

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta životního prostředí

Katedra ekologie



**Variabilita fyzikálních faktorů
v experimentálním úseku Teplé Vltavy**

Bakalářská práce

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

Bakalant: Michal Jeřábek

2022



Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Autor práce:	Michal Jeřábek
Studijní program:	Krajinářství
Obor:	Vodní hospodářství
Vedoucí práce:	Mgr. Michal Bílý, Ph.D.
Garantující pracoviště:	Katedra ekologie
Jazyk práce:	Čeština
Název práce:	Variabilita fyzikálních faktorů v experimentálním úseku koryta Teplé Vltavy
Název anglicky:	Physical factor variability in an experimental Teplá Vltava stretch
Cíle práce:	Vyhodnotit heterogenitu bodových rychlostí proudu, hloubek a teplot volné i hyporeální vody v experimentálním úseku Teplé Vltavy na plochách potenciálního výskytu juvenilních jedinců perlorodky říční
Metodika:	<ul style="list-style-type: none">- vytyčení 30 experimentálních bodů na říčním dně v úseku Teplé Vltavy nad Volarským potokem (NP Šumava)- provedení opakovaných měření rychlosti proudu na těchto bodech v období červen/červenec 2021- spolupráce na instalaci záznamových teplotních čidel do mělkého hyporeálu na těchto bodech.- vyhodnocení naměřených teplotních změn v čase červen/červenec 2021- provedení obdobných měření na speciální, detailně sledované čtvercové ploše 1 x 1 m na téže lokalitě.- vyhodnocení časoprostorové heterogenity měřených parametrů- porovnání výsledků s výsledky paralelně probíhajícího bioindikčního experimentu na téže lokalitě (přežívání juvenilů perlorodky říční).
Doporučený rozsah práce:	30 stran
Klíčová slova:	hyporeál, Teplá Vltava
Doporučené zdroje informací:	<ol style="list-style-type: none">1. Folsom, R.G., 1956: Review of the Pitot tube. The American Society of Mechanical Engineers. Ann Arbor. Michigan. 14 s.2. Galia, T., 2017: Fluvialní geomorfologie. Ostravská univerzita, Přírodovědecká fakulta, Ostrava, 2017. 189 s.3. Krešl J., 2001: Hydrologie. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 128 s. ISBN 80-7157-513-5
Předběžný termín obhajoby:	2021/22 LS - FZP

Elektronicky schváleno: 28. 3. 2022
prof. Mgr. Bohumil Mandák, Ph.D.
Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno: 28. 3. 2022
prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.
Děkan

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma „Variabilita fyzikálních faktorů v experimentálním úseku Teplé Vltavy“ vypracoval samostatně a citoval jsem všechny čerpané zdroje, které jsem v práci použil a rovněž jsem všechny tyto zdroje uvedl v seznamu použité literatury.

Jsem si vědom, že na moji bakalářskou práci se 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 srozuměn s tím, že odevzdáním bakalářské 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.

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

V dne

(podpis autora práce)

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval Mgr. Michalu Bílému, Ph. D. za odborné vedení práce, cenné rady, a především za možnost zúčastnit se samotného projektu a terénních prací. Dále bych chtěl poděkovat Mgr. Ondřeji Simonovi, Ph. D. a RNDr. Jitce Horáčkové, Ph. D. za rady a pomoc při terénních měřeních. Další poděkování patří Haně Eilmsteiner, Nikole Korytové a Martě Rojtové za pomoc v terénu i při zpracování dat. Na závěr bych rád poděkoval své rodině za podporu a také všem, kteří věnují své úsilí na ochranu přírody.

Abstrakt

Tato práce se v teoretické části zabývá popisem metod, které se používají pro měření rychlosti proudu. Dále se v této části práce zabývá popisem experimentálního úseku Teplé Vltavy na Šumavě.

Ve druhé části se práce zabývá variabilitou fyzikálních faktorů v experimentálním úseku Teplé Vltavy. Cílem je popsat a vyhodnotit hodnoty hloubek, rychlostí proudu měřených nade dnem a pod hladinou a teplot hyporeální vody, které byly naměřeny během června a července roku 2021.

Klíčová slova: Hyporeál

Měření rychlosti proudu

Měření hyporeálních teplot

Abstract

In the theoretical part this work deals with a description of the methods used to measure the flow speed. Further to the work, it deals with the description of the experimental section of the Teplá Vltava in Šumava.

The second part deals with the variability of physical factors in the experimental section of the Teplá Vltava. The purpose is to describe and evaluate the values of depths and speeds of flow measured above and below the surface and also temperatures of hyporeal water, which were measured during June to July 2021.

Keywords: Hyporeal

Speed of flow measurement

Measurement of hyporeal temperatures

Obsah

1. Úvod	1
1.1 Cíle práce	2
2. Rešerše	2
2.1 Metody měření rychlosti proudu	2
2.1.1 Měření Pitotovou trubicí	3
2.1.2 Měření povrchové rychlosti plováky	3
2.1.3 Hydrometrování	3
2.1.4 Ultrazvuková metoda (Flow tracker)	4
2.1.5 ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler)	5
2.2 Popis území a zkoumané lokality	7
2.2.1 Klimatické a hydrologické podmínky na Šumavě	7
2.2.2 Poloha a popis lokality	9
3. Metodika	11
3.1 Časový harmonogram experimentu a vytyčení bodů	11
3.1.1 Postup při měření hloubky	13
3.1.2 Postup při měření rychlostí proudu	13
3.1.3 Postup při měření teplot	14
3.2 Postup při zpracování dat a interpretaci výsledků	15
3.2.1 Zpracování hloubek	16
3.2.2 Zpracování rychlostí proudu	17
3.2.3 Zpracování teplot	17
4. Výsledky	18
4.1 Naměřené hloubky	18
4.2 Naměřené rychlosti	21
4.3 Naměřené teploty	26
5. Diskuse	30
6. Závěr a přínos práce	32

7. Seznam zdrojů a použité literatury:	33
8. Seznam obrázků	35
9. Seznam tabulek	36
10. Seznam příloh	38

1. Úvod

Druhové složení společenstev a počet jedinců každého druhu na určité lokalitě je dáno mnoha faktory. Pokud se jedná o vodní organismy, můžeme mezi tyto faktory uvádět např. množství a kvalitu vhodné potravy, množství kyslíku ve vodě, teplotu vody a okolního prostředí, složení dna z hlediska zrnitosti, rychlost proudu na místě nebo v lokalitě, čistotu vody, salinitu vody nebo její hloubku. Některé druhy se vyskytují jen v rychleji tekoucích, spíše studenějších vodách pstruhového pásma (např. Vranka obecná) (Adámek, 1995), pro některé druhy jsou vhodné spíše vody pásma parmového (např. parma obecná) nebo cejnového (např. kapr obecný, cejn), tedy spíše pomaleji tekoucí, teplejší vody (Adámek, 1995). Jedním z živočichů, které mají velmi specifické nároky na okolní prostředí je perlorodka říční (*Margaritifera margaritifera*).

Perlorodka říční je mlž, který byl dříve v ČR velice rozšířený, dnes je však kriticky ohrožený. Přírodním biotopem perlorodky jsou oligotrofní, horní části řek a potoků (Beleco, z.s.). Jedná o deštníkový druh, tedy druh, který když budeme účinně chránit, docílíme ochrany celého ekosystému. Konkrétně to znamená, že pokud budeme chránit perlorodku, budeme chránit celé pestré společenstvo s vážkami a řadou dalšího hmyzu, mihulí, rakem, vrankou, pstruhem, ledňáčkem nebo vydrou, a vztahuje se také na navazující biotopy mokřadů, luk, řídkých lesů smíšených či listnatých nebo olšových luhů. (Beleco, z.s.)

V ČR je dle zákona č. 114/1992 Sb., o ochraně přírody a krajiny a podle prováděcí vyhlášky č. 395/1992 perlorodka říční vedena jako zvláště chráněný živočich, a kromě druhu samotného jsou chráněny i jimi využívaná přírodní i člověkem vytvořená místa výskytu. V současnosti běží již 3. etapa záchranného programu pro perlorodku říční, která byla schválena v roce 2013 (Beleco, z. s.). Pro ochranu perlorodky se používají různé metody, např. informování veřejnosti, ochrana kvality vody nebo regulace turistického splouvání toků, kde se perlorodka vyskytuje. Dalším nástrojem je umělé posilování populací ve volné přírodě, které se provádí výsadky mladých jedinců, prozatím do lokalit stávajícího výskytu.

Tato práce se zabývá zpracováním hodnot fyzikálních parametrů prostředí, které byly naměřeny během bioindikačního in situ experimentu, v jednoměsíční expozici juvenilních perlorodek říčních na vybraném úseku Teplé Vtavy, realizovaném během června a července roku 2021. Na vytipovaných bodech (mikrohabitátech říčního dna) bylo měřeno a posuzováno několik různých veličin

jako rychlost proudu, teplota volné a hyporeální vody, výška vodního sloupce, redukčně-oxidační potenciál, relativní i absolutní množství kyslíku a penetrometrie dna. Takto bylo sledováno 30 bodů, reprezentujících mikrohabitaty, které byly předem vyhodnocené jako potenciálně vhodné, a to hlavně na základě množství kyslíku v hyporeální vodě a variability hloubek. Po nalezení a zaměření bodů byly na nich instalovány sondy s juvenilními perlorodkami a na těchto místech byla následující měsíc prováděny kontrola měření jednotlivých parametrů. Během experimentu proběhly 4 kontroly a některé hodnoty byly měřeny i při samotném ukončení. Zároveň byly tyto veličiny měřeny na experimentálním čtverci o velikosti 1x1 m, kde byly rovněž umístěny bioindikační zařízení a mimo to i záznamové sondy měřící po celou dobu experimentu obsah rozpuštěného kyslíku.

1.1 Cíle práce

Cílem této práce je provedení měření bodových rychlostí proudu během června a července roku 2021, na vybraných 30 místech experimentálního úseku Teplé Vltavy a také uvnitř experimentálního čtverce o rozměrech 1x1 m, pracovně nazvaného superčtverec. Dále pak vyhodnotit tyto hodnoty bodových rychlostí, a rovněž hloubek a teplot hyporeální vody, které byly naměřeny během experimentu.

2. Rešerše

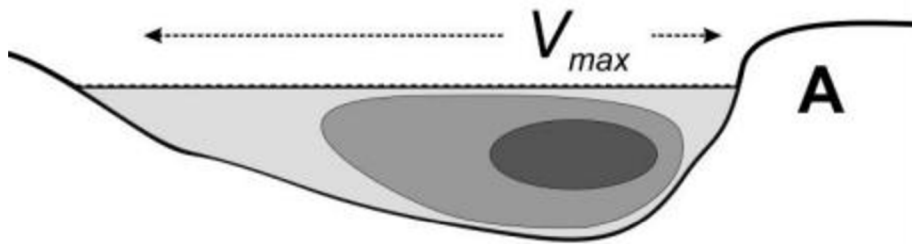
2.1 Metody měření rychlosti proudu

V případě rychlostí proudu, které byly měřeny pro tuto práci šlo pouze o rychlosti měřené v jedné svislici. Tyto rychlosti mají ukázat vhodnost mikrohabitátů pro juvenilní stadium perlorodky. Častěji je však rychlost proudu měřena za účelem zjištění průtoku a měří se v celém příčném profilu řeky.

Rozložení rychlostí v příčném profilu řeky Teplé Vltavy bylo sledováno na profilu vytyčeném Martinem Konradym. Tento profil byl vytyčen v roce 2018 (Konrady, 2019) a byl použit i v roce 2020 k umístění stejných sond s juvenilními perlorodkami, jaké se použili i v průběhu léta 2021 (Sailer, 2021).

Pokud se zaměříme na proměřovaný příčný profil a rychlosti proudu v něm, můžeme uvažovat několik předpokladů podle Galia (2017). Jedním je, že vinnou drsnosti dna se nejnižší rychlosti proudu obvykle naměří u dna a břehů. Menší vliv má pak vnitřní tření společně se zatížením unášenými částicemi sedimentu a dochází také ke tření na rozhraní voda – atmosféra. Na rozložení rychlostí v příčném profilu má velký vliv samozřejmě tvar dna, hloubka, překážky v toku nebo

množství makrofyt na dně, umístění proudnic, a tedy i tvar toku proti proudu řeky. Po zvážení těchto předpokladů můžeme v proměřovaném profilu, při pohledu proti proudu, čekat podobné rozložení rychlostí jako na obr. 2.1.



Obr. 2.1: Rozložení rychlostí proudění v říčním korytě. Tmavší šedá barva označuje vyšší rychlosti proudu (Galia, 2017)

2.1.1 Měření Pitotovou trubicí

U malých toků při nízkých průtocích se rychlost proudu dá změřit Pitotovou trubicí, což je trubička ohnutá do pravého úhlu, na obou koncích otevřená. Prvně tuto trubicí použil H. Pitot k měření rychlosti proudu v roce 1732 (Folsom, 1956). Při vlastním měření se trubička postaví do proudu vodorovným ramenem proti proudu. Sloupec vody ve svislém rameni díky kinetické energii vystoupá do výšky H . Tato výška se dle Bernoulliho rovnice rovná výšce rychlostní a rychlost u ústí trubice se vypočítá dle vzorce:

$$V_0 = \phi * (2 * g * H)^{1/2},$$

kde ϕ je rychlostní součinitel, který se stanovuje „tárováním“. (Krešl, 2001)

2.1.2 Měření povrchové rychlosti plováky

Nejméně náročný způsob na měření rychlostí je plováková metoda. Používá se pouze pro zjištění povrchové rychlosti a také není příliš přesná. Na toku se vybere co nejpřímější úsek se známou délkou. Tato délka by měla být asi 3-5 násobek šířky toku a měla by být celé číslo. Označíme začátek a konec měrného úseku a poté vhadujeme na začátku úseku do vody plováky, nejlépe dřevěné špalíky a měříme čas nutný k překonání měrného úseku špalíkem. Čas nutný k překonání měrného úseku označíme t [s] a dráhu neboli délku měrného úseku L [m], výsledná povrchová rychlost se rovná $v = L/t$. (Krešl, 2001)

2.1.3 Hydrometrování

K měření se používá hydrometrická vrtule, což je vrtule umístěná na tyči, případně na laně, s označením vzdáleností. Je to nejpoužívanější přístroj v hydrometrické praxi. Vrtule jsou různých typů a velikostí, všechny ovšem fungují

na principu počítání otáček za určitý časový úsek, některé vrtule nám dají jako výsledek počet otáček a jiné ukážou přepočtenou rychlost na m/s. U některých typů např. typu METRA – FBI se měří časový úsek mezi 50 otáčkami. (Krešl, 2001)

Měření se provádí, v případě menších hloubek na toku tak, že měřič si ve vhodném ochranném oděvu stoupne čelem proti proudu a vrtuli připevněnou na tyči nastaví do požadované hloubky. Poté ponoří vrtuli tak, aby ta směřovala přímo proti proudu. Dává přitom pozor, aby vlastním tělem neovlivňoval měření a aby byla tyč s vrtulí stále svisle.

Pokud je hloubka příliš velká pro měření v ochranném oděvu, lze využít lodě. Používají se kanoe, pramice atd. Aby však plavidlo zůstalo na místě je potřeba příčně přes tok napnout silnější lano a na něj loďku přivázat. Pokud je potřeba měřit ve větších hloubkách než dovoluje tyč u hydrometrické vrtule, dá se vrtule zavěsit na lano s dostatečnou kotvou tak, aby lano viselo i v proudu svisle. Takto se dá bez větších obtíží měřit i z mostu. (Hrádek, Kuřík, 2008)

Z takového měření získáme počet otáček N za čas T [s], z čehož vypočteme:

$$n = N/T \text{ [ms}^{-1}\text{]},$$

tedy specifické otáčky vrtule. Poté ze vztahu, který udává norma ČSN ISO 3455 a jenž zahrnuje vliv mechanických i hydraulických odporů a vypadá takto:

$$v = \alpha_i + \beta_i n \text{ [m/s]},$$

vypočteme bodovou rychlost v m/s. Hodnoty α_i a β_i jsou kalibrační konstanty vrtule. Konstanta α_i zhruba odpovídá rychlosti proudění, při které se vrtule začne točit a konstanta β_i je blízká stoupání propeleru vrtule. Hodnotu kalibračních konstant získáme na základě dat z kalibrační procedury. Určují se, dle ISO 3455, tažením vrtule konstantní rychlostí v klidné vodě (VÚV TGM ©2009-2021).

2.1.4 Ultrazvuková metoda (Flow tracker)

U této metody se měří rychlost vody elektronickým průtokoměrem, a to v oblasti nad sondou, jež je umístěna obvykle na dně. Metoda využívá Dopplerova jevu a je zřejmě nejvhodnější pro měření při nižších stavech hladiny a při nižších rychlostech proudu do 4 m/s (ProfiLab24 ©2022). Pro vyhodnocování rychlosti proudění se využívá měření změny frekvence mezi signálem vysílaným ze sondy a odraženým od vznášených nerozpuštěných látek (PARS aqua s.r.o. ©2021). Přístroj (Obr. 2.2) vyhodnocuje energetické zastoupení jednotlivých odražených frekvencí a vypočítává průměrnou rychlost nerozpuštěných látek, které se vznášejí v toku. Určená rychlost se považuje za průměrnou rychlost částic ve vymezeném prostoru nad

sondou. Hloubka vody se obvykle měří ultrazvukovou sondou nad hladinou. Další možností je sonda pneumatická nebo piezometrická. Průtok se vypočítá ze známé geometrie toku, z měřené hloubky a z rychlosti částic, která se považuje za průměrnou rychlost vody v celém měrném profilu (PARS aqua s.r.o. ©2021). Při výpočtu tedy jde o velmi podobný postup jako při měření hydrometrickou vrtulí. Nevýhodou je vyšší cena používané elektroniky, obtížná kontrola a kalibrace. Výhodami jsou rychlá instalace, minimální nutnost úprav koryta nebo nulová hydraulická ztráta (PARS aqua s.r.o. ©2021). Proudění by se mělo blížit laminárnímu a metoda je nepoužitelná také na tocích zarostlých vegetací (Švihálek, 2011).



Obr. 2.2: SonTek FlowTracker (převzato z URL 1)

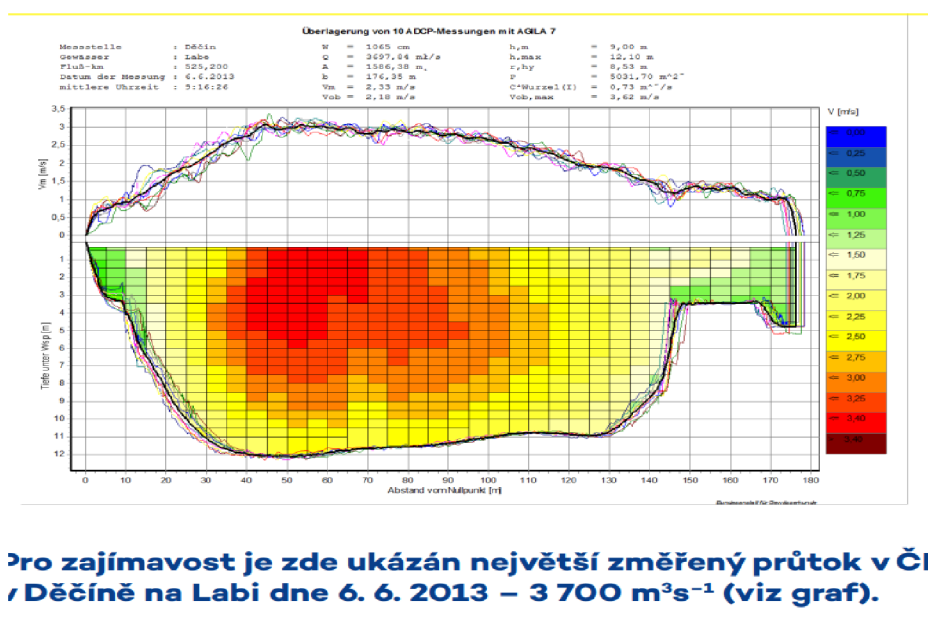
2.1.5 ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler)

Tato metoda využívá také Dopplerova jevu a také funguje na principu snímání změn rychlosti ultrazvukových vln probíhajících po a proti proudu kapaliny. Pomocí sonaru, který generuje a detekuje ultrazvuk, se zaznamenává rychlost proudění vody v profilu toku. Celá souprava se skládá ze čtyř komponent: čidlo (sonda), plastový plovák katamaránové konstrukce (Obr. 2.3) nebo hydroboard (Kabelka, 2016), komunikační modem s online přenosem a počítač s aplikací (vše je plně automatizováno a výpočet je proveden počítačem) (Švihálek, 2011).



Obr. 2.3: Plovák katamaránové konstrukce (převzato z URL 2, 2022)

Plastový plovák bývá tažen přes tok po laně nebo systémem lanovky (Švihálek, 2011). Přístroje jsou několika typů s různým počtem senzorů (např. 5 nebo 9). Různé typy přístrojů mohou měřit v různém rozsahu, některé typy měří jen v hloubkách od 0,2-5 m, jiné v rozmezí 0,2-40 m (SonTek © 2016–2018), některé mohou měřit až do hloubky 50 m (Švihálek, 2011). Tato metoda se nedá použít pro rychlosti větší než 20 m/s (SonTek © 2016–2018). Tato metoda je poměrně přesná, umožňuje dobře stanovit rozložení rychlostí v příčném profilu (Obr. 2.4), a hlavně je velmi rychlá, měření i jeho vyhodnocení je hotové během několika minut a nemusíme se přemísťovat po toku. Nevýhodami jsou nutnost poměrně pravidelného koryta a nevhodnost do toků zarostlých vegetací (Švihálek, 2011).

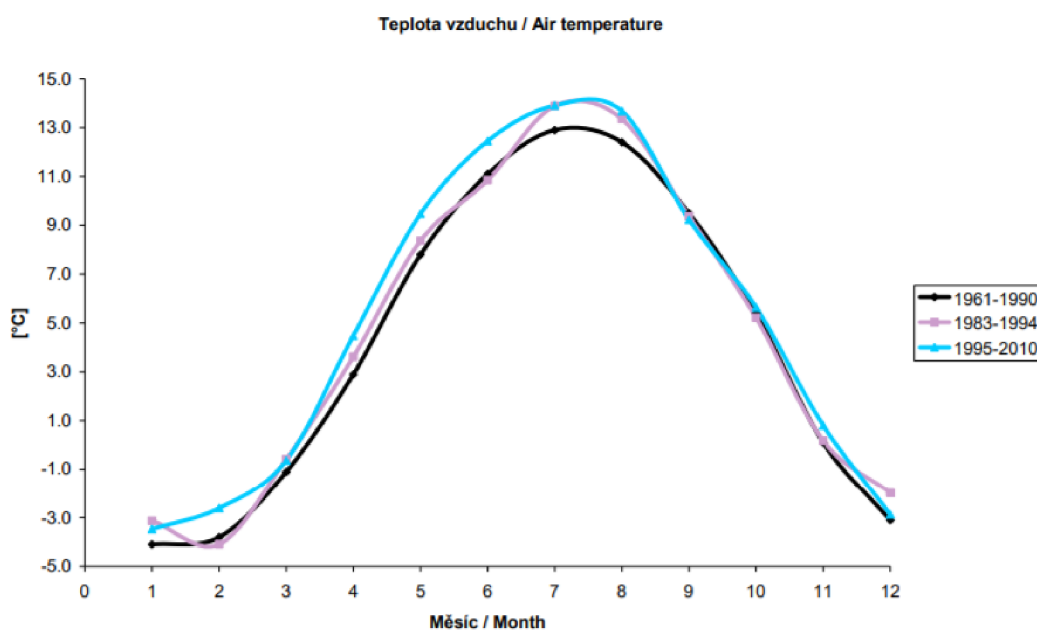


Obr. 2.4: Výstup z měření metodou ADCP (ČHMÚ ©2022)

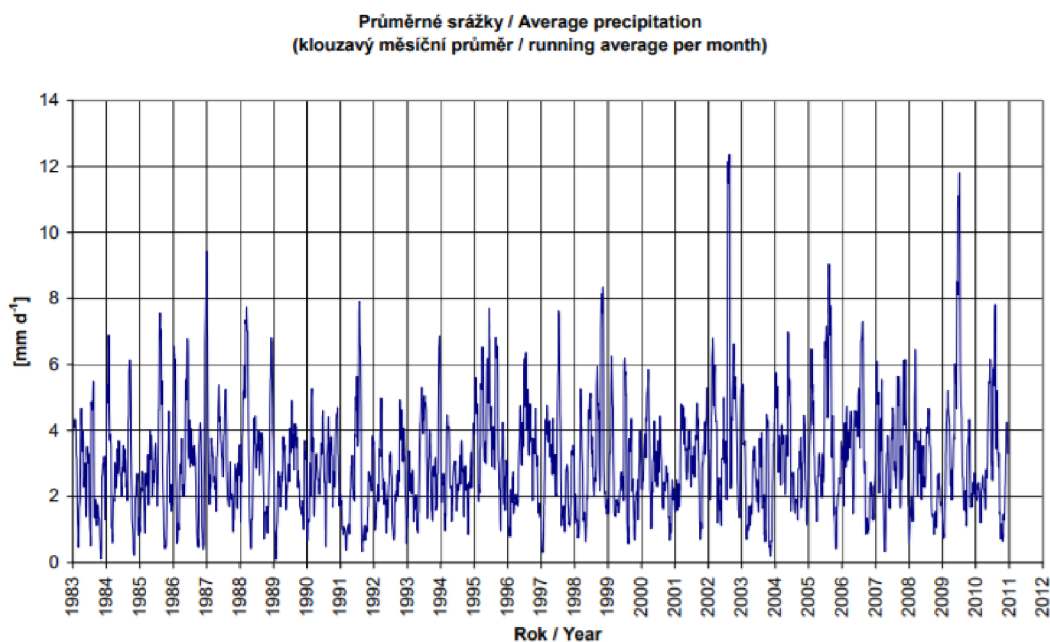
2.2 Popis území a zkoumané lokality

2.2.1 Klimatické a hydrologické podmínky na Šumavě

Klima se na Šumavě v posledních desetiletích prokazatelně změnilo. Na základě dat z meteorologické stanice Churáňov byly již v roce 2011 popsány změny klimatu v letech 1983-2010 (Matějka, 2011). Byl zjištěn nárůst průměrné meziroční teploty o 0,045 °C za jeden rok, přičemž vzrůst průměrné teploty za měsíce duben až srpen je až 0,055 °C za rok (Obr. 2.5). Také byl v těchto letech zaznamenán nárůst průměrného denního úhrnu srážek o 0,02 mm/den za rok, ve vegetačním období byl pak nárůst průměrného denního úhrnu až 0,046 mm/den za rok. Změnilo se také rozložení srážek během roku. Snížení úhrnu srážek bylo zjištěno v měsících duben až červenec, naopak u úhrnů v období od srpna do října došlo ke vzrůstu průměrných denních úhrnů srážek. Ve zkoumaných letech byl také zaznamenán zvýšený výskyt a maximální hodnota extrémů úhrnů srážek, konkrétně v letech 2002 a 2009 (Obr. 2.6). (Matějka, 2011).



Obr. 2.5: Roční chod měsíčních průměrů teplot vzduchu na stanici Churáňov v rozlišených klimatických periodách ve srovnání s třicetiletým normálem 1961-1990. (Matějka, 2011)



Obr. 2.6: Klouzavý měsíční průměr denních úhrnů srážek na stanici Churáňov v letech 1983-2010. (Matějka, 2011)

V následující tabulce (Tab. 2.1) jsou uvedeny některé klimatické charakteristiky pro měsíce červen a červenec v letech 2019 až 2021 (ČHMÚ ©2022). Zvýrazněny jsou hodnoty roku 2021 během kterého došlo k naměření hodnot použitých v této práci.

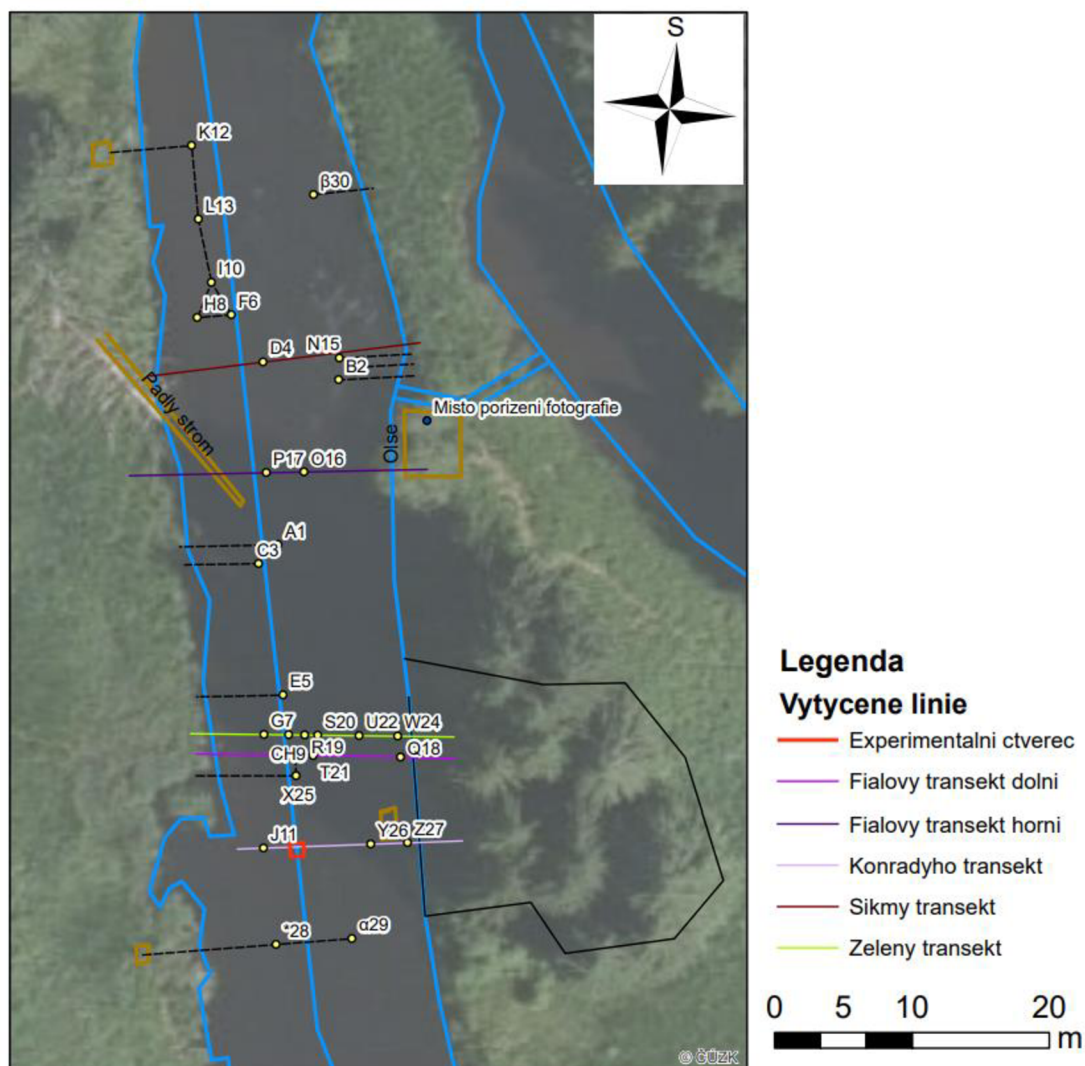
Tab. 2.1: Údaje z meteorologické stanice Volary z měsíců červen a červenec za roky 2019-21. (ČHMÚ ©2022, upravil Jeřábek, 2022)

	2019		2020		2021	
Měsíce	6	7	6	7	6	7
Průměrná měsíční teplota - (z měření po 5 minutách)	18,5	17,1	14,0	15,4	16,5	16,3
Průměrná měsíční teplota - (7, 14, 2x21 h)	18,7	17,1	14,2	15,4	16,6	16,3
Max. teplota	32,8	32,5	27,7	29,3	29,7	29,5
Min. teplota	6,8	3,4	2,6	3,3	-0,3	6,1
Min. relativní vlhkost	28,0	28,0	39,0	34,0	30,0	37,0
Úhrn srážek	86,6	59,0	147,8	77,0	108,8	129,0
Výpar	243,2	204,4	161,0	202,7	221,0	191,3
Tlak vzduchu □ max.	1025,7	1023,8	1023,5	1026,7	1023,9	2021,3
Tlak vzduchu □ min.	1003,4	998,2	993,6	1008,1	1001,9	1003,0
Vítr □ max. rychlost v nárazu	16,7	15,8	14,0	14,9	17,6	14,9
Délka slunečního svitu	304,8	243,1	189,3	264,8	273,6	232,9
Sluneční energie - úhrn	3,5	2,9	2,3	3,0	3,0	2,7
Sluneční svit □ max. intenzita	71,0	18,3	18,6	19,1	18,2	64,4

2.2.2 Poloha a popis lokality

Zkoumaná lokalita se nachází na řece Teplá Vltava, v I. zóně Národního parku Šumava mezi osadou Soumarský most a soutokem Teplé Vltavy a Volarského potoka. Lokalita se nachází mezi dvěma hydrologickými stanicemi, a to stanicí Lenora na 396,2 km a stanicí Chlum na 377,7 km (ČHMÚ ©2022). Zkoumaný úsek leží cca 1300–1600 m (postupuje-li se starým korytem 1600 m) proti proudu od soutoku Teplé Vltavy a Volarského potoka.

Samotný úsek pro umístění 30 měřených bodů a bioindikačních sond je cca 500 m dlouhý, poměrně rovný, úsek řeky (Obr. 2.7). Mezi výrazné orientační prvky (v roce 2021) se zde dá počítat padlý strom (Obr. 2.8), který zasahuje do 1/3 šířky řeky, uskupení balvanů, které při nižších stavech vyčnívají z vody u levého břehu, nebo žlab, který vybudovali bobři na levém břehu, vedoucí do boční tůně.



Obr. 2.7: Experimentální úsek na Teplé Vltavě se zobrazením 30 vybraných bodů pro bioindikační sondy, vytyčených transektů, experimentálního čtverce, místa pořízení fotografie na obr. 2.8 a výrazných orientačních prvků (pro rok 2021). Černá linie označuje hranici skupiny stromů, které sloužily jako tábořiště (Jeřábek, 2021)

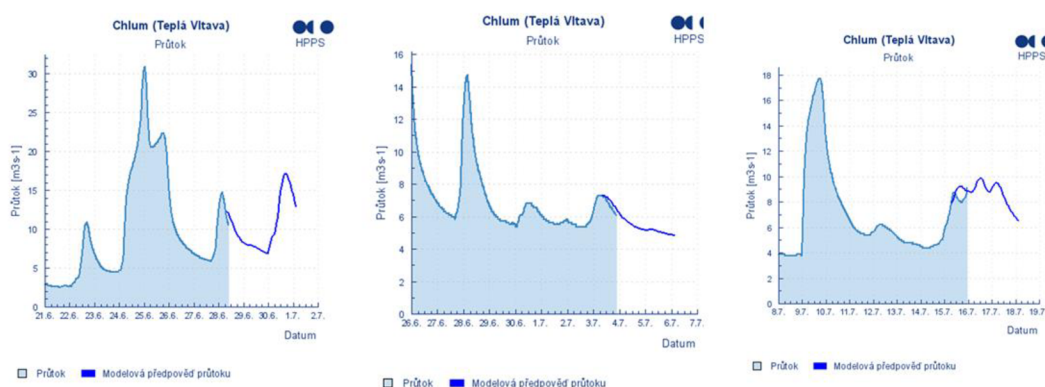


Obr. 2.8: Pohled na lokalitu od východu, místo pořízení fotografie na obr. 2.7 (Rojtová, 2021)

Průtoky na Teplé Vltavě byly monitorovány na hydrologické stanici Chlum (ČHMÚ ©2022). V prvních termínech měření byl zaznamenáván pouze nejvyšší dosažený denní průtok (Tab. 2.2). Změny průtoku jsou však lépe pozorovatelné z grafů (Obr. 2.9), které popisují průběžné změny průtoku v období od 21.6. do 16.7.2021.

Tab. 2.2: Nejvyšší dosažený denní průtok při měření 9.6. – 20.6.2021 (Horáčková, 2021)

Datum	9.6	10.6	11.6	12.6	13.6	14.6	20.6
$Q_{\max} - HS$ Chlum [m^3/s]	3,57	5,73	4,35	5,03	3,91	3,35	2,59



Obr. 2.9: Kolísání průtoku v období od 21.6. – 16.7.2021 (převzato z URL 3, upravil Jeřábek, 2022)

3. Metodika

3.1 Časový harmonogram experimentu a vytyčení bodů

První práce v terénu proběhly 9.-11.6.2021, kdy byly vybírány body pro umístění sond. Bylo zaměřeno 32 bodů, které byly vybrány na základě redukčně oxidačního potenciálu (Redox), který vypovídá o množství kyslíku v hyporeální vodě a byl měřen cca 3 cm pod povrchem dna. Jako potřebná hodnota bylo považováno alespoň 200 mV (optimální až okolo 300 mV), jako spodní mezní hodnota pak 100 mV. Pokud byl redox nižší, uvažovalo se na místě malé množství kyslíku a bod nemohl být použit. Následně byly tyto body posouzeny z hlediska hloubky, kde se kladl důraz na rozmanitost hloubek s tím, že nejmělkčí bod musí zůstat pod vodou i při nízkých stavech vody a nejhlouběji položený bod musí být možné zkontrolovat i při vysokých stavech vody bez nutnosti použití potápěcí výstroje. Po tomto zaměření a posouzení bodů bylo rozhodnuto, že se 3 body nepoužijí, buď kvůli nevhodné

hloubce nebo nízkému redukčně-oxidačnímu potenciálu. Umístění vybraných bodů bylo označeno kovovými hřeby na jejichž vrchu byl přivázaný barevný provázek, aby bylo snadné je později najít. Každý bod, vybraný pro umístění bioindikační sondy, byl označen písmenem a číslem (např. A1, B2... Z27, *28, α29, β30). Rovněž pro snazší nalezení bodů bylo vytyčeno několik příčných profilů – transektů. Každý takový profil byl označen barevným provázkem, který se po měření uklidil. Každý transekt označoval umístění jednoho nebo více bodů (Obr. 2.8). Na šikmém transektu se nacházel bod D4, na fialovém transektu horním (bráno po proudu) se nacházely body P17 a O18, na zeleném transektu byly body G7, CH9, R19, S20, U22 a W24, na fialovém transektu dolním se nacházely body Q18, T21 a V23, Nejnižše po proudu se nacházel Konradyho transekt, na kterém byly body J11, Y26 a Z27.

Další práce v řece se prováděly 12.-14.6.2021. Došlo k nalezení a zaměření posledního chybějícího bodu a zároveň probíhala instalace bioindikačních sond (Příloha 12) a měření hloubky, množství kyslíku a teplot hyp. vody u všech 30 bodů.

Byl také označen experimentální čtverec o rozměrech 1x1 m, pracovně nazvaný superčtverec, který byl vytyčen již dříve v rámci tohoto projektu. Čtverec byl rozdělen po 10 cm, takže vznikla síť, kde každý dílčí čtverec má označení ve tvaru písmene a čísla, např. A1, B2 K10. Při zaměřování superčtverce proběhla v každém dílčím čtverci penetrometrie a měření redukčně oxidačního potenciálu.

Bylo stanoveno, že během plánovaného měsíce, kdy budou sondy v řece, proběhnou 4 kontroly při nichž se bude měřit na každém ze 30 bodů i u bioindikačních destiček a O2 sond v superčtverci hloubka, rychlost proudu 5 cm pod hladinou a nade dnem, absolutní a relativní množství kyslíku v hyporeálové vodě a teplota hyporeálové vody. Kontroly měly být, pokud možno v pravidelných časových odstupech v závislosti na aktuálním průtoku, kvůli pracnosti a bezpečnosti. Průtok v tomto měsíci byl však velmi proměnlivý (Obr. 2.9), takže nakonec kontroly proběhly v datech 20.6.,5.7.,13.7. a 22.7..

Poslední série prací proběhla, vzhledem k počasí, později oproti plánu, v datech 23.7.-24.7., kdy se z řeky vyndaly sondy a proběhla diurnálka, tj. 24hod. měření, při kterém se odebíraly vzorky, v superčtverci.

Časový harmonogram experimentu a hodnoty měřené v každém termínu jsou uvedeny v příloze (Příloha 11).

Při všech činnostech v řece byly pro porovnání a kontrolu měřeny také hodnoty nasycení kyslíkem a teploty volné vody. Zároveň byla teplota kontinuálně měřena

záznamovými teploměry HOBO Pendant, umístěnými u bioindikačních sond na všech 30 bodech i u bioindikačních destiček (Příloha 12) a kyslíkových sond uvnitř superčtverce. Kontinuální průběh teplot ve volné vodě zaznamenávaly dvě kontinuální O₂ sondy, které byly přivázané dostatečně dlouhým provázkem ke kořenům na levém břehu tak, aby byly sondy ponořené i při nízkých průtocích. Hodnoty volné vody naměřené multimetrem a kontinuální řady teplot hyporeání i volné vody měřené záznamovými teploměry, resp. kontinuálními O₂ sondami, však nejsou součástí této práce.

Následuje popis metod měření těch parametrů. Jejichž sledování bylo součástí této BP.

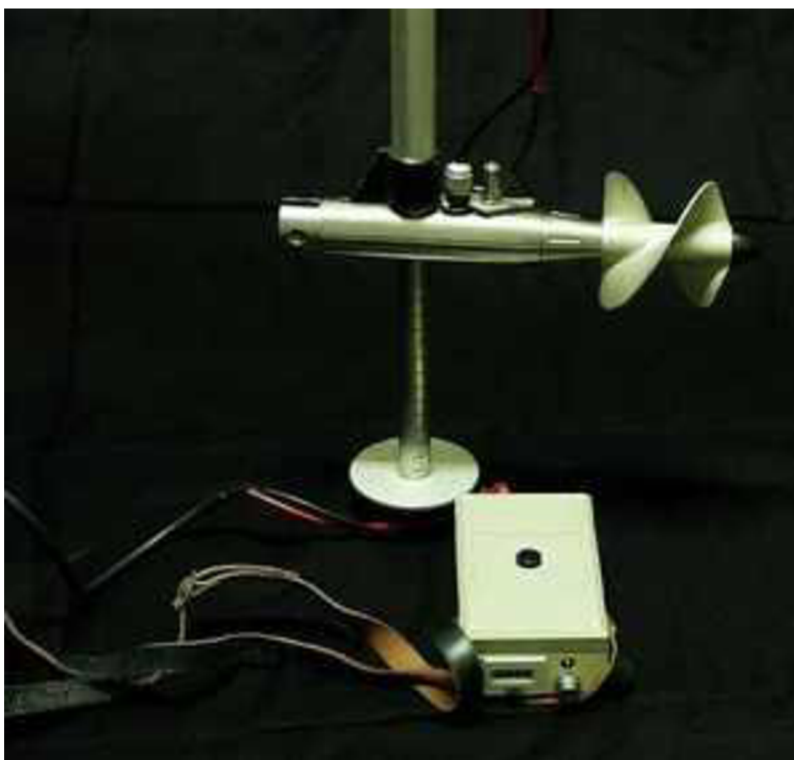
3.1.1 Postup při měření hloubky

Měření hloubky bylo provedeno pomocí dřevěné lať s označením po 10 cm. Námi použitá lať byla vyrobena na terénní výzkumné stanici. Při vlastním měření se přistoupilo k bodu proti proudu a lať se špičkou postavila na dno blízko hřebíku označujícímu polohu bodu nebo přímo na hřebík, pokud byla jeho hlava v rovině se dnem. Na lati se přesně dají stanovit desítky centimetrů a jednotky se odhadují.

3.1.2 Postup při měření rychlosti proudu

Rychlost proudu byla měřena hydrometrickou vrtulí typu SEBA (Obr. 3.1). Po příchodu do tábora, tedy stanoviště na břehu u experimentální lokality, se vrtule složila z jednotlivých dílů a zkontroloval se stav baterie. Při samotném měření se dbalo na to, aby měřič stál po proudu za vrtulí a samotná vrtule, aby byla stále svisle a aby se proud do vrtulek opíral plnou silou zepředu. Také se muselo dávat pozor, aby před místem měření nebylo cokoli, co by bránilo normálnímu proudění vody v místě měření. Po zapnutí přístroje se 30 vteřin počítá počet otáček způsobených proudem. Po uplynutí 30 vteřin přístroj pípne a ukončí se měření. U 30 bodů se sondami i u sond a biodestiček v superčtverci se rychlost měřila 5 cm pod povrchem hladiny a také 5 cm nade dnem.

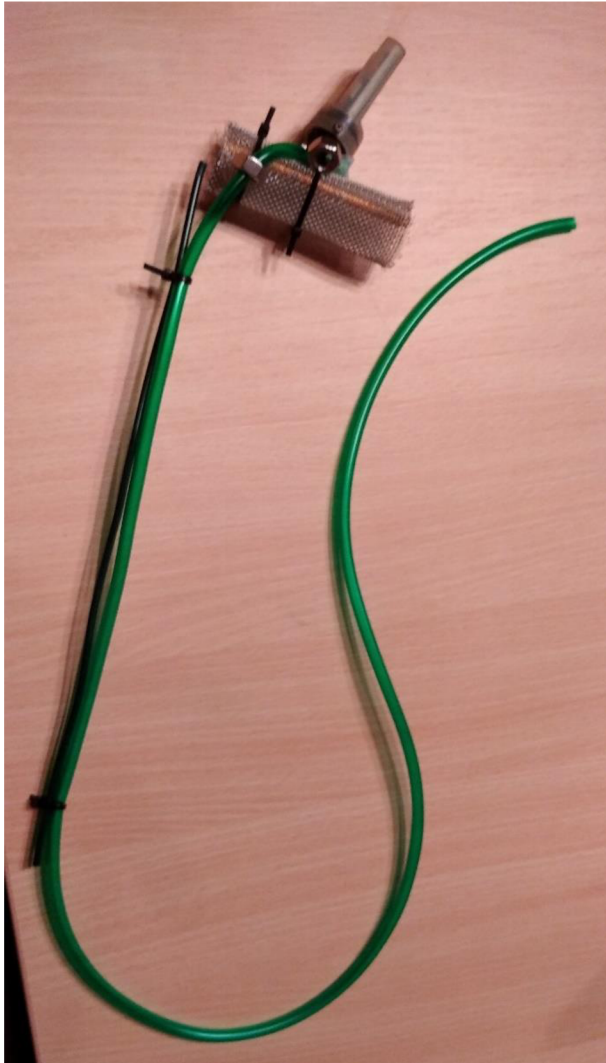
Dále se jednorázově proměřovala rychlost na Konradyho transektu. V případě tohoto příčného profilu se rychlost proměřovala 5 cm pod hladinou a nade dnem, i 30 cm pod hladinou, pokud to hloubka na místě dovolovala.



Obrázek 3.1: Hydrometrická vrtule SEBA (převzato z URL 4, 2022)

3.1.3 Postup při měření teplot

Měření všech teplot, tedy hyporeálních i volné vody, se provádělo multimetrem WTW a voda pro měření byla odebírána z hloubky 3 cm, v superčtverci i z hloubky 13 cm, a to pomocí hadiček trvale připojených k bioindikačním sondám (Obr. 3.2), kontinuální O₂ sondě nebo bioindikační destičce a zasahujícím svým spodním koncem do odebírané hloubky hyporeálu. V případě superčtverce, kdy na jednom bodě byly hadičky ve dvou různých hloubkách, byly tyto hadičky rozlišeny různou barvou pro každou měřenou hloubku. Při měření hyporeálních teplot se postupovalo tak, že se injekční stříkačka spojila s hadičkou, poté se nasála jedna plná stříkačka, která se vylila, protože obsahovala vodu ze samotné hadičky, nikoliv hyporeální vodu proudící blízko sond, resp. destiček. Při vylévání první stříkačky se hadička držela zlomená pod vodou, aby se zabránilo natečení volné vody do hadičky. Následně byl odebrán vzorek vody pro měření multimetrem nasátím druhé stříkačky. Do vzorku pak byla ponořena měřící sonda multimetru a zamezilo se přístupu vzduchu ke vzorku. Teploty se odečítaly z displeje v prvních několika vteřinách po začátku měření, protože okolní teplota a teplo z rukou měřiče okamžitě začalo výsledek měření ovlivňovat.



Obrázek 3.2: Sonda na juvenilní perlorodky s teploměrem a hadičkou s kotvou na odebrání vzorků vody (Rojtová, 2021)

3.2 Postup při zpracování dat a interpretaci výsledků

Při popisu a schematizaci dat jsem postupoval tak, že jsem vypracoval zjednodušenou popisnou statistiku, která ukáže maximální a minimální hodnotu, průměr, medián, počet hodnot, rozsah a směrodatnou odchylku hodnot celé sady hloubek, rychlostí u dna i hladiny a hyporeálních teplot. Tato statistika byla vytvořena pro sadu 30 bodů a také pro hodnoty naměřené uvnitř experimentálního čtverce.

Poté bylo potřeba vybrat jeden termín měření takový, aby v tomto termínu byla měřena všechna data u všech bodů a tato data se mezi sebou případně mohla porovnat. Termín 9.-11.6.2021 není vhodný, protože obsahuje data hloubek i rychlostí jen k 29 bodům a teploty hyporeální vody tu zcela chybí. Termín 12.-14.6.2021 obsahuje všechna data hloubek i teplot, ale během tohoto termínu byla

rychlost proudu měřena pouze u bodu $\beta 30$. Navíc, protože tyto dva termíny zahrnují více dnů, průtok v jednotlivých dnech ovlivňuje hodnotu naměřených hloubek a rychlostí. Nejvhodnější termín je tedy první kontrola 20.6.2021, kdy data obsahují všechny hloubky ke 30 bodům, stejně tak všechny rychlosti u dna i hladiny i hodnoty všech hyporeálních teplot, a to platí i pro všechny hodnoty v experimentálním čtverci (Příloha 11). Během tohoto termínu byl průtok nejnižší ze všech termínů, pouhých $2,59 \text{ m}^3/\text{s}$ a měření proběhla nejrychleji, díky vhodným podmínkám. Díky nízkému průtoku je také snižena šance, že data obsahují chybu. Proto byla popisná statistika zpracována také pro hodnoty naměřené 20.6.2021.

Výsledky výše zmíněných statistik nám ukazují variabilitu hloubek, rychlostí u dna i hladiny a hyporeálních teplot, v čase i prostoru.

U každého ze 30 bodů byla následně zjištěna nejvyšší a nejnižší naměřená hodnota hloubky, rychlosti proudu 5 cm nade dnem a teploty hyporeální vody. Tyto maximální, resp. minimální hodnoty byly srovnány s počtem přeživších juvenilních perlorodek ze 30 trubicových bioindikačních sond (Příloha 12). Byl vyřazen bod S20, protože při vyndávání sondy došlo k vysypání jejího obsahu (Příloha 5). Také vznikly grafy zobrazující u každého ze 30 bodů rozdíl mezi maximální a minimální naměřenou hodnotou hloubek, rychlosti u dna i hladiny a hyporeálních teplot.

3.2.1 Zpracování hloubek

Nejdříve byla zpracována popisná statistika hloubek (Tab. 4.1) pro data z průběhu celého experimentu (Příloha 1), určilo se, ve kterém termínu a u kterého bodu je naměřeno maximum a minimum, průměr nebo medián. Další statistika obsahuje pouze data z termínu 20.6. (Tab. 4.2). Tato data byla podkladem k zobrazení průběhu hloubek z celého experimentu v grafu (Obr. 4.1). Aby byl graf přehledný bylo potřeba vybrat reprezentující hodnoty celé sady. Jako tyto hodnoty byly vybrány minimum, maximum, průměr a medián sady dat z 20.6., a byly vybrány dva další body tak, aby tyto body graf vhodně doplňovaly.

U hloubek naměřených uvnitř superčtverce byly statistiky zpracované pro data z celého experimentu (Tab. 4.3) a také pro data z 1. kontroly 20.6.2021 (Tab. 4.4). Zde byla data pouze pro všechny 4 kontroly bez dat před a při začátku experimentu. Také byla z výpočtů vyřazena hodnota naměřená 13.7. u bodu C3, protože byla velmi nízká. Rozdíl mezi 3. a 4. kontrolou byl u ostatních bodů do 5 cm, zatímco u bodu C3 byl tento rozdíl 10 cm (Příloha 6).

3.2.2 Zpracování rychlostí proudu

Jako v případě hloubky jsem i u rychlosti proudu u dna i hladiny nejprve vypracoval popisnou statistiku (Tab. 4.5, 4.6) pro data ke 30 bodům z celého experimentu. Hodnota u bodů C3 a E5 byla u dnových rychlostí v termínu 9.-11.6.2021 nahrazena hodnotami z 2. kontroly, kdy byla naměřena podobná rychlost u hladiny, protože původní data byla nepravděpodobně nízká, zřejmě vinnou chybou měření nebo zápisu dat. Dále bod β30 byl ve výpočtech zahrnut do termínu 9.-11.6.2021, aby byla data přehlednější a lépe se s nimi pracovalo. Ze všech výpočtů byl taky vyřazen bod P17 během kontroly 20.6. a to proto, že na místě je zřejmě turbulentní proudění a námi naměřená povrchová rychlost je velice nízká, což by mohlo vést k chybě při samotném vyhodnocování výsledků statistiky (Příloha 2, 3). Poté byla vytvořena statistika opět pro kontrolu 20.6.2021 (Tab. 4.7, 4.8).

V případě rychlostí proudu není tolik důležitá hodnota průměru a mediánu sady dat jako její maximum a minimum, proto do grafů (Obr. 4.5, 4.6), zobrazujících průběh rychlostí, byly vybrány body s hodnotami, na které statistika ukázala jako na nejmenší, resp. největší. Bod P17 je použit i s hodnotou z 20.6., aby byl vidět možný vliv na celkovou i dílčí statistiku rychlostí proudu u dna i u hladiny.

Uvnitř experimentálního čtverce byly rychlosti proudu měřeny u O2 sond a bioindikačních destiček. Měření u O2 sond probíhalo v termínech 14.6., 20.6., 5.7., 13.7. a 22.7.2021, zatímco u bioindikačních destiček byla rychlost proudu měřena pouze v termínech 20.6., 13.7. a 22.7. (Příloha 7, 8). Pro rychlosti proudu u dna i u hladiny byla vytvořena popisná statistika dat z celého experimentu (Tab. 4.9, 4.10) a rovněž pro kontrolu 20.6.2021 (Tab. 4.11, 4.12).

Pro rychlosti proudu naměřené ve vytyčeném příčném profilu byla v excelu vytvořena zjednodušená rastrová vrstva, kde každý čtverec nese informaci o své poloze a barvou vyjadřuje hodnotu nějaké veličiny (Gymnázium Vlašim © 2022), v našem případě rychlost proudu. Hodnota u dna na svislici 7 m od levého břehu vznikla průměrem z hodnot u dna na svislicích 6,5 a 7,5 m od levého břehu, protože měření na tomto místě bylo příliš ovlivněno makrofyty (Obr. 4.4)

3.2.3 Zpracování teplot

Teploty naměřené multimetrem u 30 bodů s juvenilními perlorodkami (Příloha 4) byly zpracovány pomocí popisné statistiky, kterou se opět určily hodnoty, vypovídající o celé sadě dat. Popisná statistika byla vytvořena pro celou sadu dat (Tab. 4.13) a obsahuje termíny 12.-14.6., 20.6., 5.7., 13.7. a 22.7.2021. Další popisná statistika byla vytvořena pro data z kontroly 20.6. (Tab. 4.14).

Uvnitř superčtverce byly popisné statistiky vytvořeny pro teploty naměřené multimetrem 3 a 13 cm pod úrovní dna, u bioindikačních destiček i O2 sond, pro období od 14.6. do 22.7.2021 (Tab. 4.15, 4.17) a také pro kontrolu 20.6.2021 (Tab. 4.16, 4.18). U obou kontrolovaných hloubek chybí data ze 14.6. u bioindikačních destiček. V hloubce 3 cm chybí data u bodu G3 při kontrolách 13. a 22.7. a u bodu G8 při kontrole 22.7., protože došlo k vytržení hadiček při pokusu odebrat vzorek (Příloha 9, 10).

4. Výsledky

4.1 Naměřené hloubky

Zde jsou uvedeny výsledky popisné statistiky u hloubek naměřených během celého experimentu (Tab. 4.1) a při první kontrole 20.6.2021 (Tab. 4.2) u 30 experimentálních bodů.

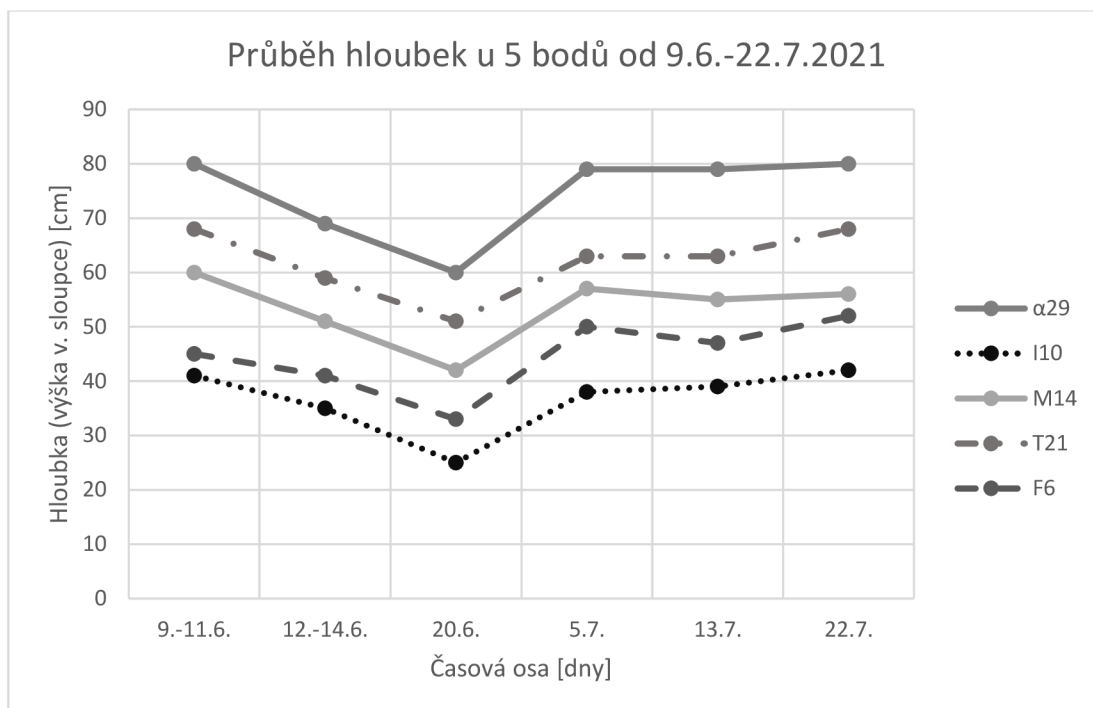
Tab. 4.1 (vlevo) a 4.2 (vpravo): Popisná statistika hloubek zjištěných od 9.6. do 22.7.2021 (vlevo) a 20.6.2021 (vpravo) u 30 bodů (Jeřábek, 2022)

Popisná statistika hloubek u 30 bodů (9.6.- 22.7.2021) [cm]	
Počet hodnot	179
Průměr	53,34078212
Min.	25
Max.	80
Medián	53
Max-min.	55
Směr. odchylka	5,950617284

Popisná statistika hloubek u 30 bodů (20.6.2021) [cm]	
Počet hodnot	30
Průměr	41,66666667
Min.	25
Max.	60
Medián	42
Za průtoku Q [m ³ /s]	2,59
Směr. odchylka	8,577777778

V případě celé sady byla minimální hodnota naměřena u bodu I10 (25 cm), za průtoku 2,59 m³/s během kontroly 20.6.2021, zatímco maximální hodnota byla zjištěna u bodu α29 (80 cm) a to hned 2x, v termínech 9.-11.6. a 22.7. Rozdíl maximální a minimální hodnoty je 53 cm. V těchto datech byl průtok až 5,73 m³/s.

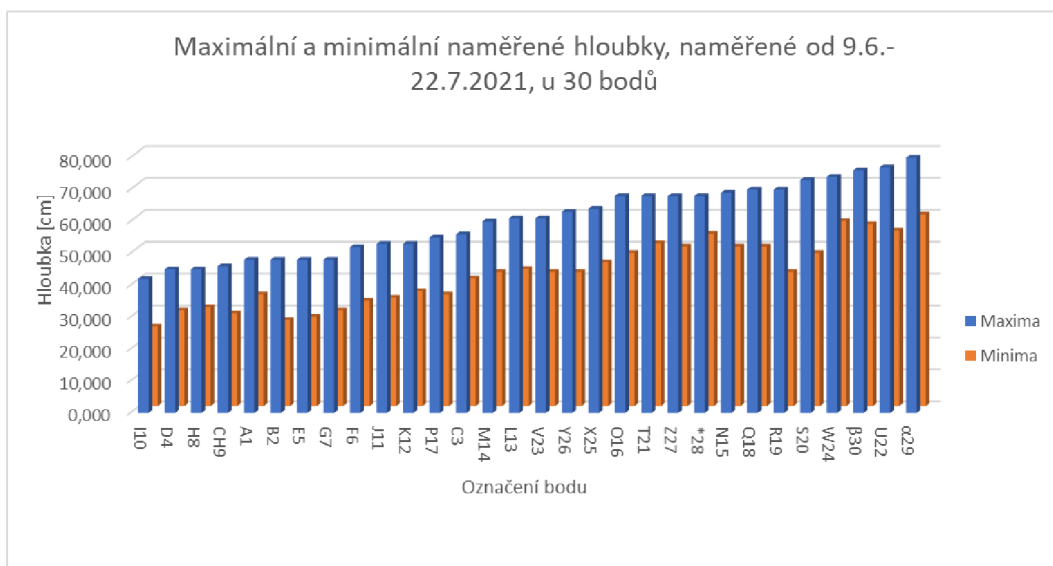
Následně bylo vybráno pět bodů, reprezentujících některé hodnoty statistiky hloubek z termínu 20.6. V následujícím grafu (Obr. 4.1) je zobrazen průběh hloubek během celého experimentu u vybraných pěti bodů.



Obr. 4.1: Graf průběhu hloubek u 5 vybraných bodů od 9.6.-22.7.2021 (Jeřábek, 2022)

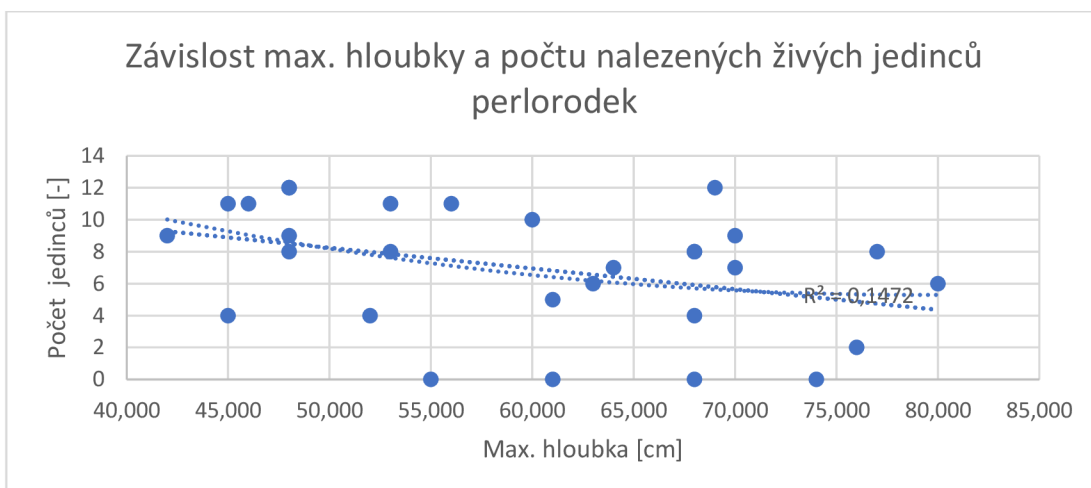
Bod $\alpha 29$ má ve vybraném termínu největší hodnotu hloubky (60 cm), u bodu I10 byla naměřena hodnota nejnižší (25 cm). Bod M14 je v grafu, protože jeho hloubka (42 cm) je jen o málo vyšší než průměr (41,67 cm) a zároveň je stejná jako medián (42 cm) sady dat k tomuto datu. Body F6 a T21 byly zvoleny tak, aby se jejich hodnoty nacházely mezi hodnotami bodů $\alpha 29$ a M14 ($H_{T21} = 51$ cm), resp. mezi hodnotami bodů I10 a M14 ($H_{F6} = 33$ cm).

V grafu na obrázku 4.2 jsou zobrazeny rozdíly maximální a minimální naměřené hloubky během celého experimentu u 30 bodů. Ty ukázaly, že průměrný rozdíl hloubek je cca 18,6 °C, přičemž se od průměru nejvíce lišily body R19 (28 cm) a S20 (25 cm). Nejmenší rozdíl byl zjištěn u bodu A1 (13 cm).

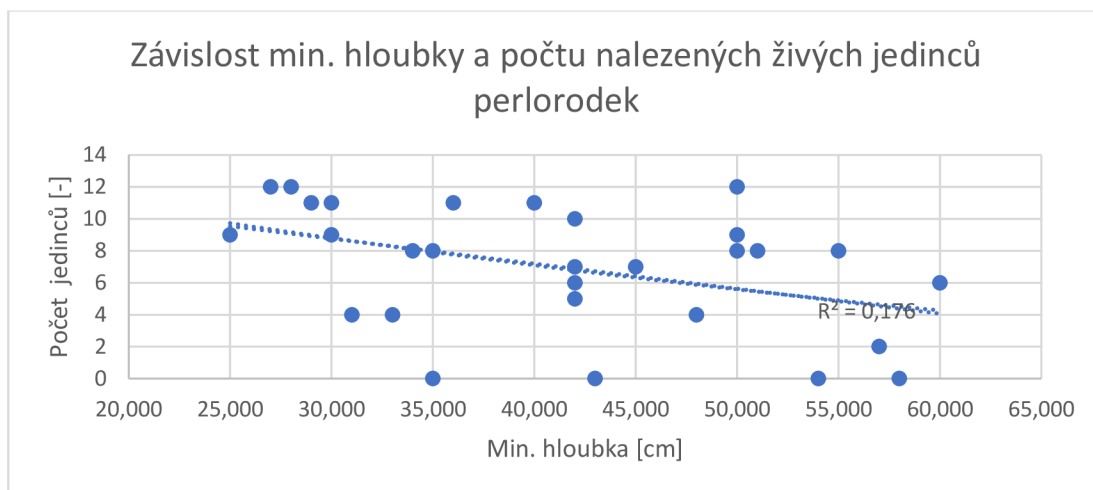


Obr. 4.2: Sloupcový graf zobrazující rozdíl maximální a minimální naměřené hloubky u 30 bodů, v období od 9.6. do 22.7.2021. (Jeřábek, 2022)

V grafu (Obr. 4.3), který zobrazuje vztah mezi maximální naměřenou hloubkou a počtem živých juvenilních perlorodek, nalezených v bioindikačních sondách po skončení experimentu, je vidět, že nejvíc perlorodek přežilo na místech s maximální naměřenou hloubkou mezi 40 až 60 cm, kromě jednoho bodu, kde přežilo všech 12 perlorodek a maximální naměřená hloubka byla 69 cm. V dalším grafu (Obr. 4.4), zobrazujícím vztah minimální naměřené hloubky a počtu živých perlorodek, není vidět zřejmé závislost. Perlorodky přeživaly stejně často při nižších i vyšších zjištěných minimech.



Obr. 4.3: Graf závislosti maximální naměřené hloubky a počtu nalezených živých jedinců perlorodek (Jeřábek, 2022)



Obr. 4.4: Graf závislosti minimální naměřené hloubky a počtu nalezených živých jedinců perlorodek (Jeřábek, 2022)

Stejná statistika, jaká byla vytvořena pro hodnoty hloubek u 30 bodů, byla zpracována pro hodnoty naměřené v superčtverci, také pro data z celého experimentu (Tab. 4.3) a z první kontroly (Tab. 4.4) 20.6.2021.

Tab. 4.3 (vlevo) a 4.4 (vpravo): Popisná statistika hloubek zjištěných při měření od 9.6 do 22.7.2021 (vlevo) a 20.6.2021 (vpravo) uvnitř superčtverce (Jeřábek, 2022)

Popisná statistika hloubek v superčtverci (9.6.- 22.7.2021) [cm]	
Počet hodnot	30
Průměr	60,63333333
Min.	48
Max.	68
Medián	63,5
Max-min.	20
Směr. odchylka	5,44666667

Popisná statistika hloubek v superčtverci (20.6.2021) [cm]	
Počet hodnot	8
Průměr	50,5
Min.	48
Max.	54
Medián	50
Max-min.	6
Směr. odchylka	1,75

V tomto případě bylo minimum všech naměřených hodnot v bodě C3 20.6. (48 cm) a maximum v bodě C8 22.6. (68 cm), rozdíl maxima a minima je tedy 20 cm. Při pohledu na statistiku hodnot z 20.6. je vidět že minimum je právě v bodě C3 (48 cm) a maximum v bodě G8 (54 cm) a jejich rozdíl je pouhých 6 cm.

4.2 Naměřené rychlosti

Z výsledků popisné statistiky pro celý experiment u 30 bodů (Tab. 4.5) se určilo, že maximum dnových rychlostí bylo v bodě P17 22.7. (0,701 m/s) a jejich

minimum bylo zjištěno v bodě $\beta 30$ při kontrole 20.6. (0,088 m/s). Rozdíl maxima a minima je tedy 0,613 m/s. Mezi daty rychlostí u hladiny (Tab. 4.6) bylo zjištěno maximum v bodě E5 22.7. (0,938 m/s) a minimum v bodě M14 20.6. (0,178 m/s). V tomto případě je rozdíl maxima a minima 0,76 m/s.

Tab. 4.5 (vlevo) a 4.6 (vpravo): Popisná statistika rychlostí naměřených u dna (vlevo), resp. u hladiny (vpravo) od 9.6 do 22.7.2021 u 30 bodů (Jeřábek, 2022)

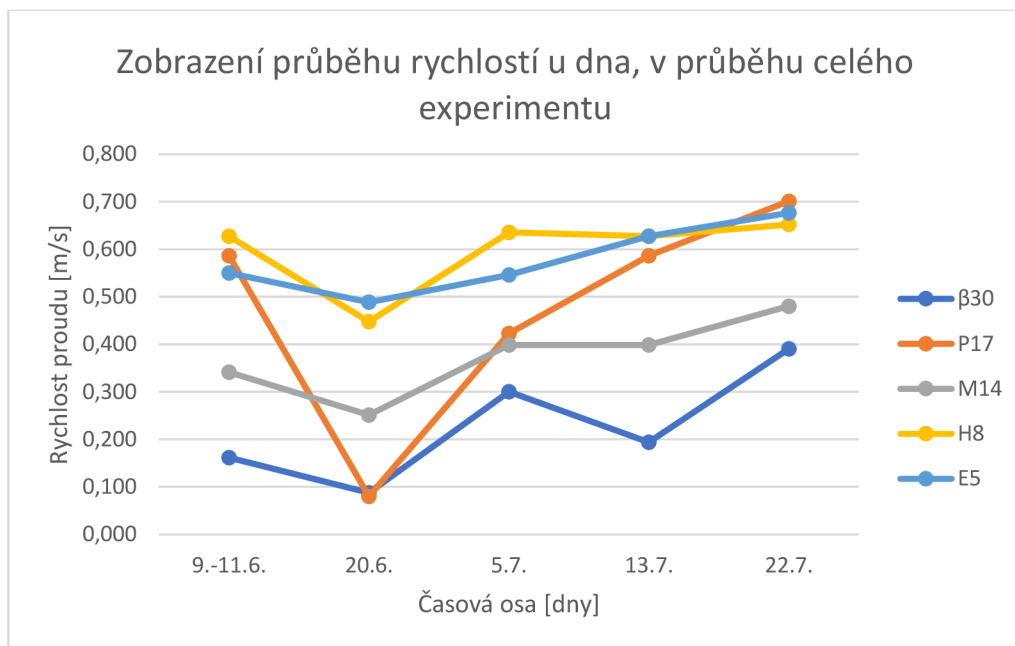
Popisná statistika dnových rychlostí u 30 bodů (9.6.-22.7.2021) [m/s]		Popisná statistika rychlostí u hladiny u 30 bodů (9.6.-22.7.2021) [m/s]	
Počet hodnot	149	Počet hodnot	149
Průměr	0,391207562	Průměr	0,581697987
Min.	0,088	Min.	0,178
Max.	0,701	Max.	0,938
Medián	0,390	Medián	0,570
Max-Min	0,613	Max-Min	0,760
Směr. odchylka	0,107395869	Směr. odchylka	0,139327958

Při pohledu na hodnoty z 20.6. (Tab. 4.7) je vidět, že maximum dnových rychlostí je v bodě E5 (0,488 m/s) a minimum v bodě $\beta 30$ (0,088 m/s), rozdíl je tedy 0,4 m/s. U rychlostí pod hladinou (Tab. 4.8) je maximum v bodě H8 (0,75 m/s) a minimum v bodě M14 (0,178 m/s). Rozdíl hodnot je roven 0,572 m/s.

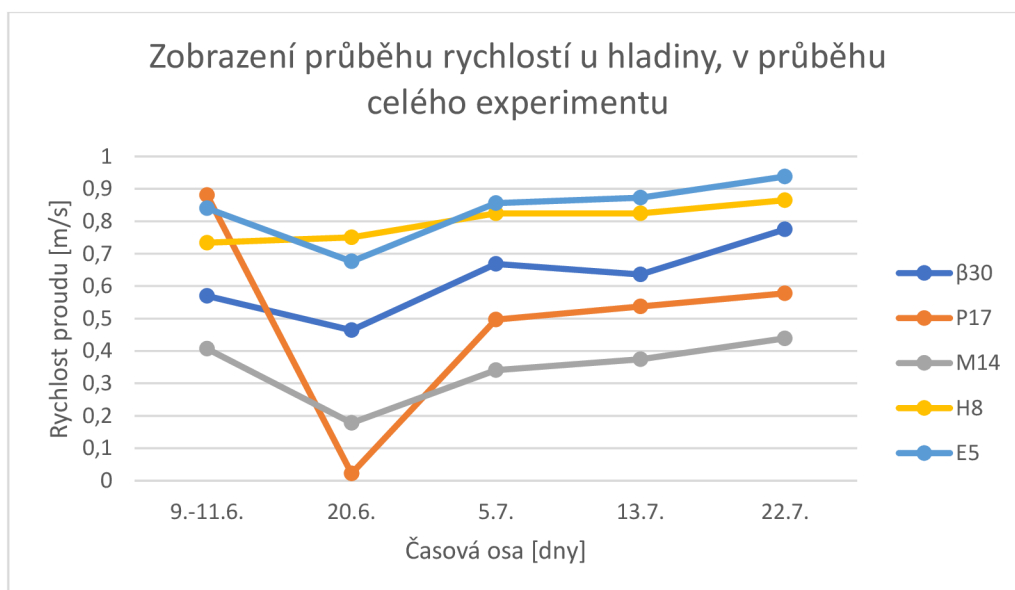
Tab. 4.7 (vlevo) a 4.8 (vpravo): Popisná statistika rychlostí naměřených 5 cm nade dnem (vlevo), resp. 5 cm pod hladinou (vpravo) při kontrole 20.6.2021 u 30 bodů (Jeřábek, 2022)

Popisná statistika dnových rychlostí při měření 20.6.2021 u 30 bodů [m/s]		Popisná statistika rychlostí u hladiny při měření 20.6.2021 u 30 bodů [m/s]	
Počet hodnot	29	Počet hodnot	29
Průměr	0,306	Průměr	0,459
Min.	0,088	Min.	0,178
Max.	0,488	Max.	0,750
Medián	0,284	Medián	0,464
Max-Min	0,401	Max-Min	0,572
Směr. odchylka	0,092247578	Směr. odchylka	0,126432818

V následujících grafech jsou zobrazeny průběhy rychlostí u dna (Obr. 4.5), resp. u hladiny (Obr. 4.6), nad body, ilustrujícími rozpětí škály naměřených rychlostí.

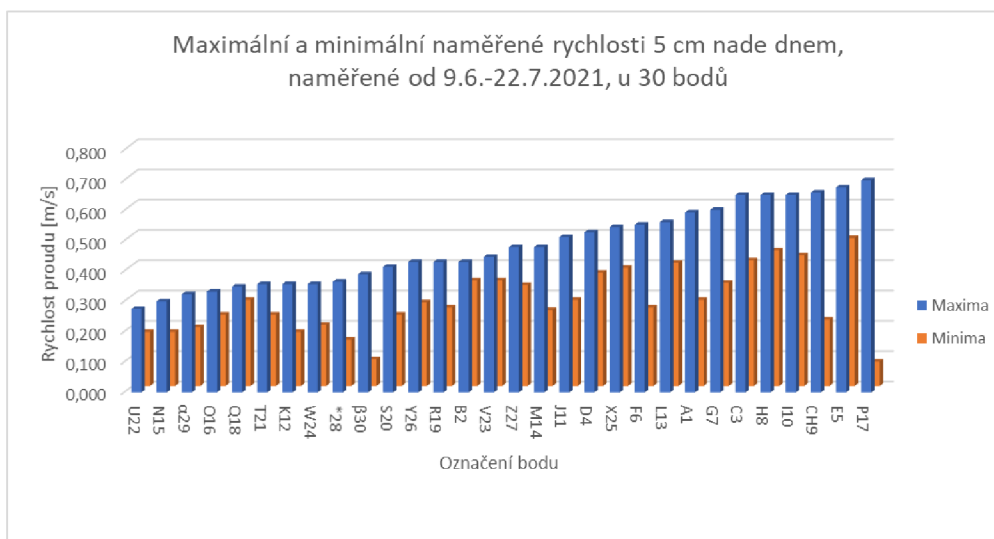


Obr. 4.5: Graf průběhu rychlostí naměřených 5 cm nade dnem od 9.6. do 22.7.2021 (Jeřábek, 2022)



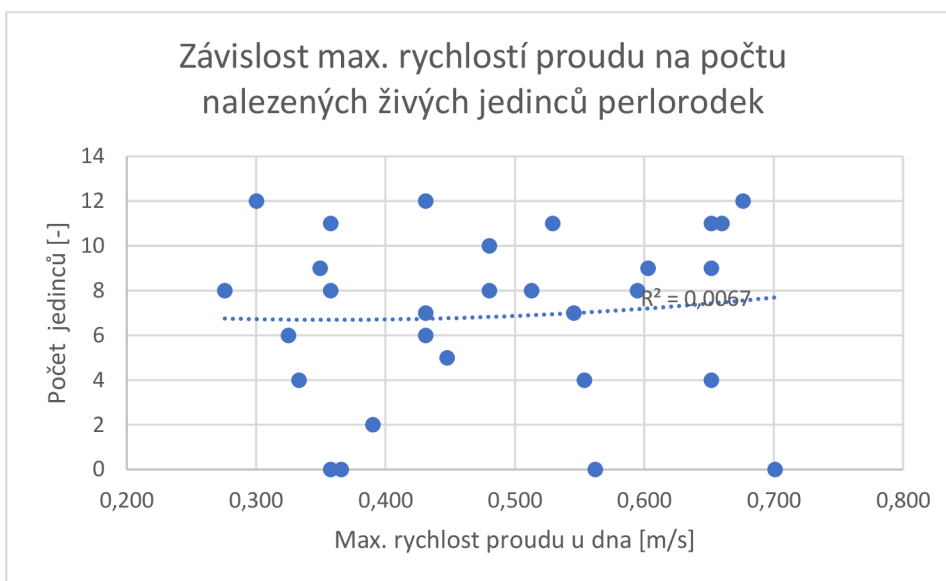
Obr. 4.6: Graf průběhu rychlostí naměřených 5 cm pod hladinou od 9.6. do 22.7.2021 (Jeřábek, 2022)

V grafu na obrázku 4.7 je vidět, že maximální a minimální rychlosti proudu naměřené 5 cm nade dnem spolu nijak nesouvisejí, nejmenší rozdíl byl zjištěn u bodu Q18 (0,065 m/s) a největší rozdíl byl u bodu P17 (0,701 m/s).



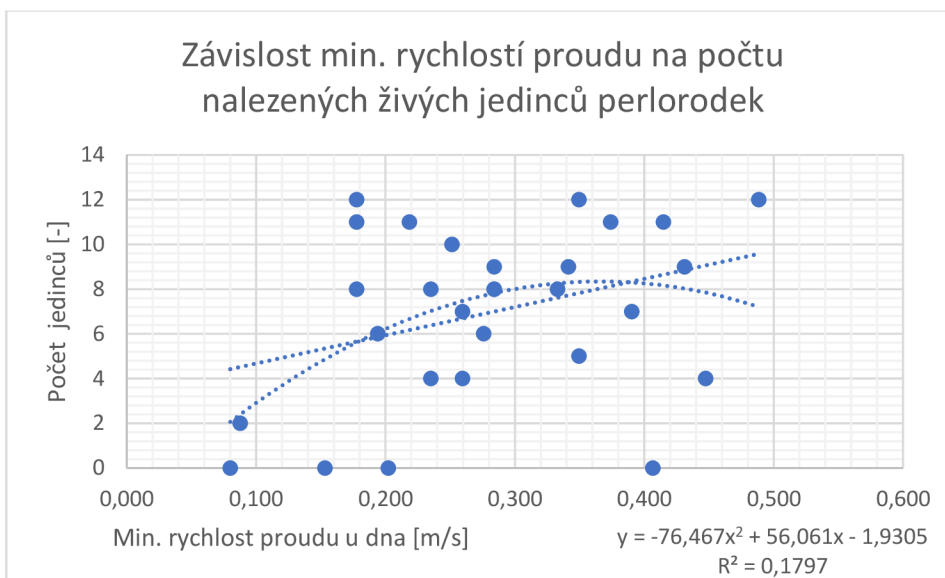
Obr. 4.7: Sloupcový graf zobrazující rozdíly maximální a minimální naměřené rychlosti 5 cm nade dnem, v období od 9.6. do 22.7.2021 u 30 bodů (Jeřábek, 2022)

Podle grafu níže (Obr. 4.8) je zřejmé, že mezi maximálními naměřenými rychlostmi u dna a počtem nalezených živých perlorodek žádná závislost není.



Obr. 4.8: Graf závislosti maximální naměřené rychlosti 5 cm nade dnem a počtu nalezených živých jedinců perlorodek (Jeřábek, 2022)

V případě závislosti minimální rychlosti naměřené nade dnem a počtem přeživších jedinců se ukázalo, že pokud rychlost klesla pod cca 0,16 m/s, došlo ke ztrátě nebo úhynu všech nebo většiny juvenilních perlorodek v sondě, jak je vidět na obrázku 4.9.



Obr. 4.9: Graf závislosti minimální naměřené rychlosti 5 cm nade dnem a počtu nalezených živých jedinců perlorodek (Jeřábek, 2022)

Uvnitř superčtverce statistika celé sady dat (Tab. 4.9) ukázala, že nejvyšší naměřená rychlost u dna je v bodě C3 při kontrole 13.7. (0,521 m/s), zatímco nejnižší rychlost u dna byla naměřena v bodě G8 20.6. (0,235 m/s), Rozdíl maxima a minima je 0,286 m/s. Nejvyšší rychlost u hladiny byla zjištěna statistikou (Tab. 4.10) v bodě C3 13.7. s hodnotou 0,824 m/s. Nejnižší rychlost pak byla zjištěna v bodě G8 20.6. (0,48 m/s). Rozdíl mezi maximální a minimální rychlostí v tomto případě vyšel 0,344 m/s.

Tab. 4.9 (vlevo) a 4.10 (vpravo): Popisná statistika rychlostí naměřených 5 cm nade dnem (vlevo), resp. 5 cm pod hladinou (vpravo) od 9.6. do 22.7.2021 uvnitř superčtverce (Jeřábek, 2022)

Popisná statistika dnových rychlostí 9.6.-22.7.2021 v superčtverci [m/s]	
Počet hodnot	32
Průměr	0,4239375
Min.	0,235
Max.	0,521
Medián	0,439
Max-min.	0,286
Směr. odchylka	0,057511719

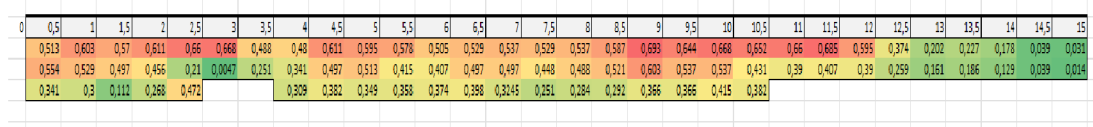
Popisná statistika rychlostí u hladiny 9.6.- 22.7.2021 v superčtverci [m/s]	
Počet hodnot	32
Průměr	0,670625
Min.	0,48
Max.	0,824
Medián	0,6805
Max-min.	0,344
Směr. odchylka	0,068148438

Popisná statistika pro data z kontroly 20.6. pro rychlosti u dna (Tab. 4.11) ukázala naměřené maximum v bodě G3 u bioindikační destičky (0,431 m/s) a minimum v bodě G8 u O2 sondy (0,235 m/s). Rozdíl maxima a minima je 0,196 m/s. V případě rychlostí u hladiny (Tab. 4.12) se maximum zjistilo v bodě C3 u bioindikační destičky (0,627 m/s) a minimum v bodě G8 u O2 sondy (0,48 m/s). Rozdíl hodnot se rovná 0,147 m/s.

Tab. 4.11 (vlevo) a 4.12 (vpravo): Popisná statistika rychlostí naměřených 5 cm nade dnem (vlevo), resp. 5 cm pod hladinou (vpravo) při kontrole 20.6.2021 uvnitř superčtverce (Jeřábek, 2022)

Popisná statistika dnových rychlostí 20.62021 v superčtverci [m/s]		Popisná statistika rychlostí u hl. 20.62021 v superčtverci [m/s]	
Počet hodnot	8	Počet hodnot	8
Průměr	0,34625	Průměr	0,562875
Min.	0,235	Min.	0,48
Max.	0,431	Max.	0,627
Medián	0,37	Medián	0,57
Max-min.	0,196	Max-min.	0,147
Směr. odchylka	0,0611875	Směr. odchylka	0,03371875

Následující obrázek (Obr. 4.10) zobrazuje rychlosti naměřené 14.6. v příčném profilu řeky označeném jako Konradyho transekt. Pokud jsou ve svislici rychlosti dvě, je vrchní naměřená 5 cm pod hladinou a spodní 5 cm nade dnem. Pokud jsou na svislici rychlosti tři, prostřední hodnota odpovídá 30 cm pod hladinou a rozdíl mezi prostřední a spodní hodnotou je alespoň 10 cm. Červená barva pak odpovídá nejvyšším rychlostem a zelená barva rychlostem nejnižším.



Obr. 4.10: Rozložení rychlostí v příčném profilu na experimentálním úseku řeky Teplé Vltavy, pohled po proudu (Jeřábek, 2022)

4.3 Naměřené teploty

Teploty v hyporeálu naměřené multimetrem u 30 bodů po zpracování popisné statistiky pro data z celého experimentu (Tab. 4.13) ukázaly nejvyšší naměřenou

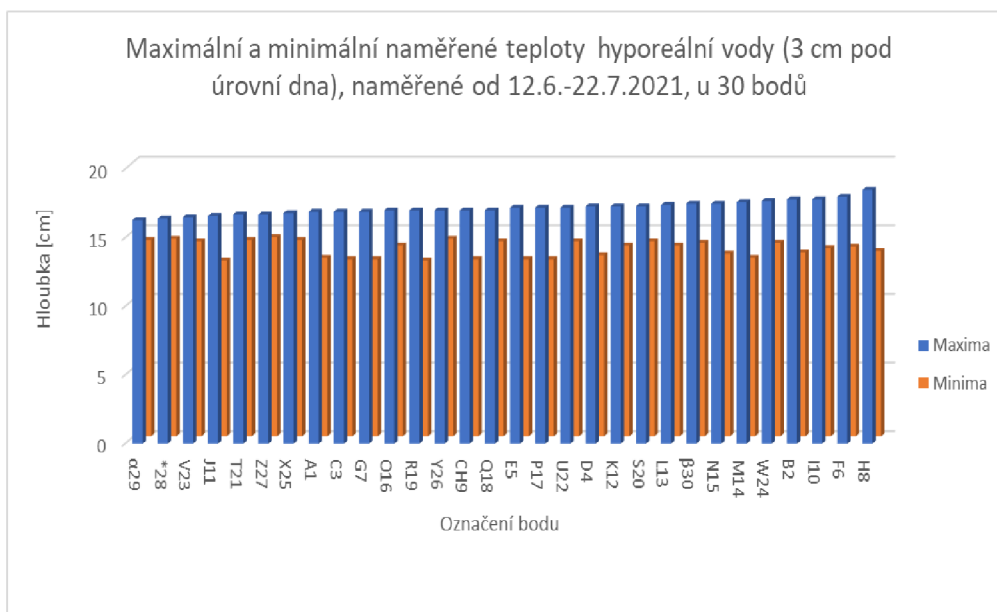
hodnotu (18,5 °C) v bodě H8 20.6. v 9:51 a nejnižší naměřenou teplotu (12,8 °C) v bodě J11 při kontrole 22.7. v 8:07. Nejvyšší a nejnižší naměřená hodnota multimetrem se liší o 5,7 °C. Další tabulka (Tab. 4.14) ukazuje výsledky statistiky u 30 bodů pro data z 20.6., kde je nejvyšší hodnota opět naměřena v 9:51 v bodě H8 (18,5 °C), nejnižší hodnota je naměřena v bodě α29 v 7:55 (16,3 °C) a rozdíl maximální a minimální teploty je 2,2 °C.

Tab. 4.13 (vlevo) a 4.14 (vpravo): Popisná statistika teplot hyporeální vody (3 cm pod úrovní dna) naměřených v období od 12.6. do 22.7.2021 (vlevo) a 20.6.2021 (vpravo) u 30 bodů (Jeřábek, 2022)

Popisná statistika teplot hyp. vody 12.6.-22.7.2021 [°C]	
Počet hodnot	180
Průměr	15,800
Min.	12,800
Max.	18,500
Medián	16,250
Max-Min	5,700
Směr. odchylka	1,158570667

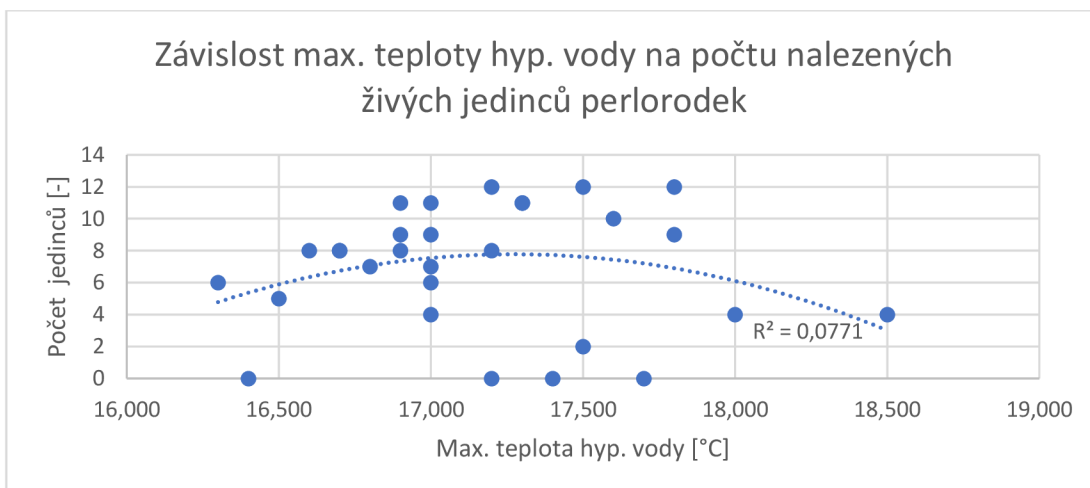
Popisná statistika teplot hyp. vody 20.6.2021 [°C]	
Počet hodnot	30
Průměr	17,140
Min.	16,300
Max.	18,500
Medián	17,000
Max-Min	2,200
Směr. odchylka	0,402666667

Průměrný rozdíl mezi maximální a minimální naměřenou teplotou hyporeální vody u 30 bodů vyšel 3,5 °C. Maximální rozdíl byl naměřen u bodu H8 (5 °C), minimální rozdíl naměřených teplot pak byl u bodu α29 a *28 (2 °C), jak je vidět na obrázku 4.11.

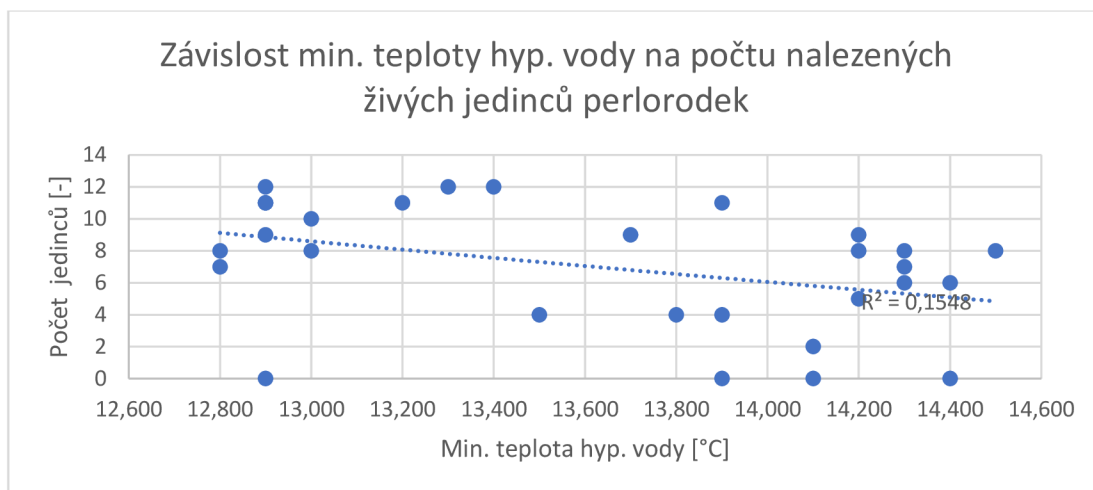


Obr. 4.11: Sloupcový graf zobrazující rozdíly maximální a minimální naměřené teploty hyporeální vody (3 cm pod úrovní dna) u 30 bodů, naměřené v období od 12.6.-22.7.2021 (Jeřábek, 2022).

Následující grafy (Obr. 4.12, 4.13) ukázaly, že ani teplota hyporeální vody nebyla rozhodujícím faktorem v otázce přežívání juvenilních perlrodek, protože stejně často přežili jedinci na bodech s vyššími maximálními, resp. minimálními dosaženými hodnotami teplot hyporeální vody, jako na bodech s nižšími maximálními, resp. minimálními dosaženými teplotami.



Obr. 4.12: Graf závislosti maximální naměřené hyporeální teploty a počtu nalezených živých jedinců perlrodek (Jeřábek, 2022)



Obr. 4.13: Graf závislosti minimální naměřené hyporeální teploty a počtu nalezených živých jedinců perlorodek (Jeřábek, 2022)

Teploty naměřené uvnitř superčtverce v hloubce 3 cm, v datech 14.6.-22.7. (Tab. 4.15) ukázaly maximum (18,7 °C) v bodě C8 u bioindikační destičky, při kontrole 20.6., zatímco minimum (14,6 °C) bylo v bodě C3 u bioindikační destičky, při kontrole 13.7.. Maximum bylo naměřeno ve 12:35 a minimum v 10:05, jejich rozdíl se rovná 4,1 °C. Mezi daty naměřenými 20.6. (Tab. 4.16)) byla maximální i minimální hodnota zjištěna v bodě C8, maximální u bioindikační destičky (18,7 °C) a minimální u O2 sondy (18,1 °C), jejich rozdíl je 0,6. Maximální hodnota byla naměřena ve 12:35 a minimální v 11:55.

Tab. 4.15 (vlevo) a 4.16 (vpravo): Popisná statistika teplot hyporeální vody (3 cm pod dnem) naměřených v období od 14.6. do 22.7.2021 (vlevo) a 20.6.2021 (vpravo) v superčtverci (Jeřábek, 2022)

Popisná statistika hyp. teplot (zel. had.) v superčtverci (14.6.-22.7.2021) [°C]		Popisná statistika hyp. teplot (zel. had.) v superčtverci (20.6.2021) [°C]	
Počet hodnot	33	Počet hodnot	8
Průměr	16,15151515	Průměr	18,3125
Min.	14,6	Min.	18
Max.	18,7	Max.	18,7
Medián	15,6	Medián	18,3
Max-min.	4,1	Max-min.	0,7
Směr. odchylka	1,16271809	Směr. odchylka	0,2375

Další tabulka (Tab. 4.17) ukazuje výsledky popisné statistiky pro teploty naměřené 13 cm pod úrovní dna v období mezi 14.6. a 22.7.. Maximální hodnota byla naměřena v bodě C8, u bioindikační destičky, při kontrole 20.6. (19,1 °C). Minimum bylo zjištěno v bodě C3, u bioindikační destičky při kontrole 13.7. (14,6

°C). Maximum bylo naměřeno ve 12:35 a minimum v 10:14. Rozdíl maxima a minima je 4,5 °C. Tabulka 4.18 ukazuje, že maximální teplota 13 cm pod úrovní dna při kontrole 20.6. byla 19,1 °C. Tato hodnota byla zjištěna ve 12:35 v bodě C8 u bioindikační destičky. Minimální hodnota (17,9 °C) v tomto datu byla naměřena v bodě G3 u O2 sondy v 11:30. Rozdíl maximální a minimální hodnoty je 1,2 °C.

Tab. 4.17 (vlevo) a 4.18 (vpravo): Popisná statistika teplot hyporeální vody (13 cm pod dnem) naměřených v období od 14.6. do 22.7.2021 (vlevo) a 20.6.2021 (vpravo) v superčtverci (Jeřábek, 2022).

Popisná statistika hyp. teplot (b. had.) v superčtverci (14.6.-22.7.2021)	
Počet hodnot	36
Součet	582,78
Průměr	16,18833333
Min.	14,6
Max.	19,1
Medián	15,7
Max-min.	4,5
Směr. odchylka	1,20712963

Popisná statistika hyp. teplot (b. had.) v superčtverci (20.6.2021)	
Počet hodnot	8
Součet	148
Průměr	18,5
Min.	17,9
Max.	19,1
Medián	18,6
Max-min.	1,2
Směr. odchylka	0,3

5. Diskuse

Variabilitu fyzikálních faktorů, jako je výška vodního sloupce (hloubka), na přirozeném neupraveném toku ovlivňují především srážko-odtokové poměry na samotné lokalitě i v celém povodí. Ty jsou určeny velikostí povodí, sklonem povodí, nadmořskou výškou, polohou povodí, orientací povodí ke světovým stranám, teplotním režimem atmosféry, množstvím a rozložením srážek během roku, geologickými a pedologickými vlastnostmi povodí, zástavbou nepropustnými plochami, skladbou a množstvím vegetace v toku i celém povodí atd. (Hrádek, Kuřík, 2008, Langhammera et al., 2004).

Výše zmíněné okolnosti určují, kolik v daném okamžiku proteče vody na zvoleném uzávěrovém profilu (Lal et al., 2004), v našem případě je tímto profilem řešený experimentální úsek Teplé Vltavy. Časová variabilita hloubek je totiž určena především změnami průtoku, v mnohem menší míře jí pak ovlivňují přesuny materiálu tvořících dna. Prostorová variabilita je dána tvarem dna (Hrádek, Kuřík, 2008).

Mezi body, které byly vybrány pro umístění sond s juvenilními perlorodkami, byla nejmenší hloubka naměřena 0,25 m a největší hloubka byla 0,8 m. Nejvíce perlorodek přežilo v sondách na bodech, kde se naměřila maximální hloubka v rozmezí 40 až 60 cm, kromě bodu N15, kde byla maximální hloubka naměřena 69 cm a perlorodky v sondě se našly všechny živé (12 ks). Z hlediska parametrů měřených v této práci se však bod nijak výrazně nelišil od ostatních. Podle některých výzkumů (Hastie et al., 2000) je obecně optimální hloubka pro perlorodky říční v rozmezí 0,3-0,4 m, ovšem perlorodky přežívají i v hlubších vodách. Například ve Švédsku byly perlorodky pozorovány i v hloubce 2 m a v některých skotských řekách dokonce až v hloubce 3 m. Oproti tomu v severním Německu se perlorodka vyskytuje ve vodách hlubokých jen 0,5-1,5 m. Hloubka v našem případě tedy nejspíše není rozhodující faktor pro přežití perlorodek.

Variabilitu rychlostí proudu, naměřených v experimentálním úseku, v čase a prostoru ovlivňuje aktuální průtok, drsnost dna, množství makrofyt na dně, a především rozložení proudnic v příčném profilu toku, které je určeno tvarem dna i toku samotného proti proudu, případně překážkami v toku (Hrádek, Kuřík, 2008, Galia, 2017).

Udává se, že optimální proudová rychlost, při střední hladině vody, pro stanoviště perlorodky říční je zhruba od 0,25 m/s do 0,75 m/s (Hastie a kol., 2000). Toto tvrzení podporuje studie Moorkens a Killeen (2014), která uvádí, že na místech, kde na 1 m² připadá více jak 20 viditelných jedinců, se průměrná rychlost v blízkosti dna pohybuje v rozmezí 0,27-0,31 m/s. Námi naměřená data se pohybují v rozmezí od 0,088 do 0,701 m/s. Pokud však rychlost naměřená 5 cm nade dnem klesla pod cca 0,16 m/s, došlo ke ztrátě nebo úhynu všech nebo většiny jedinců perlorodek v sondě. Rychlost proudu spolu s propustností dna určují, jak se bude volná a hyporeální voda mísit a úzce souvisí s prokysličeností hyporeální vody (Geist, Auerswald, 2007). Podle studie Černé a kol. (2018) koreluje množství kyslíku v hyporeální vodě s počtem přežívajících perlorodek, takže se dá předpokládat, že úmrtí při nižších rychlostech jsou způsobena nedostatkem kyslíku.

Teplota hyporeální vody je především určena teplotou atmosféry. K oteplení dochází vinnou výměnou tepla na rozhraní voda–atmosféra, a poté se mísením a tepelnou výměnou otepluje i voda ve větší hloubce (Hrádek, Kuřík, 2008).

Teploty hyporeální vody na experimentálním úseku se během experimentu pohybovaly od 12,8 ° C do 18,5 ° C, přičemž jejich průměr byl 15,8 ° C. Tento průměr je podobný roku 2020, kdy se průměrná teplota hyporeální vody pohybovala

kolem 16 ° C (Sailer, 2021). Maximální teploty vhodné pro výskyt perlorodky říční by neměly překročit 20 ° C, jak uvádějí Absolon a Hruška (1999) a podle metodiky AOPK (2013) jsou perlorodky krátkodobě schopny přežít i maxima až 23 ° C. Protože tato maxima nebyla překročena můžeme předpokládat, že úmrtí perlorodek nebylo způsobeno teplotami hyporeální vody.

Z celkových 348 perlorodek jich po skončení experimentu bylo nalezeno 202 živých (58 %), zbytek se buď ztratil anebo se našly mrtvé schránky v různém stadiu rozkladu. K těmto úmrtím a ztrátám však zřejmě nedošlo kvůli nevhodné hloubce ani nevhodným hyporeálním teplotám, jistý vliv však mohla mít minimální naměřená rychlost proudu.

6. Závěr a přínos práce

Vysazování juvenilních perlorodek je jedním z opatření, které mají zajistit přežití druhu v českých vodách. Aby však bylo vysazení úspěšné, musí se nejprve zjistit, jaké podmínky perlorodkám vyhovují nejvíce.

Experiment, z něhož pocházejí data v této práci, má tyto podmínky zjistit. Samotná práce je zaměřena na variabilitu fyzikálních faktorů, konkrétně na hloubku, rychlosti proudu a teploty hyporeální vody. Z hlediska zkoumaných faktorů se zdá lokalita v experimentálním meandru na Teplé Vltavě vcelku vhodná pro vysazení juvenilních jedinců perlorodek říčních, ve srovnání s informacemi z dohledané literatury byl překročen pouze parametr minimální rychlosti proudu, zatímco hloubka a teplota hyporeální vody se podle literatury nacházela v přijatelném rozmezí pro přežití perlorodek.

Výsledky této práce mohou spolu s dalšími podklady pomoci určit vhodné podmínky pro vysazení juvenilních perlorodek říčních, případně i jiných druhů živočichů či rostlin, v českých vodách nebo přímo v Teplé Vltavě.

7. Seznam zdrojů a použité literatury:

- Absolon, K., Hruška, J., 1999: Záchranný program Perlorodka říční (Margaritifera margaritifera Linnaeus, 1758) v České republice, AOPK ČR, Praha, 27 s.
- Adámek, Z. a kol., 1997: Rybářství ve volných vodách. 2. vyd. Praha. 205 s. ISBN 80-721-9017-2.
- AOPK ČR, 2013: Záchranný program perlorodky říční Margaritifera margaritifera v České republice. 77 s.
- Beleco, z. s., 2019-2022: Společenstvo perlorodky, Ochrana (online) [cit. 2022.01.15], dostupné z < <http://www.perlorodkaricni.cz/> >.
- Bílý, M., Simon, O., Barák, V. *et al.*, 2021: Occurrence depth of juvenile freshwater pearl mussels (*Margaritifera margaritifera*) in a river bed tested by experimental mesh tubes. *Hydrobiologia* 848, str. 3127–3139.
- Buddensiek, V., 1995: The culture of juvenile freshwater pearl mussels *Margaritifera margaritifera* L. in cages: a contribution to conservation programmes and the knowledge of habitat requirements. *Biological Conservation* 74, str. 33-40.
- Černá, M., Simon, O.P., Bílý, M., Douda, K., Dort, B., Galová, M., Volfová, M., 2018: Within-river variation in growth and survival of juvenile freshwater pearl mussels assessed by in situ exposure methods. *Hydrobiologia*, 810, str. 393–414.
- ČHMÚ ©2022: Český hydrometeorologický ústav (online) [cit. 2022.01.19], dostupné z < http://www.pocasi-volary.cz/volary_chmu.php >.
- Eilmsteiner, H., 2022: Růst a přežívání juvenilních perlorodek říčních v experimentálním úseku Teplé Vltavy. Česká zemědělská univerzita. Praha. (bakalářská práce). „nepublikováno“. Dep. SIC ČZU v Praze.
- Folsom, R.G., 1956: Review of the Pitot tube. The American Society of Mechanical Engineers. Ann Arbor. Michigan. 14 s.
- Galia, T., 2017: Fluviální geomorfologie. Ostravská univerzita, Přírodovědecká fakulta, Ostrava, 2017. 189 s.
- Geist, J., Auerswald, K., 2007: Physicochemical stream bed characteristics and recruitment of the freshwater pearl mussel (*Margaritifera margaritifera*). *Freshwater Biology*, Volume 52, str. 2299-2316.
- Gymnázium Vlašim © 2022: 9. Rastrová grafika (online) [cit. 2022.01.31], dostupné z < <http://www.ivt.mzf.cz/seminar/9-rastrova-grafika/> >.
- Hastie, L. C., Young M., R., Boon, P., J., 2000: Growth characteristics of freshwater pearl mussels, *Margaritifera margaritifera* (L.). *Freshwater Biology*, Volume 43, str. 243-256.
- Hrádek F., Kuřík P., 2008: Hydrologie. Česká zemědělská univerzita v Praze, FŽP, 280 s. ISBN 978-80-213-1744-4.

- Kabelka, T., 2016: Stanovení konsumpčních křivek na vybraných hydrologických profilech KFGG. Univerzita Karlova v Praze. Přírodovědecká fakulta. Praha. 100 s. (diplomová práce). „nepublikováno“. Dep. Univerzita Karlova v Praze.
- Konrady, M., 2019: Diverzita prostředí hyporeálu oligotrofních toků jako prediktor vhodných podmínek pro juvenilní mlže v podhorských oligotrofních tocích. Česká zemědělská univerzita. Praha. 80 s. (diplomová práce). „nepublikováno“. Dep. SIC ČZU v Praze.
- Krešl J., 2001: Hydrologie. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 128 s. ISBN 80-7157-513-5
- Lal, Rattan, Shukla, Manoj K., 2004: Principles of soil physics. United States of America, 2004. 528 pp. ISBN 0-8247-5324-0.
- Langhammer, J. a kol., 2004: Hodnocení vlivu změn přírodního prostředí na vznik a vývoj povodní. Závěrečná zpráva GAČR 205/03/Z046, Praha.
- Matějka K., 2011 (upr. 2013): Rozbor průběhu počasí na Churáňově (Šumava) v období 1983-2010 a jeho možná interpretace z hlediska dynamiky ekosystémů, pro IDS, 18 s.
- Moorkens, E. A., Killeen, I. J., 2014: Assessing near-bed velocity in a recruiting population of the endangered freshwater pearl mussel (*Margaritifera margaritifera*) in Ireland. Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems, Volume 24, str 853–862.
- Norma ČSN ISO 3455., Měření průtoku kapalin v otevřených korytech. Kalibrace vodoměrných vrtulí s rotačním prvkem v přímých otevřených nádržích, v platném znění.
- PARS aqua, s. r. o. ©2021: Odborný článek o měření průtoku, Ultrazvuková metoda (online) [cit. 2022.01.25], dostupné z < <https://pars-aqua.cz/odborny-clanek-o-mereni-prutoku.html> >.
- Profilab24 GmbH © 2022: WTW Flow and profilometer FlowTracker 2 AD FT2-2D (online) [cit. 2022.01.25], dostupné z < <https://profilab24.com/en/laboratory/analytical-devices/wtw-flow-and-profilometer-flowtracker-2-ad-ft2-2d> >.
- Prováděcí vyhláška č. 395/1992 Sb., zákona č. 114/1992 Sb., o ochraně přírody a krajiny, v platném znění.
- Sailer, A., 2021: Variabilita prostředí mělkého hyporeálu ve vztahu k vývoji juvenilů perlorodky říční na Teplé Vltavě. Česká zemědělská univerzita. Praha. 77 s. (diplomová práce). „nepublikováno“. Dep. SIC ČZU v Praze.
- SonTek ©2016-2022: RIVERSURVEYOR® S5 AND M9 (online) [cit. 2022.01.22], dostupné z < <https://www.sontek.com/riversurveyor-s5-m9> >.
- Švihálek, J., 2011: Metodika měření průtoku na drobných tocích. Masarykova univerzita v Brně. Přírodovědecká fakulta. Brno. 16 s. (Bakalářská práce). „nepublikováno“. Dep. Masarykova univerzita v Brně.

- VÚV TGM ©2009-2021: Hydrometrická vrtule (online) [cit. 2022.01.18], pro ČKSVV, dostupné z < <https://cksvv.vuv.cz/index.php/cz/hydrometricke-vrtule> >.
- Zákon č. 114/1992 Sb., o ochraně přírody a krajiny, v platném znění.

8. Seznam obrázků

- Obrázek 2.1: Rozložení rychlostí proudění v říčním korytě. (Galia, T.: Fluviální geomorfologie, 2017)
- Obrázek 2.2: Sontek WTW Flow and profilometer FlowTracker 2 AD FT2-2D in Analytical Devices (online) [cit. 2022.01.28], dostupné z URL 1: <<https://profilab24.com/en/laboratory/analytical-devices/wtw-flow-and-profilometer-flowtracker-2-ad-ft2-2d>>
- Obrázek 2.3: Plovák typ Doppler ultrasonic flow meter RiverRay ADCP (online) [cit. 2022.01.29], dostupné z URL 2: < <https://www.directindustry.com/prod/seba-hydrometrie-gmbh-co-kg/product-63216-1774058.html> >
- Obrázek 2.4: Ukázka výstupů měření metodou ADCP (ČHMÚ ©2022: Jak se měří průtok vody, upravil Jeřábek)
- Obrázek 2.5: Roční chod měsíčních průměrů teplot vzduchu na stanici Churáňov v rozlišených klimatických periodách ve srovnání s třicetiletým normálem 1961-1990. (Matějka, K.: Rozbor průběhu počasí na Churáňově (Šumava) v období 1983-2010 a jeho možná interpretace z hlediska dynamiky ekosystémů, 2011)
- Obrázek 2.6: Klouzavý měsíční průměr denních úhrnů srážek na stanici Churáňov v letech 1983-2010. (Matějka, K.: Rozbor průběhu počasí na Churáňově (Šumava) v období 1983-2010 a jeho možná interpretace z hlediska dynamiky ekosystémů, 2011)
- Obrázek 2.7: Experimentální úsek na Teplé Vltavě se zobrazením 30 vybraných bodů pro bioindikační sondy, vytyčených transektů, experimentálního čtverce, místa pořízení fotografie na obr. 2.8 a výrazných orientačních prvků (pro rok 2021). Černá linie označuje hranici skupiny stromů, které sloužily jako tábořiště (vytvoreno v aplikaci ArcGIS, Jeřábek, M.: 2021)
- Obrázek 2.8: Pohled na lokalitu od východu (Rojtová, M.: 2021)
- Obrázek 2.9: Kolísání průtoku v období od 21.6. – 16.7.2021 (online) [cit. 2022.01.29], dostupné z URL 3: < <https://www.pvl.cz/portal/SaP/cz/pc/Mereni.aspx?id=TVCH&oid=1> >
- Obrázek 3.1: Hydrometrická vrtule SEBA (online) [cit. 2022.01.30], dostupné z URL 4 < <https://cksvv.vuv.cz/index.php/cz/hydrometricke-vrtule> >
- Obrázek 3.2: Sonda na juvenilní perlorodky s teploměrem a hadičkou s kotvou na odebírání vzorků vody (Rojtová, M.: 2021)
- Obrázek 4.1: Graf průběhu hloubek u 5 vybraných bodů v období od 9.6. do 22.7.2021 (Jeřábek, M.: 2022)

- Obrázek 4.2: Sloupcový graf zobrazující rozdíl maximální a minimální naměřené hloubky u 30 bodů, v období od 9.6. do 22.7.2021. (Jeřábek, M.: 2022)
- Obrázek 4.3: Graf závislosti maximální naměřené hloubky a počtu nalezených živých jedinců perlorodek (Jeřábek, M.: 2022)
- Obrázek 4.4: Graf závislosti minimální naměřené hloubky a počtu nalezených živých jedinců perlorodek (Jeřábek, M.: 2022)
- Obrázek 4.5: Graf průběhu rychlostí naměřených 5 cm nade dnem od 9.6. do 22.7.2021 (Jeřábek, M.: 2022)
- Obrázek 4.6: Graf průběhu rychlostí naměřených 5 cm pod hladinou od 9.6. do 22.7.2021 (Jeřábek, M.: 2022)
- Obrázek 4.7: Sloupcový graf zobrazující rozdíly maximální a minimální naměřené rychlosti 5 cm nade dnem, v období od 9.6. do 22.7.2021 u 30 bodů (Jeřábek, M.: 2022)
- Obrázek 4.8: Graf závislosti maximální naměřené rychlosti 5 cm nade dnem a počtu nalezených živých jedinců perlorodek (Jeřábek, M.: 2022)
- Obrázek 4.9: Graf závislosti minimální naměřené rychlosti 5 cm nade dnem a počtu nalezených živých jedinců perlorodek (Jeřábek, M.:2022)
- Obrázek 4.10: Rozložení rychlostí v příčném profilu na experimentálním úseku řeky Teplé Vltavy (Jeřábek, M.: 2022)
- Obrázek 4.11: Sloupcový graf zobrazující rozdíly maximální a minimální naměřené teploty hyporeální vody (3 cm pod úrovní dna) u 30 bodů, naměřené v období od 12.6.-22.7.2021 (Jeřábek, M.: 2022).
- Obrázek 4.12: Graf závislosti maximální naměřené hyporeální teploty a počtu nalezených živých jedinců perlorodek (Jeřábek, M.: 2022)
- Obrázek 4.13: Graf závislosti minimální naměřené hyporeální teploty a počtu nalezených živých jedinců perlorodek (Jeřábek, M.: 2022)

9. Seznam tabulek

- Tabulka 2.1: Údaje z meteorologické stanice Volary z měsíců červen a červenec za roky 2019-21. (online) [cit. 2022.01.29] (ČHMÚ ©2022, upravil Jeřábek, M.: 2022), dostupné z < <http://www.pocasi-volary.cz/archiv.htm> >
- Tabulka 2.2: Nejvyšší dosažený denní průtok při měření 9.6. – 20.6.2021 (Horáčková, J.: 2021)
- Tabulka 4.1: Popisná statistika hloubek zjištěných od 9.6. do 22.7.2021 u 30 bodů (Jeřábek, M.: 2022)
- Tabulka 4.2: Popisná statistika hloubek zjištěných 20.6.2021 u 30 bodů (Jeřábek, M.: 2022)
- Tabulka 4.3: Popisná statistika hloubek zjištěných při měření od 9.6 do 22.7.2021 uvnitř superčtverce (Jeřábek, M.: 2022)

- Tabulka 4.4: Popisná statistika hloubek zjištěných při měření 20.6.2021 uvnitř superčtverce (Jeřábek, M.:2022)
- Tabulka 4.5: Popisná statistika rychlostí naměřených u dna (5 cm nade dnem) od 9.6 do 22.7.2021 u 30 bodů (Jeřábek, M.:2022)
- Tabulka 4.6: Popisná statistika rychlostí naměřených u hladiny (5 cm pod hladinou) od 9.6 do 22.7.2021 u 30 bodů (Jeřábek, M.:2022)
- Tabulka 4.7: Popisná statistika rychlostí naměřených 5 cm nade dnem při kontrole 20.6.2021 u 30 bodů (Jeřábek, M.:2022)
- Tabulka 4.8: Popisná statistika rychlostí naměřených 5 cm pod hladinou při kontrole 20.6.2021 u 30 bodů (Jeřábek, M.:2022)
- Tabulka 4.9: Popisná statistika rychlostí naměřených 5 cm nade dnem od 9.6. do 22.7.2021 uvnitř superčtverce (Jeřábek, M.:2022)
- Tabulka 4.10: Popisná statistika rychlostí naměřených 5 cm pod hladinou od 9.6. do 22.7.2021 uvnitř superčtverce (Jeřábek, M.:2022)
- Tabulka 4.11: Popisná statistika rychlostí naměřených 5 cm nade dnem při kontrole 20.6.2021 uvnitř superčtverce (Jeřábek, M.:2022)
- Tabulka 4.12: Popisná statistika rychlostí naměřených 5 cm pod hladinou při kontrole 20.6.2021 uvnitř superčtverce (Jeřábek, M.:2022)
- Tabulka 4.13: Popisná statistika teplot hyporeální vody (3 cm pod úrovní dna) naměřených v období od 9.6. do 22.7.2021 u 30 bodů (Jeřábek, M.:2022).
- Tabulka 4.14: Popisná statistika teplot hyporeální vody (3 cm pode dnem) naměřených 20.6.2021 u 30 bodů (Jeřábek, M.:2022).
- Tabulka 4.15: Popisná statistika teplot hyporeální vody (3 cm pod úrovní dna) naměřených v období od 14.6. do 22.7.2021 v superčtverci (Jeřábek, M.:2022)
- Tabulka 4.16: Popisná statistika teplot hyporeální vody (3 cm pode dnem) naměřených 20.6.2021 v superčtverci (Jeřábek, M.:2022).
- Tabulka 4.17: Popisná statistika teplot hyporeální vody (13 cm pod úrovní dna) naměřených v období od 14.6. do 22.7.2021 v superčtverci (Jeřábek, M.:2022)
- Tabulka 4.18: Popisná statistika teplot hyporeální vody (13 cm pod úrovní dna) naměřených 20.6.2021 v superčtverci (Jeřábek, M.:2022)

10. Seznam příloh

Příloha 1: Tabulka naměřených hloubek na 30 bodech, v období od 9.6.-22.7.2021 (Jeřábek, 2022)

Výška vod. Sl. [cm]	Před inst. 9.-11.6.	Start exp. 12.-14.6.	1. kontrola 20.6.	2. kontrola 5.7.	3. kontrola 13.7.	4. kontrola 22.7.
A1	48	44	35	47	46	46
B2	48	38	27	43	42	48
C3	56	48	40	53	51	56
D4	43	37	30	44	45	45
E5	45	39	28	47	46	48
F6	45	41	33	50	47	52
G7	47	42	30	44	44	48
H8	42	35	31	43	43	45
CH9	42	36	29	43	42	46
I10	41	35	25	38	39	42
J11	50	43	34	50	48	53
K12	49	38	36	49	50	53
L13	55	50	43	56	56	61
M14	60	51	42	57	55	56
N15	64	54	50	66	64	69
O16	68	55	48	63	63	67
P17	52	49	35	50	49	55
Q18	70	59	50	62	60	65
R19	63	52	42	62	61	70
S20	59	53	48	63	62	73
T21	68	59	51	63	63	68
U22	68	61	55	70	70	77
V23	51	48	42	58	57	61
W24	70	65	58	72	72	74
X25	63	55	45	60	60	64
Y26	63	55	42	60	58	61
Z27	68	59	50	64	65	67
*28	68	60	54	66	63	67
α29	80	69	60	79	79	80
β30	nd	65	57	70	72	76

Příloha 4: Tabulka naměřených hyporeálních teplot 3 cm pod úrovní dna na 30 bodech, v období od 12.6.-22.7.2021 (Jeřábek, 2022)

Teplota hyp. vody [°C]	Při inst.	1. kontrola	2. kontrola	3. kontrola	4. kontrola
	12.-14.6.	20.6.	5.7.	13.7.	22.7.
A1	15,9	16,9	16,8	16,3	13
B2	14,3	17,8	17,1	16,4	13,4
C3	16	16,9	16,8	16,4	12,9
D4	14,6	17,3	17	16,6	13,2
E5	15,9	17,2	16,7	16,7	12,9
F6	14,7	18	17,3	16,7	13,8
G7	16	16,9	16,5	15,8	12,9
H8	14,6	18,5	17	16,6	13,5
CH9	16,2	17	16,5	15,9	12,9
I10	15	17,8	17,3	16,6	13,7
J11	16,4	16,6	14,8	15	12,8
K12	14,8	17,3	17,1	16,7	13,9
L13	14,8	17,4	16,98	16,7	13,9
M14	14,2	17,6	17,2	16,7	13
N15	14,4	17,5	17,4	16,4	13,3
O16	16,1	16,9	17	16,5	13,9
P17	14,1	17,2	17	16,3	12,9
Q18	16,1	17	16,2	15,6	14,2
R19	16,2	17	16,6	16	12,8
S20	17,3	16,6	16,5	15,8	14,2
T21	16,1	16,7	16,1	15,5	14,3
U22	16,4	17,2	16,6	15,7	14,2
V23	16,1	16,5	16	15,5	14,2
W24	16,3	17,7	16,5	16,9	14,1
X25	16,3	16,8	16,2	15,5	14,3
Y26	16,2	17	14,6	16,5	14,4
Z27	16,1	16,7	14,7	16,6	14,5
*28	15,6	16,4	14,7	14,6	14,4
α29	15,9	16,3	14,5	14,6	14,3
β30	16,7	17,5	17	16,8	14,1

Příloha 5: Tabulka pro porovnání maximálních, resp. minimálních hodnot hloubek, rychlostí u dna a hyp. teplot s počtem nalezených juvenilních perlorodek, s počtem živých nalezených perlorodek a počtem mrtvých a ztracených perlorodek. (Eilmsteiner, H., Jeřábek, .M: 2022)

Ozn. bodu	Nejvyšší/nejnižší nam.		Nejnižší/nejvyšší nam. hloubka [cm]		Nejvyšší/Nejnižší nam. teplota hyp. vody [°C]		Počet nalezených juv. perlorodek	Počet živých jedinců	Počet mrtvých a ztracených
	rychlost u dna [m/s]								
A1	0,595	0,284	48,000	35,000	16,900	13,000	11	8	4
B2	0,431	0,349	48,000	27,000	17,800	13,400	12	12	0
C3	0,652	0,415	56,000	40,000	16,900	12,900	11	11	1
D4	0,529	0,374	45,000	30,000	17,300	13,200	11	11	1
E5	0,676	0,488	48,000	28,000	17,200	12,900	12	12	0
F6	0,554	0,259	52,000	33,000	18,000	13,800	4	4	8
G7	0,603	0,341	48,000	30,000	16,900	12,900	11	9	3
H8	0,652	0,448	45,000	31,000	18,500	13,500	6	4	8
CH9	0,660	0,219	46,000	29,000	17,000	12,900	11	11	1
I10	0,652	0,431	42,000	25,000	17,800	13,700	11	9	3
J11	0,513	0,284	53,000	34,000	16,600	12,800	8	8	4
K12	0,358	0,178	53,000	36,000	17,300	13,900	11	11	1
L13	0,562	0,407	61,000	43,000	17,400	13,900	2	0	12
M14	0,480	0,251	60,000	42,000	17,600	13,000	10	10	2
N15	0,300	0,178	69,000	50,000	17,500	13,300	12	12	0
O16	0,333	0,235	68,000	48,000	17,000	13,900	4	4	8
P17	0,701	0,080	55,000	35,000	17,200	12,900	11	0	12
Q18	0,349	0,284	70,000	50,000	17,000	14,200	9	9	3
R19	0,431	0,259	70,000	42,000	17,000	12,800	7	7	5
T21	0,358	0,235	68,000	51,000	16,700	14,300	10	8	4
U22	0,276	0,178	77,000	55,000	17,200	14,200	8	8	4
V23	0,448	0,349	61,000	42,000	16,500	14,200	5	5	7
W24	0,358	0,202	74,000	58,000	17,700	14,100	7	0	12
X25	0,546	0,390	64,000	45,000	16,800	14,300	7	7	5
Y26	0,431	0,276	63,000	42,000	17,000	14,400	6	6	6
Z27	0,480	0,333	68,000	50,000	16,700	14,500	8	8	4
*28	0,366	0,153	68,000	54,000	16,400	14,400	9	0	12
α29	0,325	0,194	80,000	60,000	16,300	14,300	6	6	6
β30	0,390	0,088	76,000	57,000	17,500	14,100	2	2	10

Příloha 6: Tabulka naměřených hloubek v experimentálním čtverci, v období od 20.6.-22.7.2021 (Jeřábek, 2022)

Hloubka [cm]		20.6.	5.7.	13.7.	22.7.
O2 sondy	C3	48	61	57	66
	C8	50	65	63	64
	G3	50	65	63	64
	G8	54	64	64	67
Bioindikační destičky	C3	48	60	57	67
	C8	50	65	63	68
	G3	50	61	63	66
	G8	54	65	64	67
		Nízká hodnota			

Příloha 7: Tabulka naměřených rychlostí 5 cm nade dnem v experimentálním čtverci, v období od 14.6.-22.7.2021 (Jeřábek, 2022)

Rychlost - dno [m/s]		14.6	20.6	5.7.	13.7.	22.7.
O2 sondy	C3	0,456	0,407	0,505	0,521	0,39
	C8	0,415	0,398	0,488	0,48	0,48
	G3	0,374	0,358	0,407	0,456	0,488
	G8	0,251	0,235	0,431	0,439	0,505
Bioindikační destičky	C3	NA	0,382	NA	0,521	0,48
	C8	NA	0,3	NA	0,48	0,439
	G3	NA	0,431	NA	0,456	0,415
	G8	NA	0,259	NA	0,439	0,48

Příloha 8: Tabulka naměřených rychlostí 5 cm pod hladinou v experimentálním čtverci, v období od 14.6.-22.7.2021 (Jeřábek, 2022)

Rychlost - hladina [m/s]		14.6	20.6	5.7.	13.7.	22.7.
O2 sondy	C3	0,709	0,603	0,726	0,824	0,815
	C8	0,644	0,529	0,611	0,726	0,726
	G3	0,652	0,603	0,709	0,685	0,709
	G8	0,619	0,48	0,676	0,636	0,726
Bioindikační destičky	C3	NA	0,627	NA	0,824	0,75
	C8	NA	0,537	NA	0,726	0,717
	G3	NA	0,611	NA	0,685	0,758
	G8	NA	0,513	NA	0,636	0,668

Příloha 9: Tabulka naměřených hyporeálních teplot 3 cm pod úrovní dna v experimentálním čtverci, v období od 14.6.-22.7.2021 (Jeřábek, 2022)

Teplota hyp. vody - zelená had. [°C]		14.6	20.6	5.7.	13.7.	22.7.
O2 sondy	C3	16,8	18	15,5	14,8	15,6
	C8	17,4	18,1	15,7	14,8	15,4
	G3	16	18	15,2 VH		VH
	G8	16	18,2	15,9	15,1	VH
Bioindikační destičky	C3	NA	18,6	15,3	14,6	15,4
	C8	NA	18,7	15,7	14,8	15,5
	G3	NA	18,4	15,1	15,2	14,8
	G8	NA	18,5	15,8	14,9	15,2

Příloha 10: Tabulka naměřených hyporeálních teplot 13 cm pod úrovní dna v experimentálním čtverci, v období od 14.6.-22.7.2021 (Jeřábek, 2022)

Teplota hyp. vody - bílá had. [°C]		14.6	20.6	5.7.	13.7.	22.7.
O2 sondy	C3	16,7	18,1	15,7	14,7	15,7
	C8	17,1	18,6	15,8	14,9	15,3
	G3	18	17,9	15,2	15,4	15,9
	G8	16	18,3	15,9	15,1	15,28
Bioindikační destičky	C3	NA	18,6	15,4	14,6	15,2
	C8	NA	19,1	15,8	14,8	15,3
	G3	NA	18,8	15	15,2	14,9
	G8	NA	18,6	15,8	15,1	15

Příloha 11: Časový harmonogram experimentu (Jeřábek, M.:2022)

9.6.-11.6.2021	Předběžný výběr bodů							
		Měřené hodnoty						
		Penetrometrie, rychlost proudu 5cm pod hladinou a nade dnem, hloubka a redukčně-oxidační potenciál.						
		Vybráno 32 bodů, později 3 vyřazeny.						
12.6.-14.6.2021	Nalezení bodu β30							
		Měřené hodnoty						
		Hloubka, rychlost proudu 5 cm pod hladinou a nade dnem, penetrometrie, teplota hyp. vody a nasycení hyporeální vody kyslíkem, redukčně oxidační						
		Kontrola hloubky, teploty a nasycení kyslíkem hyporeální vody u 29 bodů vybraných v předchozím termínu.						
		Založení experimentu						
		Umístění 30 bioindikačních sond na vybraných 30 mikrohabitátech						
		Zaměření superčtverce						
		Čtverec 1x1m rozdělen po 10cm, následně měřena penetrometrie a redox potenciál pro každý čtverec této sítě.						
		U kontinuálních O2 sond měřena rychlost proudu 5 cm pod hladinou a nade dnem, teplota a nasycení kyslíkem hyporeální vody.						
20.06.2021	1.Kontrola							
		U každého ze 30 bodů měřeno						
		Hloubka, rychlost proudu 5 cm pod hladinou a nade dnem, teplota a nasycení kyslíkem hyporeální vody.						
		Uvnitř superčtverce měřeno						
		U bioindikačních destiček a kontinuálních O2 sond měřena hloubka, rychlost proudu 5 cm pod hladinou a nade dnem a teplota a nasycení hyp. vody kyslíkem ve 3 a 13 cm.						
05.07.2021	2.Kontrola							
		Měřeny všechny veličiny jako u předchozí kontroly, kromě rychlosti proudu u bioindikačních destiček.						
13.07.2021	3.Kontrola							
		Měřeny všechny veličiny jako u 1. kontroly						
22.07.2021	4.Kontrola							
		Měřeny všechny veličiny jako u 1. kontroly						
23.-24.07.2021	Ukončení experimentu							
		Vyndání bioindikačních sond z řeky.						
		Diurnálka superčtverce						
		24 hod. měření, při kterém se z každé hadičky odebíraly vzorky pro přezkoumání v laboratoři a několikrát se měřilo i nasycení kyslíkem a teplota hyp. i volné vody.						

Metodika bioindikace

V případě našeho experimentu bylo na 30 vybraných bodech instalováno 30 tzv. trubicových síťových sond (Bílý a kol., 2021) (jedna sonda na jeden bod). V každé sondě bylo 12 juvenilních perlorodek.

Sondy měly tyto parametry: válec z nerezového pletiva 8x4 cm (výška x průměr) o velikosti ok 1 mm, uhelonová vložka (velikost oka 0,25 mm) pro vystlání válce a zabránění útěku jedinců, záznamový teploměr HOBO, silikonová hadička s kotvou z poplastovaného napínacího drátu, vše bylo spojeno stahovacími pásky a nerezovými špendlíky (Eilmsteiner, 2022).

Uvnitř experimentálního čtverce byly instalovány 4 Buddensiekovy destičky (Buddensiek, 1995), z nichž každá obsahovala 11 juvenilních perlorodek.

Všechny perlorodky, které byly nasazeny do sond a destiček byly v termínu 9.-11.6.2021 nafoceny pod mikroskopem s velikostní mřížkou. V termínu 12.-14.6. došlo k vysazení všech jedinců do sond a destiček a ty byly instalovány na dno řeky. V termínech 20.6., 5.7., 13.7. a 22.7. proběhly kontroly bioindikačních sond a destiček.

Nakonec byly v datech 23.-24.7. sondy i destičky vyndány a odvezeny na terénní výzkumnou stanici, kde byly perlorodky opět nafoceny s velikostní mřížkou. U trubicových sond ze 30 bodů bylo zjišťováno, kolik perlorodek se našlo, kolik z nich bylo živých a kolik mrtvých a zda se perlorodky přesunuly v sondě výš nebo níž. Nakonec byly zjištěny průměrné přírůstky přeživších jedinců v každé sondě (Eilmsteiner, 2022).