMS, D. (1989). Towards a biological and chemical definition of the hyporheic zone in two Canadian rivers. *Freshwater Biology*, 22(2), 189-208. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.1989.tb01095.x>
- Wondzell, S., LaNier, J., Haggerty, R., Woodsmith, R., & Edwards, R. (2009). Changes in hyporheic exchange flow following experimental wood removal in a small, low-gradient stream. *Water Resources Research*, 45(5). <https://doi.org/10.1029/2008WR007214>
- Wondzell, S., LaNier, J., Haggerty, R., Woodsmith, R., & Edwards, R. (2009). Changes in hyporheic exchange flow following experimental wood removal in a small, low-gradient stream. *Water Resources Research*, 45(5). <https://doi.org/10.1029/2008WR007214>

Zimmer, M., & Lautz, L. (2014). Temporal and spatial response of hyporheic zone geochemistry to a storm event. *Hydrological Processes*, 28(4), 2324-2337. <https://doi.org/10.1002/hyp.9778>

## 9 Seznam obrázků, tabulek a grafů

Obrázek 1: Životní cyklus perlorodky říční. Autor: Michal Bílý .....	12
Obrázek 2 Jednotlivé detaily povrchové vody a jakým způsobem interaguje s hyporeálem. Autor: (Boulton et al., 1998).....	13
Obrázek 3 Nasycení kyslíku v zóně downwellingu a upwellingu, číslice označují hloubku odběru, přičemž nejmělkčí bod 20 cm pod povrchem. Autor: (Franken et al., 2001) .....	16
Obrázek 4 a) Roční počty publikovaných článků od roku 1991 do května 2019, které se týkali sladkých vod (modrá čára) a pouze podzemních vod (černá čára), b) Roční podíl článků týkajících se ochrany podzemních vod Výsledky pocházejí z bibliometrické analýzy Web of Science (27. května 2019) Autor: (Boulton, 2020) .	17
Obrázek 5 Bakteriální diverzita v Hyporeální zóně. PDHS4 – sestupná zóna (Downwelling), PUHS20 – vzestupná zóna (Upwelling), PMHS8 – Zóna, kde se mísí sestupná a vzestupná (Mixed) Autor: (Kim & Lee, 2019) .....	19
Obrázek 6: Schéma průtoku vody hyporeálem. Nejvyšší interakce povrchové a intersticiální vody se vyskytuje v zónách, kde se střídá hlubší voda se štěrkopískovými náplavy. Autor: Podle M. Bílého kreslila R. Bošková (Bílý et al., 2022) .....	21
Obrázek 7 Vertikální hydraulický gradient, v oblastech downwellingu a upwellingu. Tento výkyv je reprezentován funkcí $h$ (rozdíl ve výšce mezi hladinou vody v piezometru a úrovní hladiny proudu) a $L$ (hloubka od koryta proudu ke dnu piezometru) Zdroj: (Hauer & Lamberti, 2007) .....	22
Obrázek 8: (A) Různé druhy sedimentů v náplavech s odlišnými velikostmi zrn a rychlostmi průtoku vody (foto M. Close), (B) Místa, kde voda v řece stoupá nebo klesá, s měřeními rychlosti průtoku vody piezometrem, (C) Ucpání sedimentu malými kameny a prachem (černé tečky), (D) Ucpání sedimentu bakteriálním biofilmem (šedá vrstva) (Marmonier et al., 2023).....	24
Obrázek 9 Koncentrace rozpuštěného kyslíku (DO) ve vodě, v pórech, podle data odběru vzorku (měsíc/den/rok). Každý bod označuje střední hodnotu DO z pěti vzorkovačů na konkrétním místě během daného data vzorkování. Plné vodorovné přímky představují práh pro přežití juvenilních jedinců <i>Elliptio complanata</i> , zatímco přerušovaná přímka značí práh stresu dospělých jedinců. (Roley & Tank, 2016) ....	28

Obrázek 10 Teplá Vltava, lokalita u obce Dobrá, ukazuje charakter nivy Teplé Vltavy včetně slepého ramena vpravo autorem fotografie Kristýna Kubíková .....	31
Obrázek 11 Lokalita instalace transektu teploměrů v místě s kódem KOVH (27. květen 2020) autorem fotografie je O. Simon .....	32
Obrázek 12 Mapa současného výskytu (zdroj Záchranný program perlorodky říční Margaritifera Margaritifera v České republice (AOPK ČR, 2013)) převzato (Zdroj: <a href="http://www.perlorodkaricni.cz/lide/soucasnost.html">http://www.perlorodkaricni.cz/lide/soucasnost.html</a> ).....	32
Obrázek 13 HOBOWare program, teplotní data z meandru v Teplé Vltavě.....	33
Obrázek 14 Fotografie z terénních prací zaznamenávající kontrolu sond na Teplé Vltavě. Autorem fotografie je Vojtěch Macháček.....	34
Obrázek 15 A Instalce do dna a B výsledná poloha teploměru. Nade dnem po instalaci byl viditelný jen teploměr určený k měření teploty volné vody, teploměr ve třech a třinácti centimetrech byl na stejném lanko přímo pod ním .(foto O.Simon, červen 2020).....	35
Obrázek 16 demonstruje přesnost vybraného teploměru pro volnou vodu (VOLVO) oproti průměru všech ostatních teploměrů v nočních hodinách ve volné vodě. Průměr v absolutní hodnotě je 0,05°C.....	36
Obrázek 17 Hobo Pendant. Zdroj: <a href="https://www.onsetcomp.com/products/data-loggers/ua-002-64">https://www.onsetcomp.com/products/data-loggers/ua-002-64</a> .....	36
Obrázek 18 Příklad zobrazení zpracovávaných dat v Microsoft Excel. Tmavě šedý sloupec značí teploměr v hloubce 13 cm, na levé straně sloupce jsou zobrazeny teploty (°C) a na pravé straně je zobrazeno sluneční záření (lux). Šedý sloupec znázorňuje teploměr ve 3 cm a bílý sloupec označuje teploměr ve volné vodě. ....	37
Obrázek 19 Teplotní čidla, měření probíhalo od 29.5.2020 do 18.8.2020, v horní části obrázku se vyskytují data z teploměrů, kdy červená linie představuje volnou vodu. Spodní modrá část demonstruje výšku hladiny v lokalitě Meandr, červená přímka značí hranici výšky hladin. Jednotlivé červené elipsy byly podrobeny podrobnějšímu zkoumání, jestli se po povodních měnil směr proudění. Pro určení směru proudění je využitelná část grafu, kdy dochází k oteplování vody, proto úseky v době vysokých průtoků a povodní nejsou využitelné. ....	38
Obrázek 20 Přehled všech teploměrů v transektu s uvedením vyhrabaných a zahrabaných teploměrů, šedě ve 13 cm, oranžově ve 3 cm a modře ve volné vodě.	

Červeným čtvercem je označena chybějící trojice teploměrů (18 a 19). Pokud chybí jednotlivé sloupce znamená to, že dané teploměry byly v čase vyhrabány (to platí pro teploměry ve 3 cm a 13 cm). Pokud je znázorněn modrý sloupec, značí to zahrabání teploměru, který byl ve volné vodě. ....	39
Obrázek 21 Lokalita 16 ve 3 cm a ve 13 cm, osa y značí osvit (lux) a osa x značí den. Jednotlivé sloupce značí jednotlivé dny. ....	40
Obrázek 22 Průměrná teplota na lokalitách ve 3 cm a ve 13 cm. V jednom dni 11.8. 2020 .....	41
Obrázek 23 Část excelovské tabulky zaměřující se na zkoumání přežívání perlorodek v závislosti na směru proudění. Data převzata z projektu OPŽP (Pithart a kol. 2023) předpřipravená v DP Adama Sailera (2021).....	42
Obrázek 24 Detail zaměřený na nejchladnější a na nejteplejší část dne. Se zaměřením na konkrétní časové úseky při nejchladnější části dne a při nejteplejší části dne. Lokality jsou znázorněny v hloubce třech centimetrů. ....	43
Obrázek 25 Grafy znázorňují různá časová rozpětí ve 3 cm se zaměřením na oteplování (během dne a ochlazování během večera pro vybrané lokality. ....	44
Obrázek 26 První úsek dat po vložení měřicích teploměrů před první velkou povodní, která je na obrázku znázorněna výškou hladiny (modře). V levé horní části obrázku je znázorněna zkoumaná přibližná lokalita. Šrafované křivky značí teploměr v hloubce 3 cm, a plné křivky vodu ve 13 cm, červenou vrchní křivkou je značena volná voda a modrou spodní křivkou je značena výška hladiny .....	45
Obrázek 27 Poslední dny měření před vyjmutí teploměrů, jedná se o období po poslední menší povodni. Souhrn tří dnů od 15.8. - 19.8. Šrafované křivky značí teploměr v hloubce 3 cm, a plné křivky vodu ve 13 cm, červenou vrchní křivkou je značena volná voda a modrou spodní křivkou je značena výška hladiny .....	45
Obrázek 28 Černou čarou je zvýrazněn teploměr 20_3 (lokalita 20 ve 13 cm), kdy je i přesto že jde o hluboko zakopaný teploměr, jasně patrné zanořování teplé ohřáté vody tekoucí ve volné vodě. Hodnota znázorněná černou čarou je na úrovni teploměrů, nacházejících se ve 3 cm (šrafované). Dále obrázek prezentuje minimální teplotní opoždění maxima. Datum: 2.6.2020 Graf na levé straně.....	46
Obrázek 29 Černou čarou je ve stejných datech zvýrazněn teploměr 04_3 (lokalita 4 ve 13 cm), Lokalita 4 po celou dobu měla své teplotní maximum o 7 hodin (17:00	

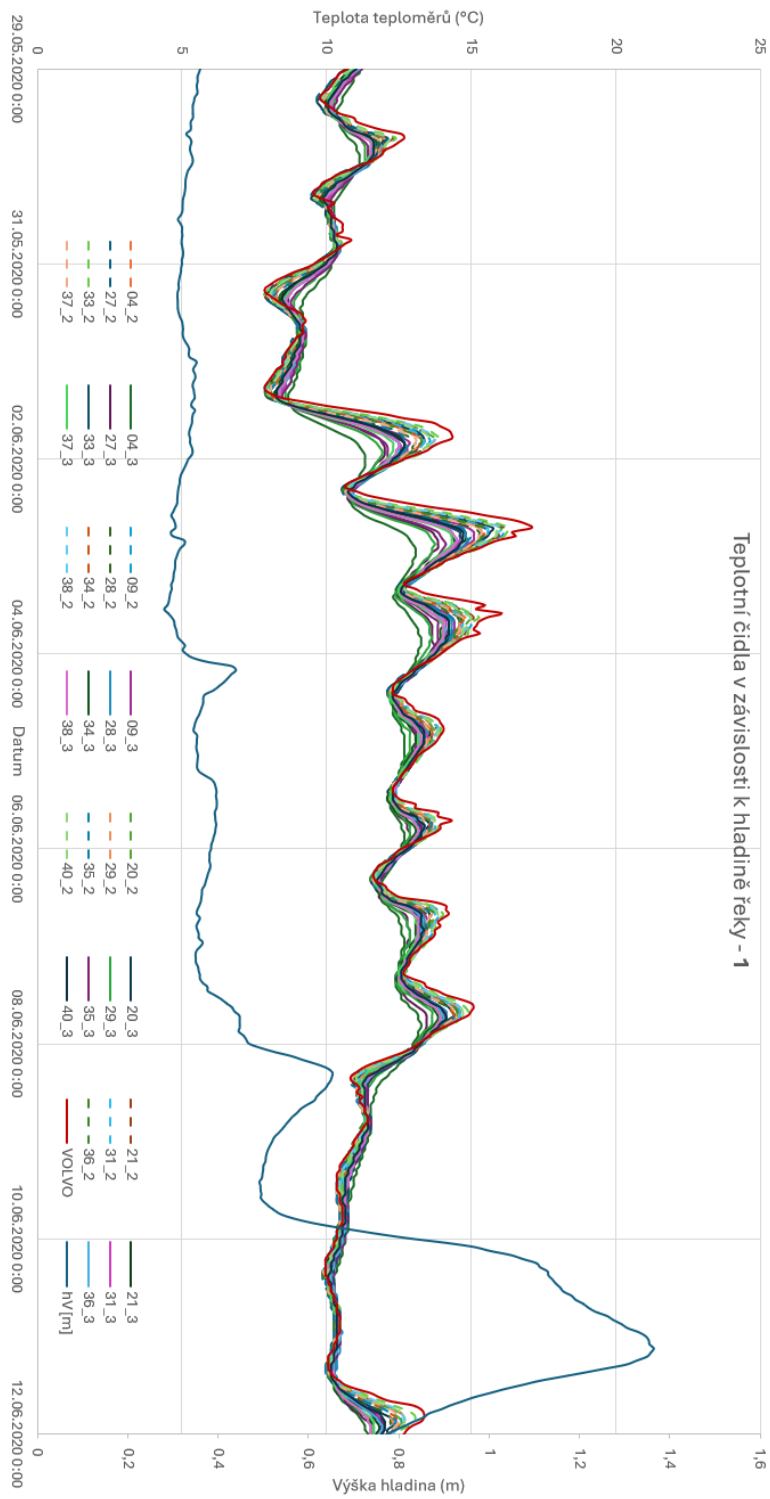
teplotní maximum volné vody, 24:00 teplotní maximum lokality 4) později než tekoucí maximum volné vody. Dále kromě časového posunu měla i své maximum o 4 stupně chladnější. Volná voda v maximu má 17 °C (červeně), lokalita 4 ve svém maximu má pouze 13 °C). Datum: 2.6.2020 Graf uprostřed.....	46
Obrázek 30 29.6.2020 Zpoždění teploměru č. 4 (04_3 označována šedou křivkou) ve 13cm oproti všem ostatním lokalitám. Silně zaostává při ohřívání, a také silně zaostává při ochlazování. Důkaz upwellingu. Graf na pravé straně.....	46
Obrázek 31 Sloupcový graf prezentuje 15 zkoumaných lokalit se zakanou dvojicí teploměrů pode dnem, jednotlivé lokality jsou označeny číslem, žlutě jsou místa nacházející se ve 3 cm a modře jsou označeny místa ve 13 cm, černě je znázorněna teplota volné vody. Nad příslušným grafem je číslo dané lokality. Data pochází ze dne 11.8.2020 a jsou souhrnem za celý den, od půlnoci do půlnoci. ....	47
Obrázek 32 Změny teploty 11.8.2020 na lokalitách během jednoho dne ve 3 cm. Obrysový povrchový graf, žlutá místa v grafu znázorňují největší oteplení, která představují místa se zanořováním vody: Downwellingem. Naopak místa 35 a 27 kvůli nejchladnějším teplotám mohou dokládat zóny upwellingu.....	48
Obrázek 33 Graf znázorňuje den 11.8. v hloubce 13 cm. Lokalita 4 je po celou dobu velmi chladná. Oproti tomu lokality 9,20,28,33,36 demonstrují lepší prohřívání dna volnou vodou a mohou znázorňovat zanořující se vodu: downwelling.....	48
Obrázek 34 Tabulka znázorňující 25 hodin, výřez dat od 2.6. 7:00 do 3.6. 7:00. Barevně jsou označeny teplotní extrémy, červeně nejchladnější, a zeleně nejteplejší. Data jsou zde společně jak ve 3 cm, tak ve 13 cm.....	49
Obrázek 35 Tabulka znázorňující 14 hodin, výřez dat od 2.6. 13:00 do 3.6. 2:00. Barevně jsou označeny teplotní extrémy, červeně nejchladnější, a zeleně nejteplejší. ....	50
Obrázek 36 Tabulka znázorňující 14 hodin, výřez dat od 2.6. 13:00 do 3.6. 2:00. Barevně jsou označeny teplotní extrémy, červeně nejchladnější, a zeleně nejteplejší. ....	50
Obrázek 37 Rozdíl mezi přežíváním perlorodek pouze mezi upwellingem a downwellingem na zkoumaných lokalitách Teplé Vltavy 2020. Na levé straně.....	51



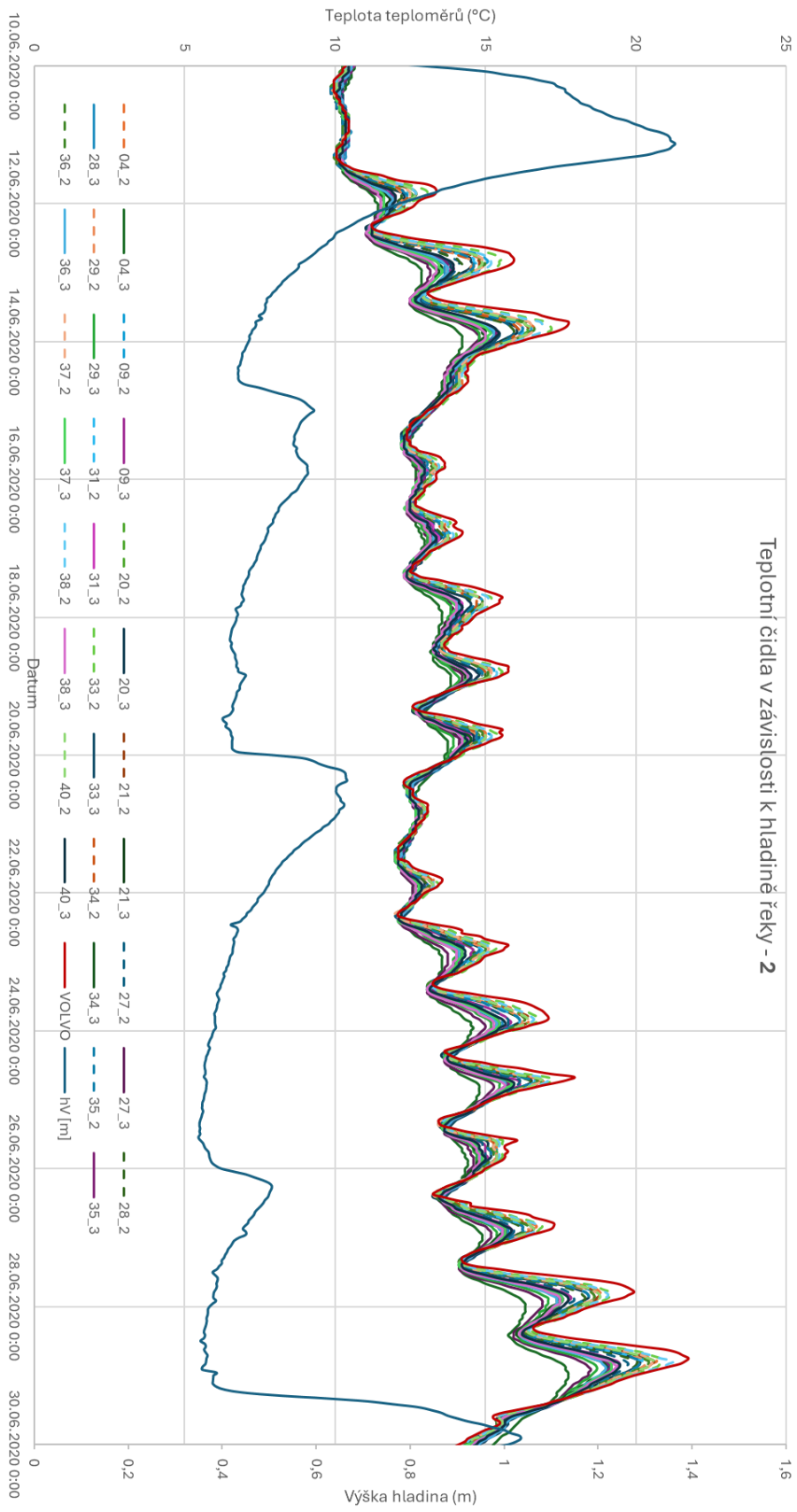
Obrázek 38 Rozdíl mezi přežíváním perlorodek pouze mezi upwellingem, downwellingem a bez výrazného směru proudění na zkoumaných lokalitách Teplé Vltavy 2020. Na pravé straně .....	51
Obrázek 39 Procentuální ukázka přežití perlorodek na jednotlivých lokalitách v závislosti na směru proudění. Šipka nahoru značí lokalitu s upwellingem a šipka dolů lokalitu s downwellingem. Bez šipky jsou označeny lokality bez význačného směru proudění. Lokalita NAT-A měla ke konci expozice nestabilní bod s přepínáním upwellingu a downwellingu, Lokalita NAT-B vykazovala chybu v měření, měla systematicky vyšší reálné teploty měření, chyba teploměru. Lokalita KOVH-A měla konec expozice po povodni. Červeným čtvercem je označena mnou zkoumaná pod lokalita. Na místech bez šipky nebyl výrazný směr proudění. ....	52
Obrázek 40 Schéma říčního dna, černě bylo prováděno bodové měření v určitý čas v hloubce 5 cm. Barvou je rozlišeno, jestli se jedná o upwelling nebo downwelling. Zdroj: (Irvine et al., 2017) .....	54
Obrázek 41 Variabilita prostředí hyporeálu. Detailní mapování na malé řece (koryto je šedě) publikované (Wondzell et al., 2009) ukazuje na pestrost a časovou proměnlivost zón se zanořováním vody do hyporeálu (tzv. downwelling) a jejího následného vynořování (upwelling), zde umocněnou vyjmutím kmenů a dalšího mrtvého dřeva ze dna. Voda může drenovat i napříč meandry. zdroj: (Wondzell et al., 2009) .....	54

# 10 Seznam příloh

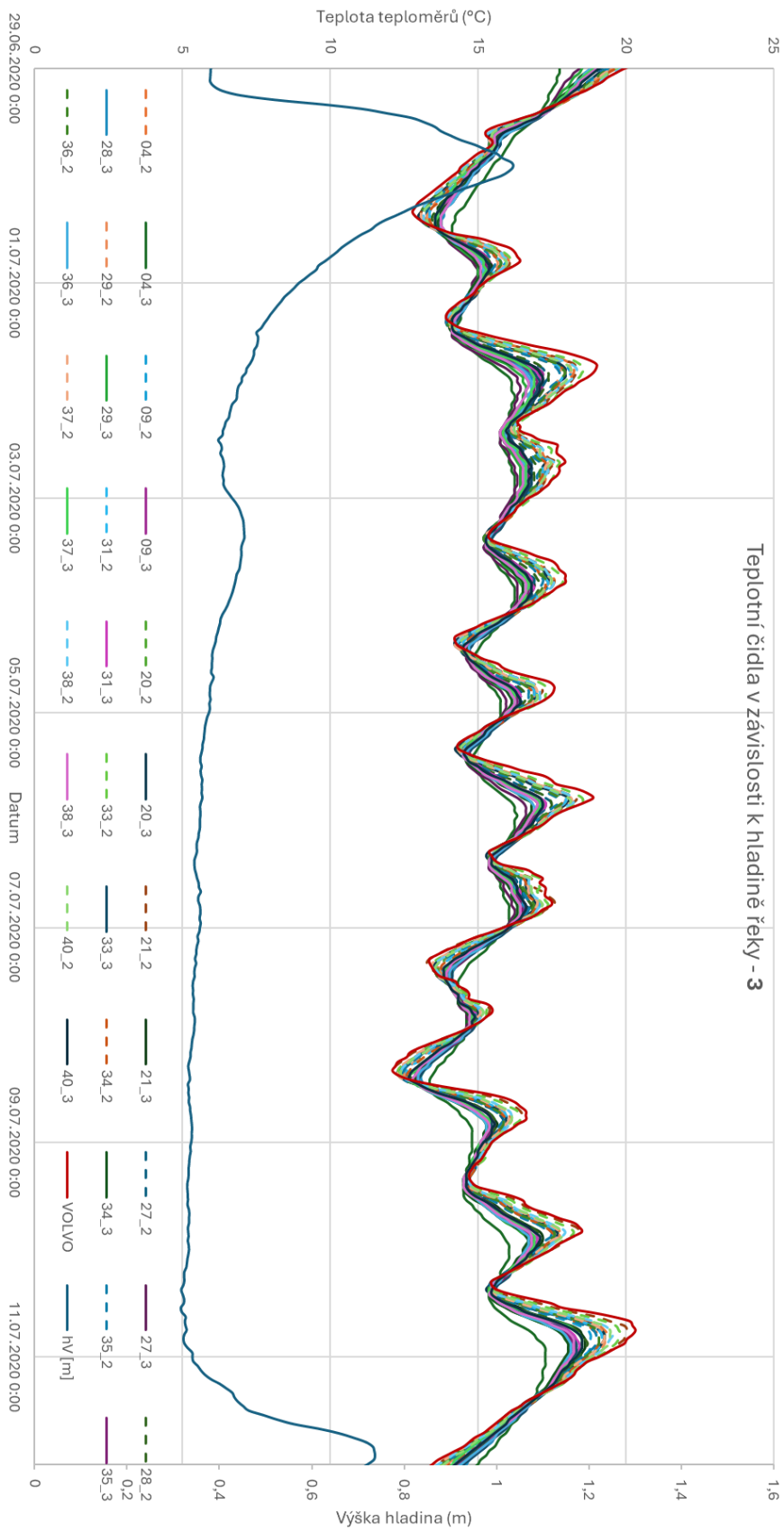
## Příloha 1



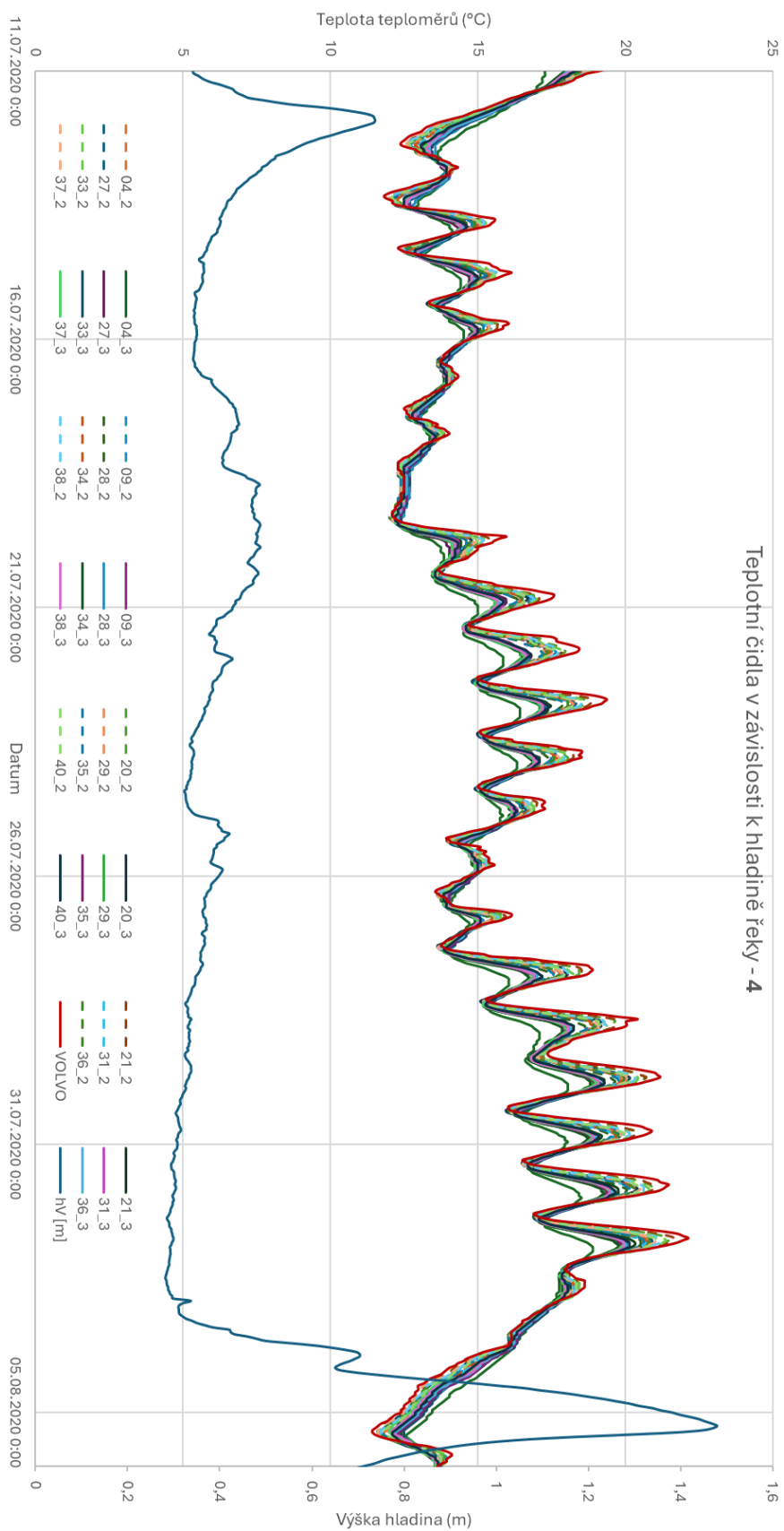
## Příloha 2



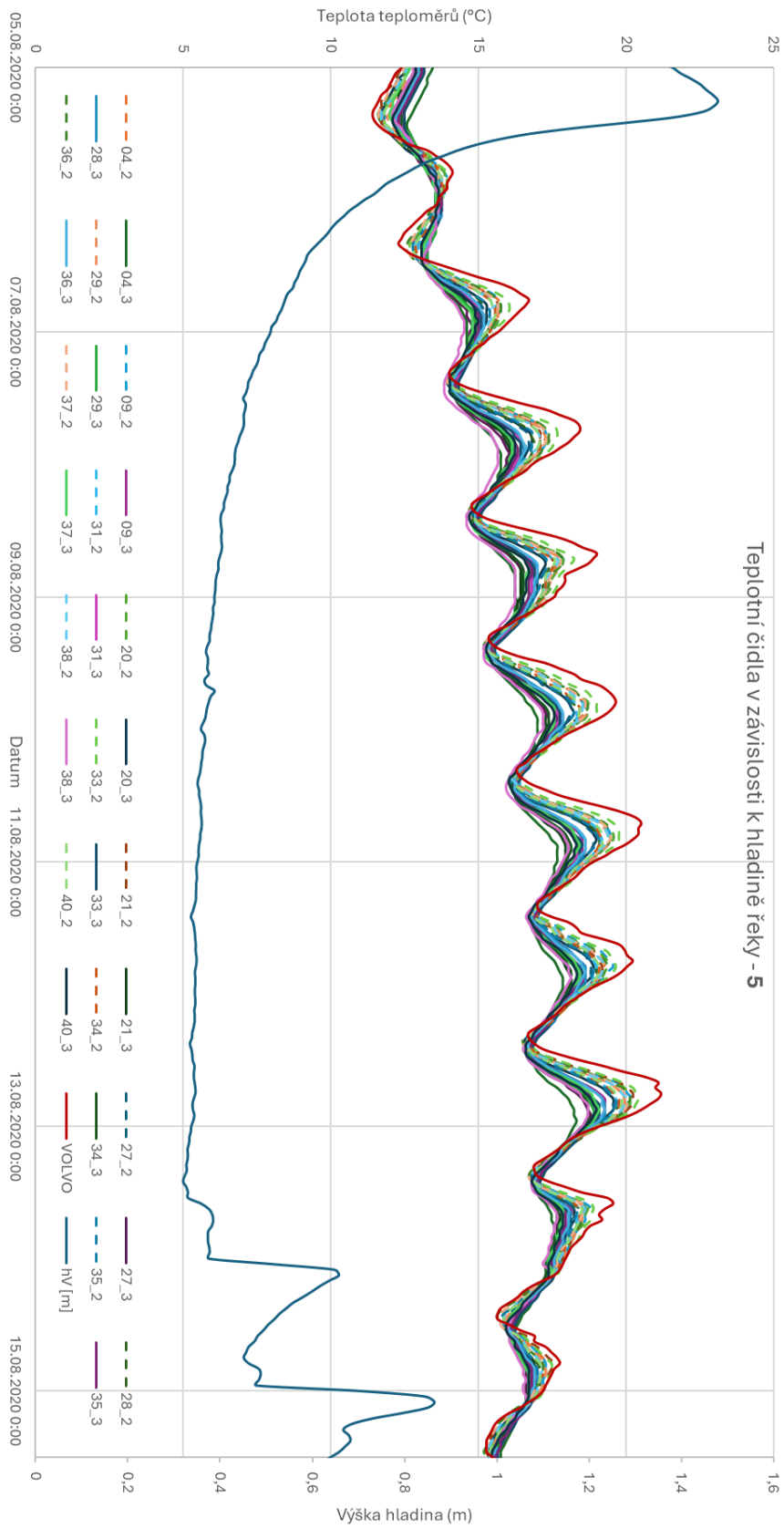
### Příloha 3



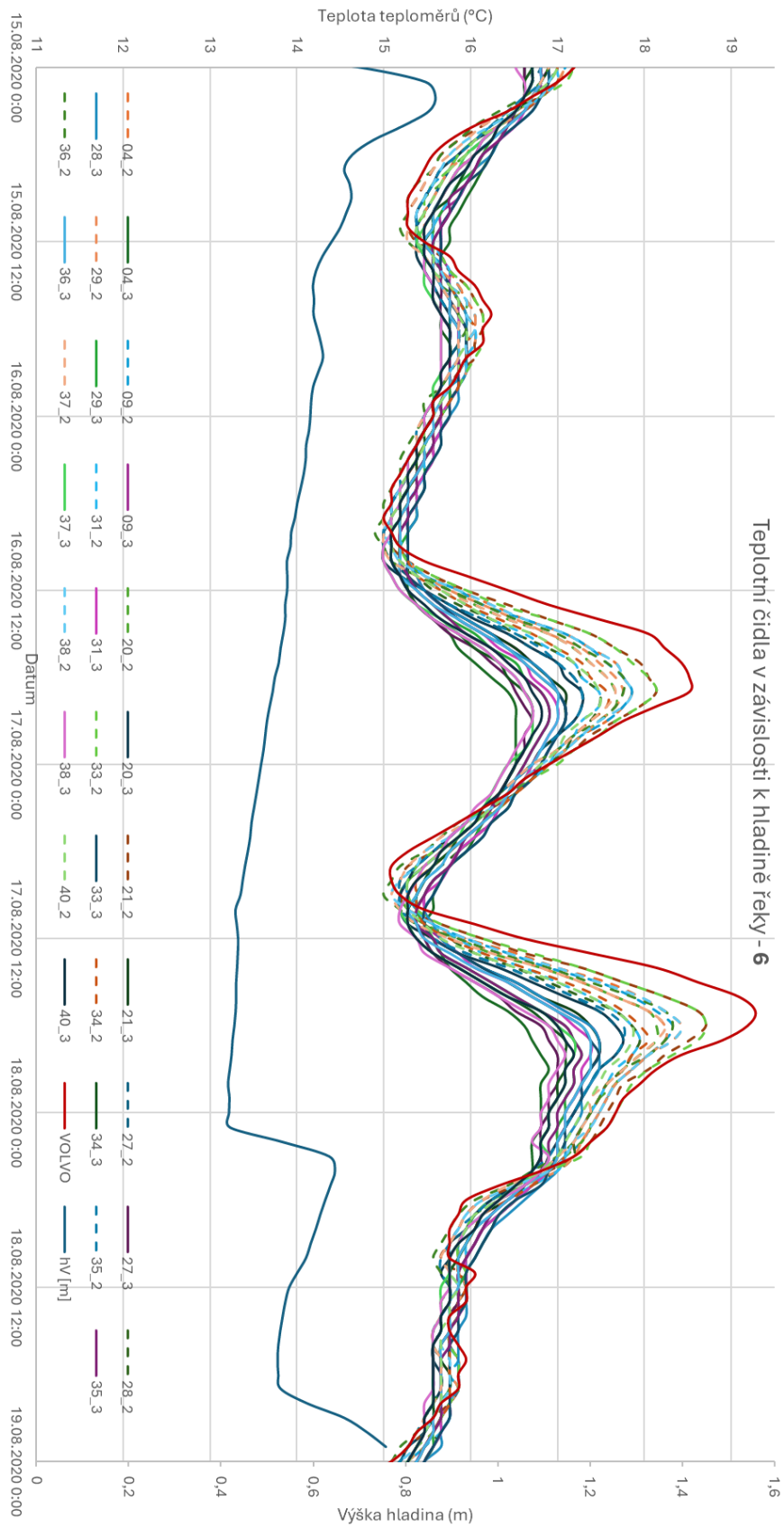
# Příloha 4



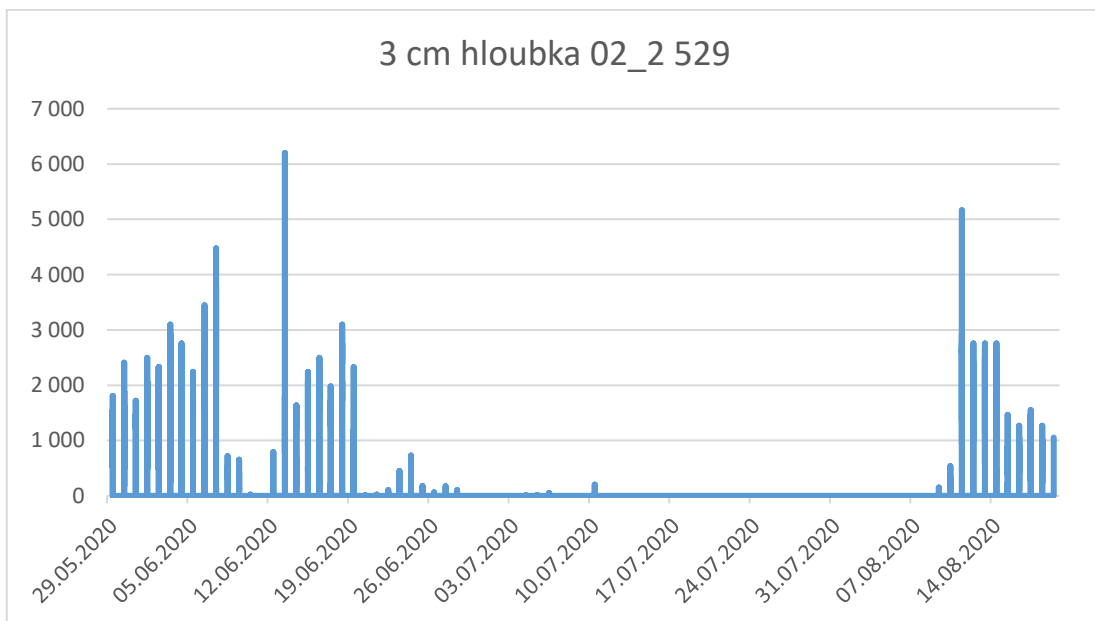
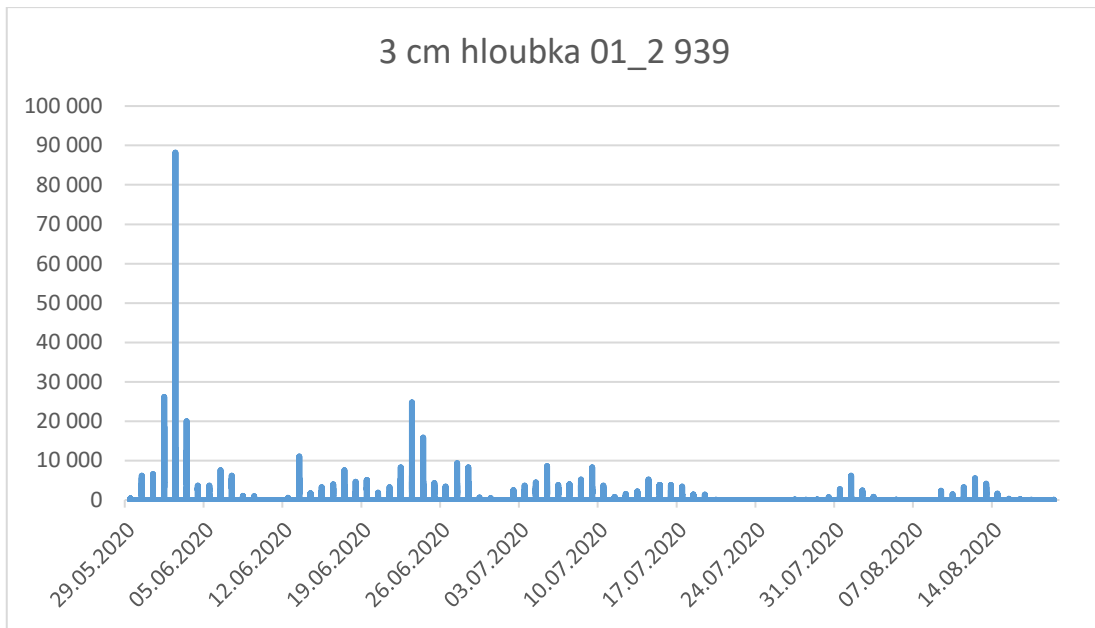
## Příloha 5



## Příloha 6

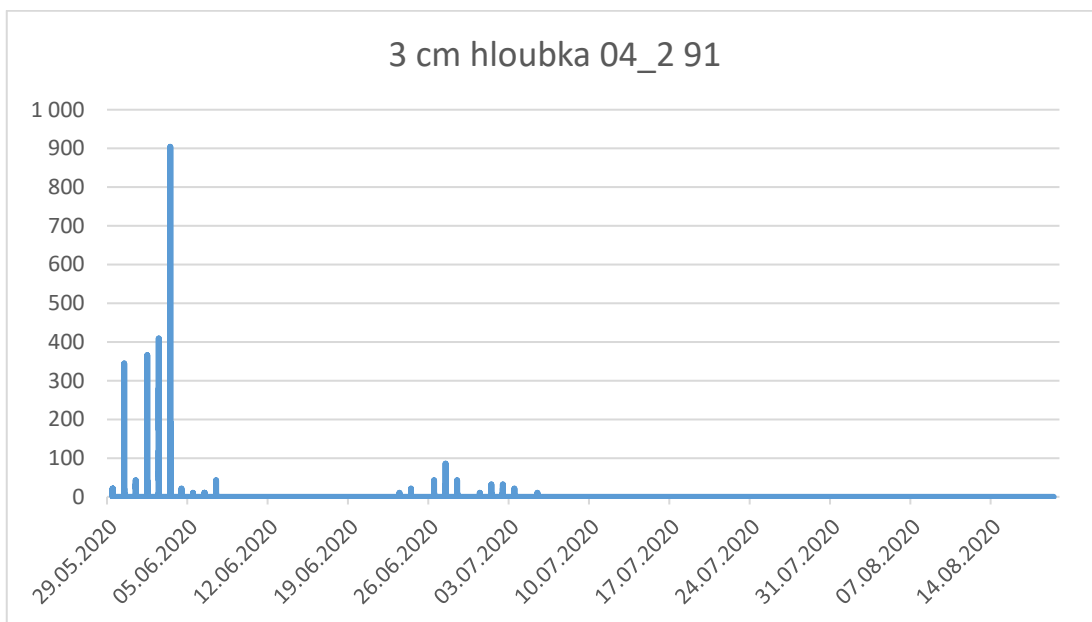
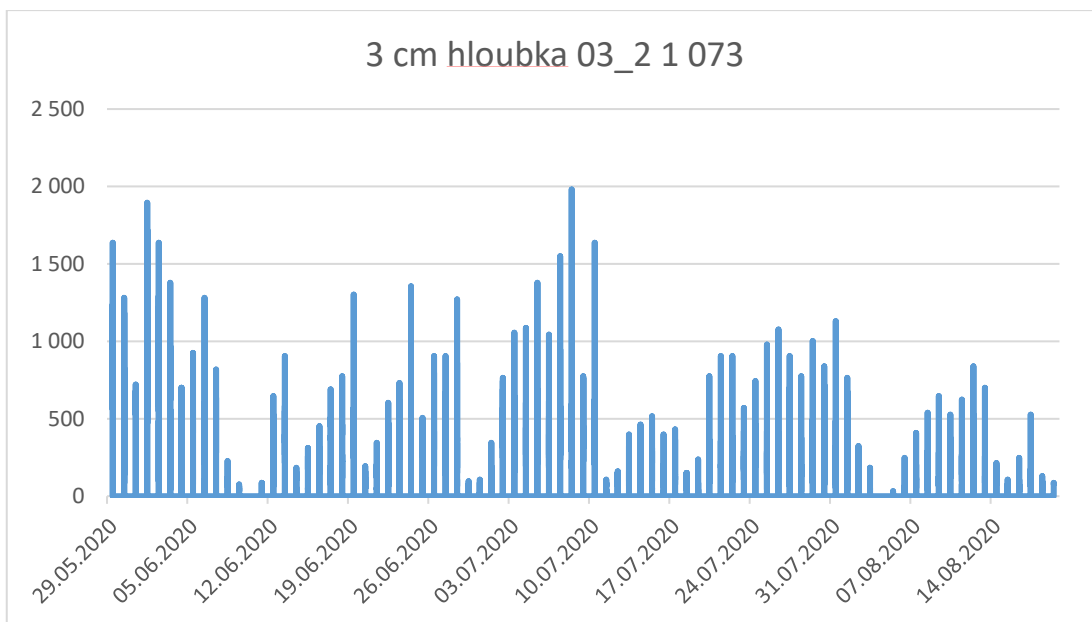


## Příloha 7

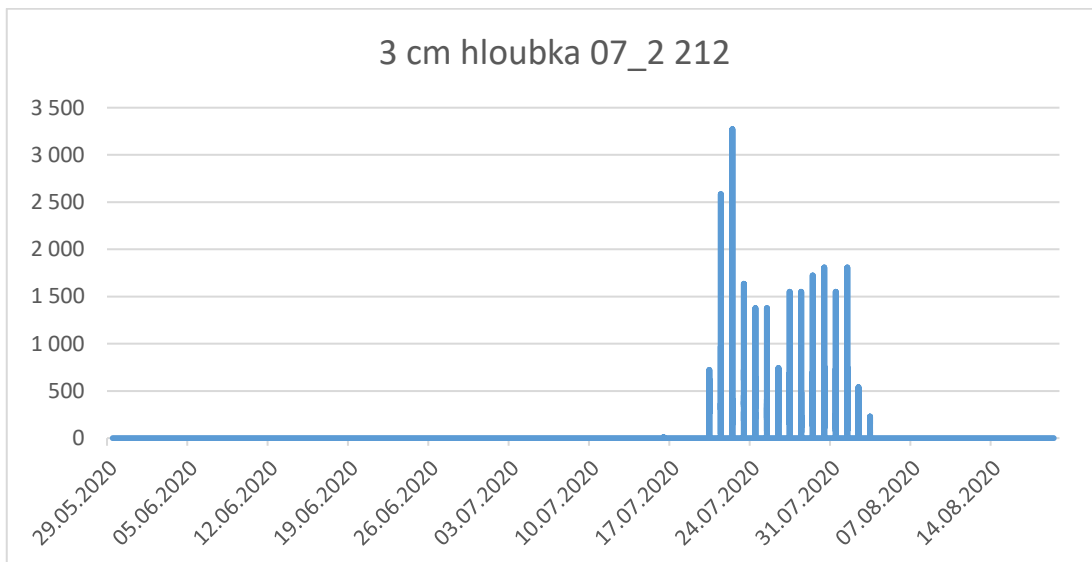
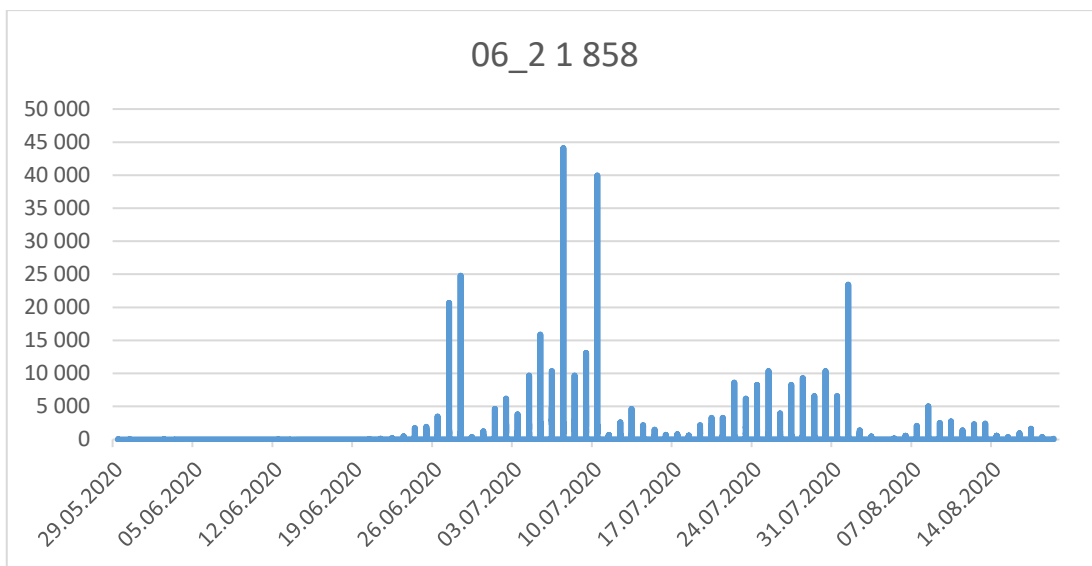




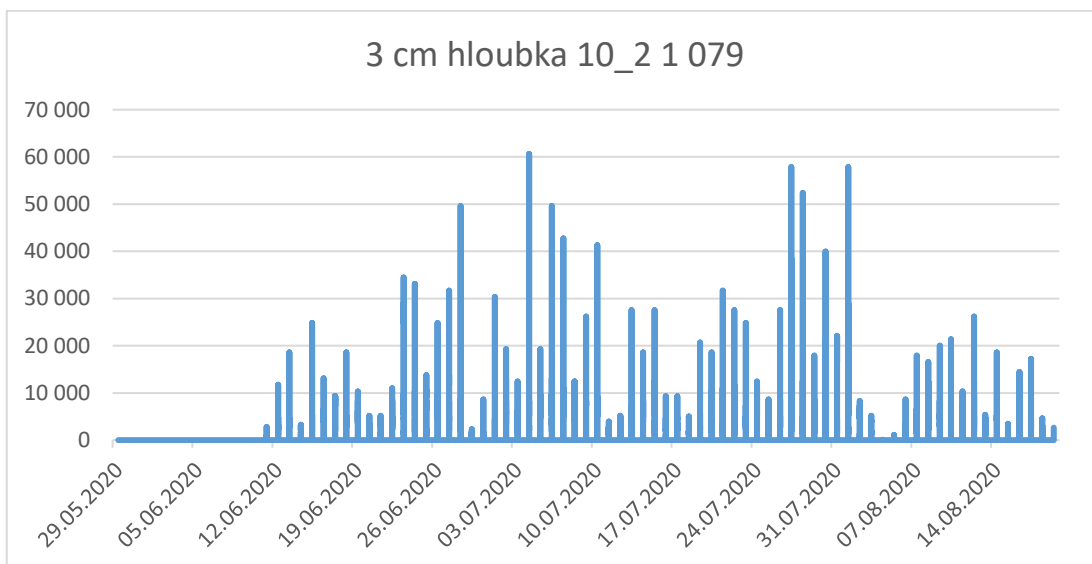
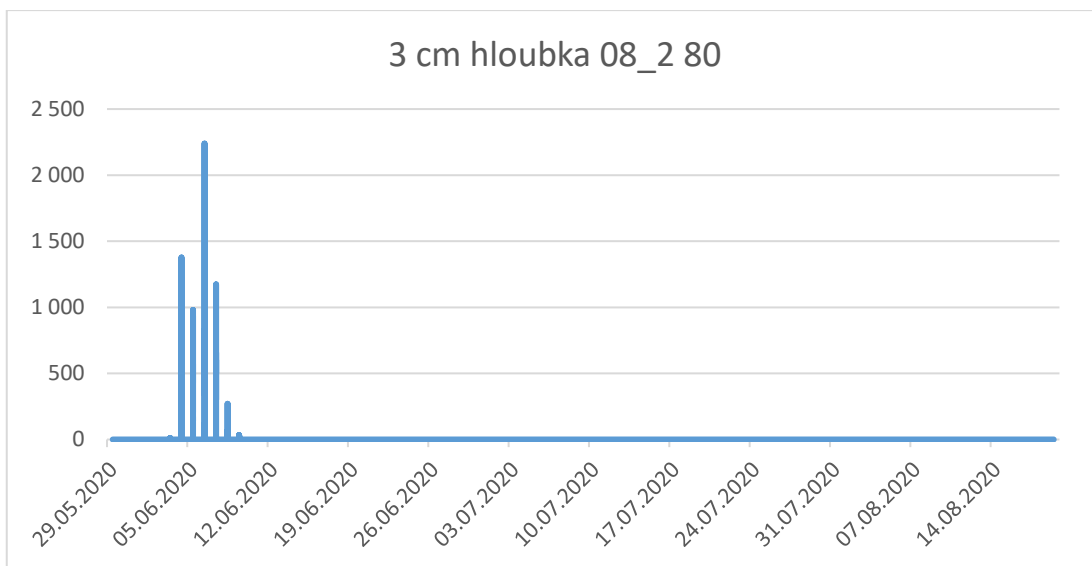
## Příloha 8



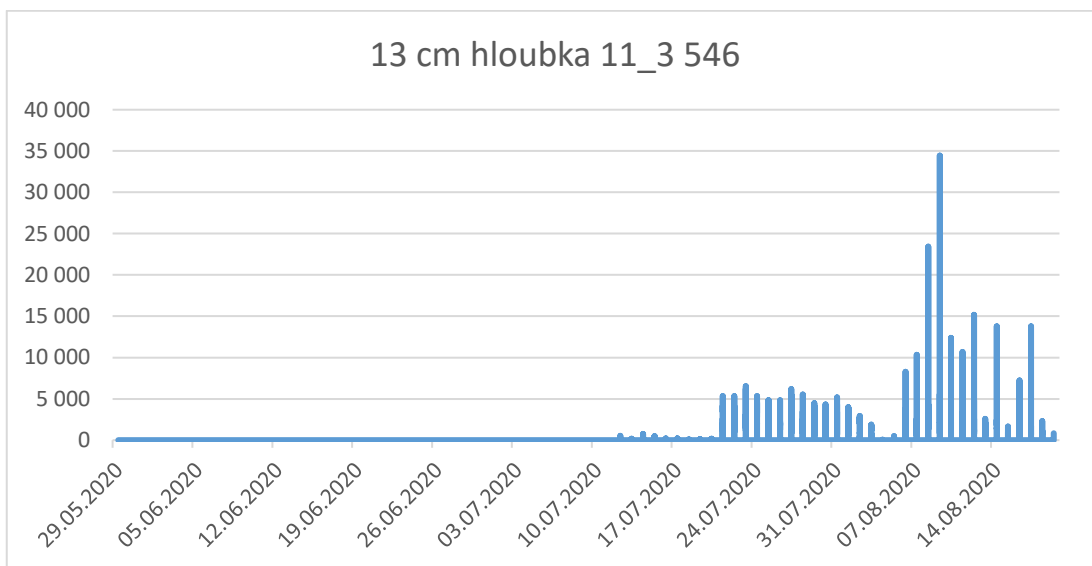
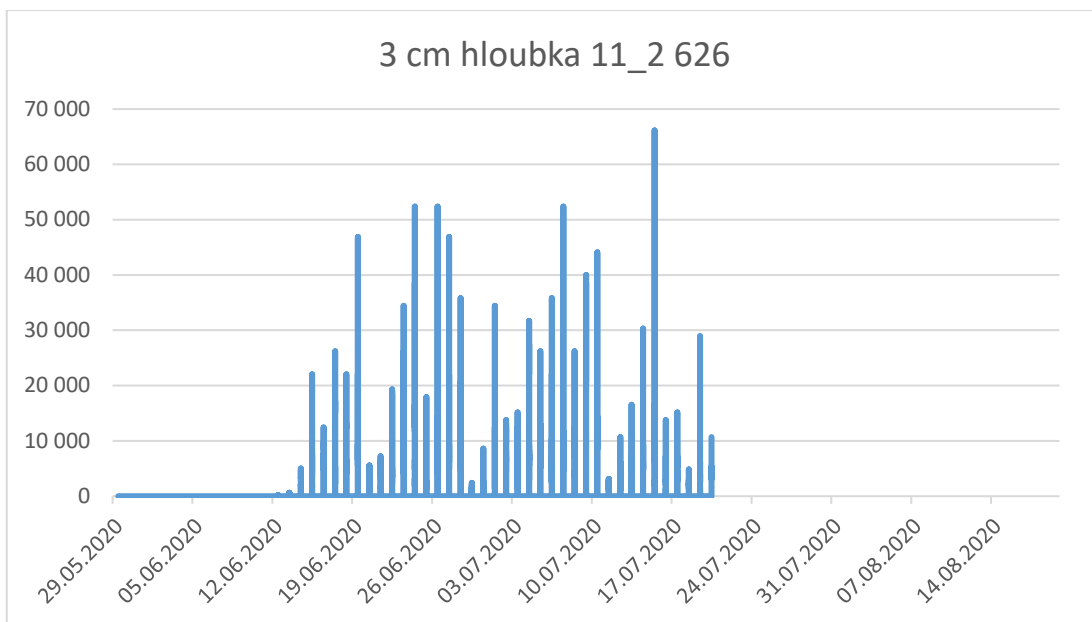
## Příloha 9



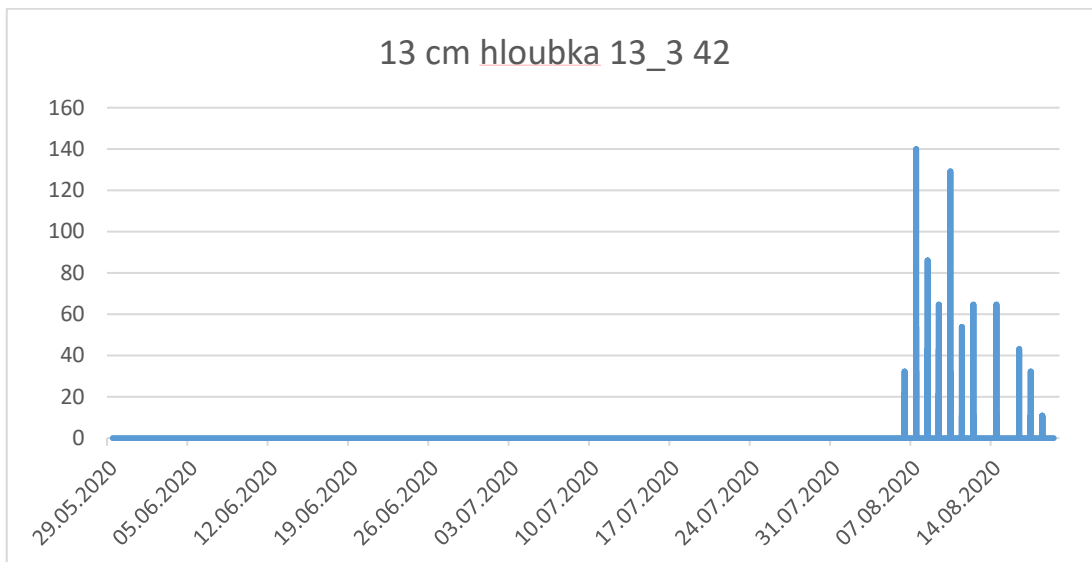
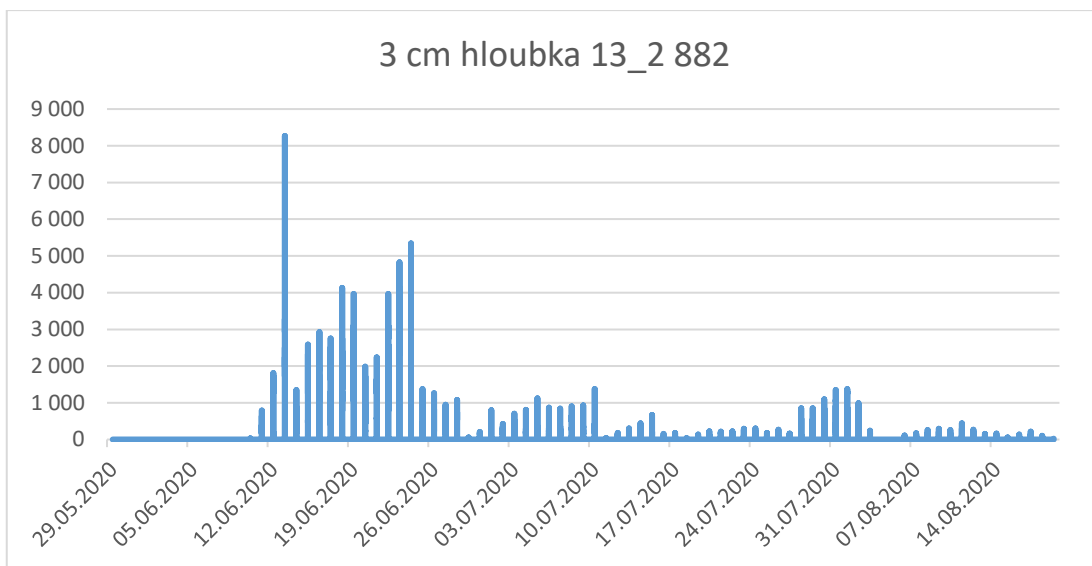
## Příloha 10



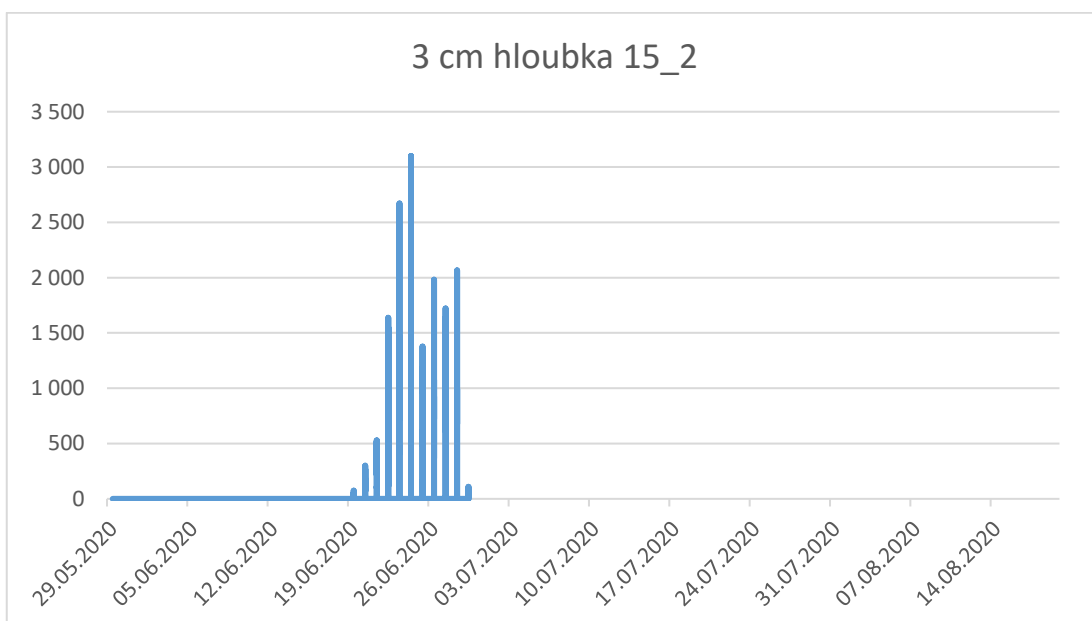
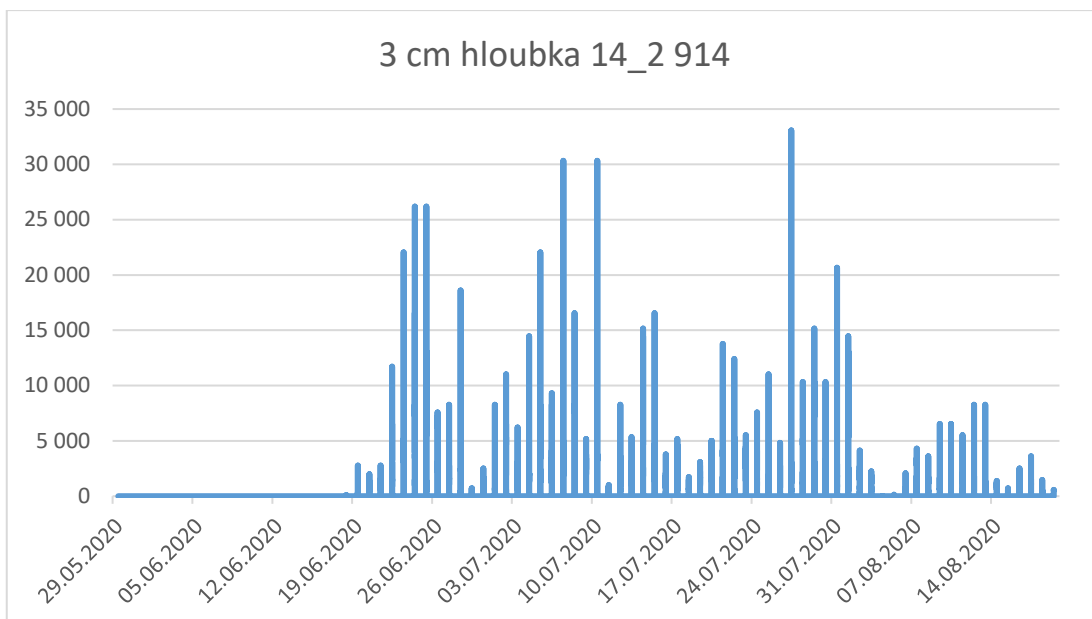
## Příloha 11



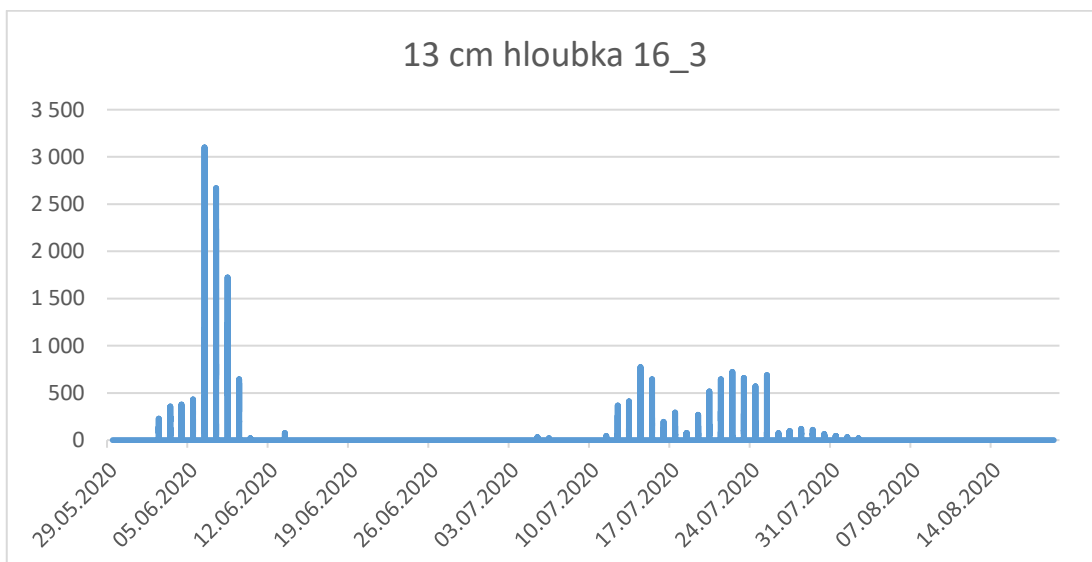
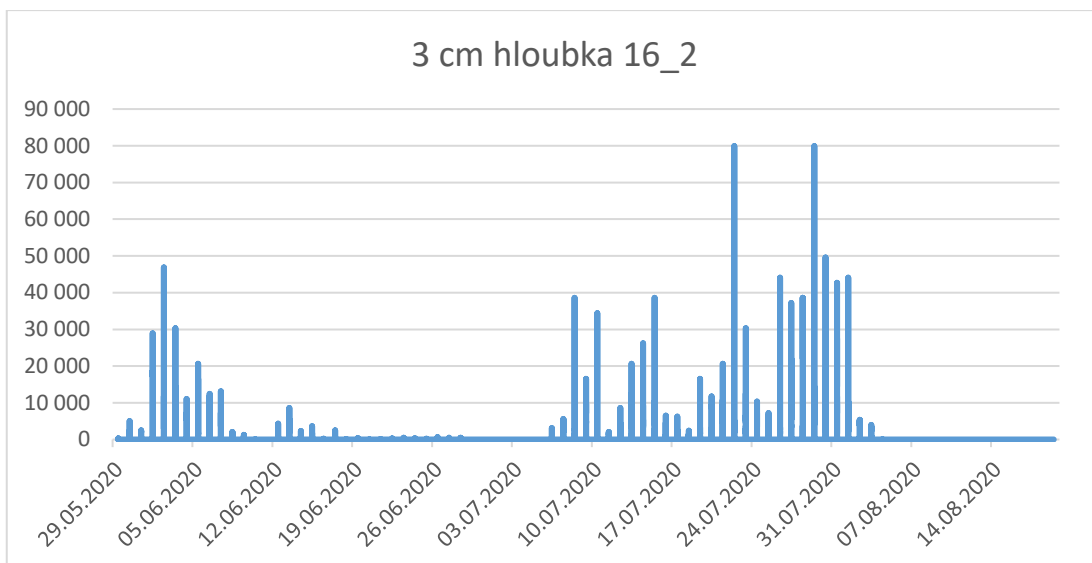
## Příloha 12



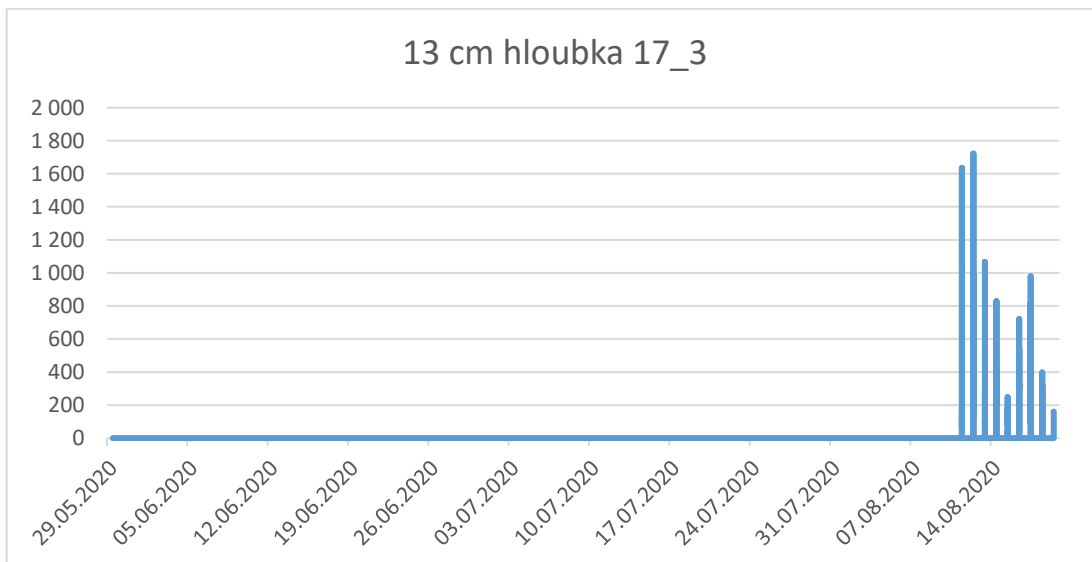
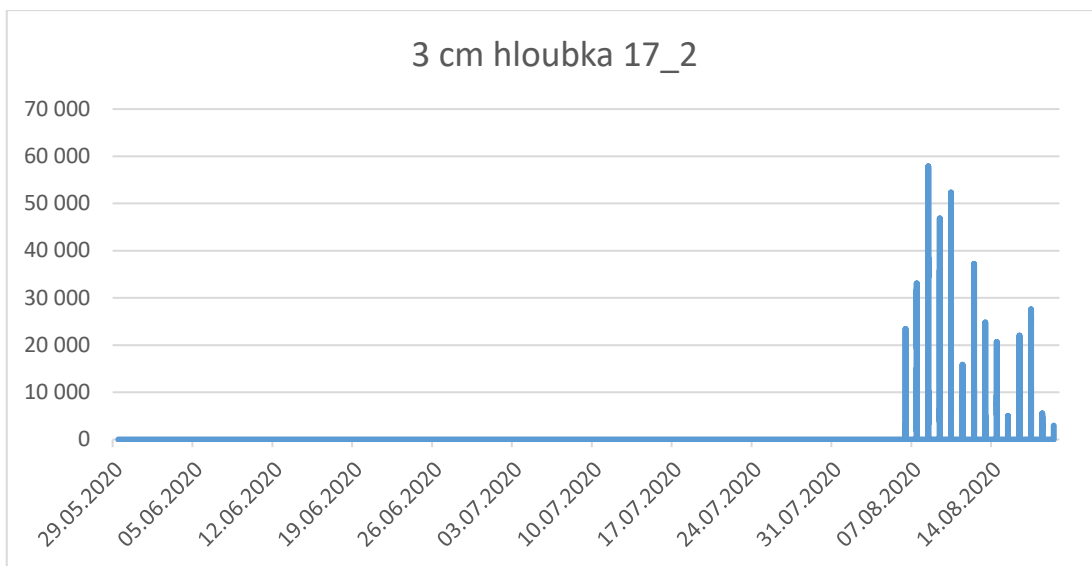
### Příloha 13



## Příloha 14

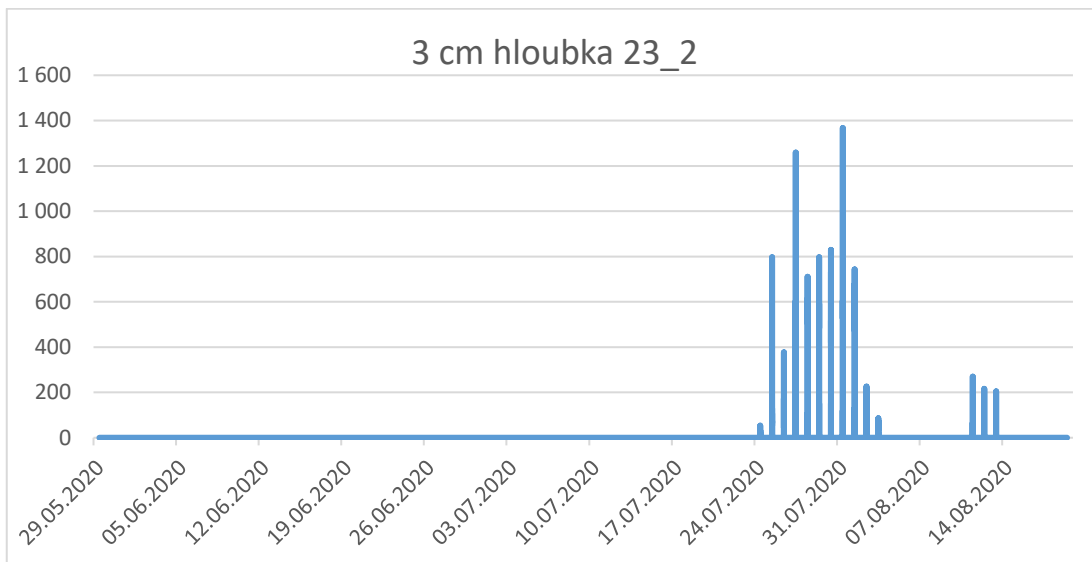
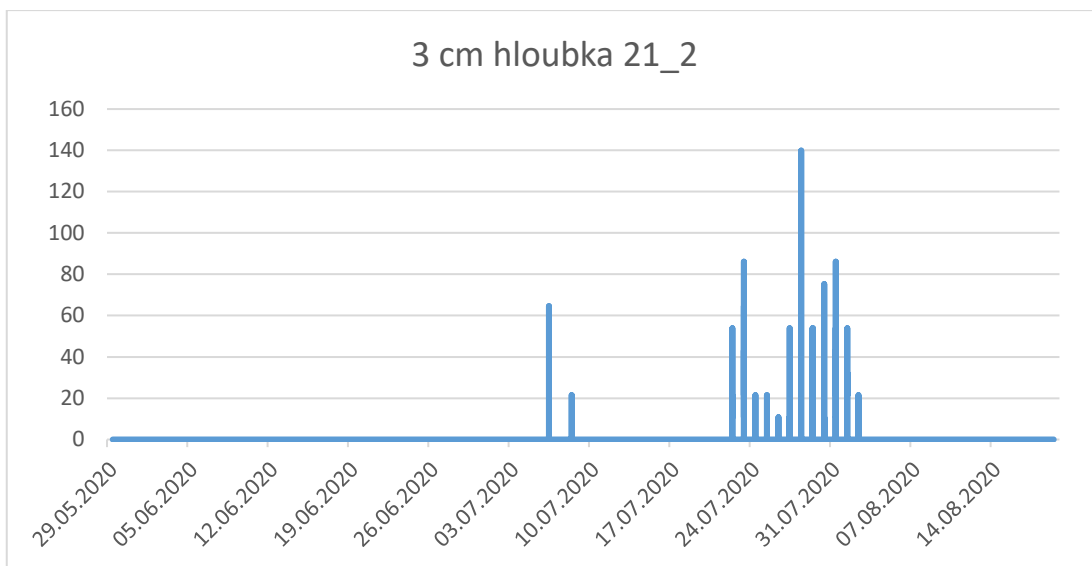


## Příloha 15

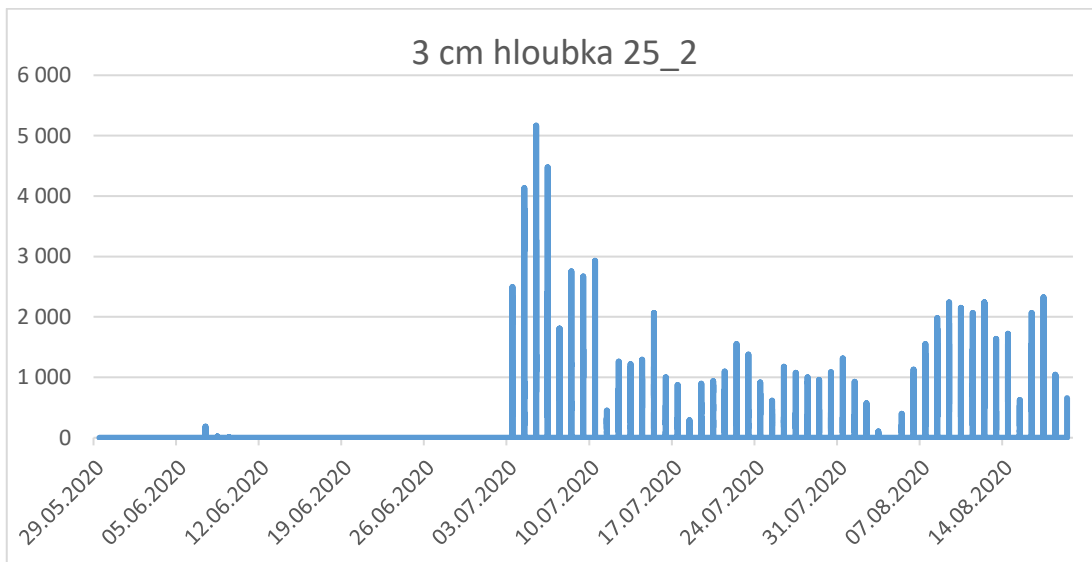
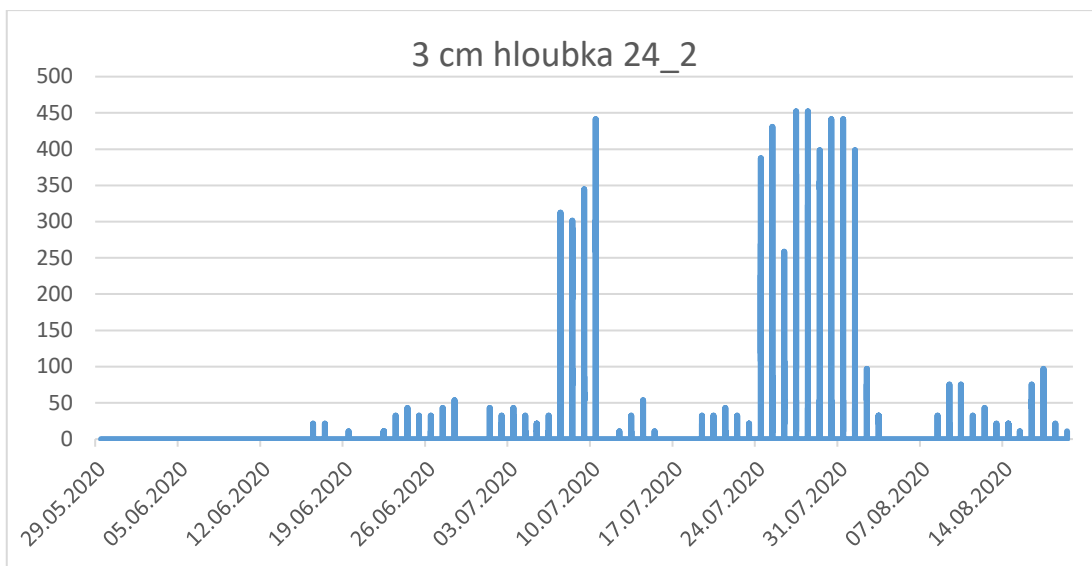




## Příloha 16



## Příloha 17



## Příloha 18

