

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

KATEDRA EKOLOGIE



Diurnální změny koncentrace amonných iontů v mělkém říčním hyporeálu

DIPLOMOVÁ PRÁCE

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

Zpracovala: Bc. Nikola Korytová

2023

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Nikola Korytová

Aplikovaná ekologie

Název práce

Diurnální změny koncentrace amonných iontů v mělkém říčním hyporeálu

Název anglicky

Diurnal ammonium ion concentration changes in shallow river hyporheal

---

Cíle práce

Na základě dvou čtyřadvacetihodinových měření popsat časové a prostorové změny v koncentraci amonných iontů na experimentální ploše 1 x 1 m v mělkém hyporeálu Teplé Vltavy.

Metodika

1) účast na provedení odběru vzorků v r. 2021 a 2022 na experimentálním úseku Teplé Vltavy. Bude proveden odběr na 8 – 9 bodech, ze dvou různých hloubek hyporeálu, 9 – 11 x za 24 hodin. Součástí bude odběr referenčních vzorků volně proudící vody ve stejných časech.

2) provedení laboratorního stanovení koncentrace amonných iontů ve vzorcích v laboratoři ČZU

3) vyhodnocení prostorové a časové distribuce koncentrace amonných iontů na sledované ploše, porovnání stavu při prvním a druhém 24 hodinovém měření.

Získané výsledky budou využity pro Záchranný program perlorodky říční.

**Doporučený rozsah práce**

40 stran

**Klíčová slova**

hyporeál, amoniak, amonné ionty, perlorodka říční, Teplá Vltava

---

**Doporučené zdroje informací**

Bauer, G. (1988). Threats to the freshwater pearl mussel *Margaritifera margaritifera* L. in central Europe. *Biological Conservation*, 45(4), 239-253.

Hendricks, S. P. (1993). Microbial ecology of the hyporheic zone: a perspective integrating hydrology and biology. *Journal of the North American Benthological Society*, 12(1), 70-78.

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

---

**Předběžný termín obhajoby**

2022/23 LS – FŽP

**Vedoucí práce**

Mgr. Michal Bílý, Ph.D.

**Garantující pracoviště**

Katedra ekologie

Elektronicky schváleno dne 13. 3. 2023

**prof. Mgr. Bohumil Mandák, Ph.D.**

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 14. 3. 2023

**prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.**

Děkan

V Praze dne 19. 03. 2023

## Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma „Diurnální změny koncentrace amonných iontů v mělkém říčním hyporeálu“ vypracovala samostatně a citovala jsem všechny informační zdroje, které jsem v práci použila a které jsem rovněž uvedla na konci práce v seznamu použitých informačních zdrojů.

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

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

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

V Praze dne 30. 3. 2023

Nikola Korytová

## **Poděkování**

Ráda bych poděkovala svému školiteli Mgr. Michalovi Bílému, Ph.D. za jeho odbornou pomoc, cenné rady, ochotu a vstřícnost při zpracovávání této diplomové práce a za možnost zúčastnit se prací v terénu. Děkuji Mgr. Ondřeji Simonovi, Ph.D. a RNDr. Jitce Horáčkové, Ph.D. za poskytnuté rady, pomoc při zpracovávání diplomové práce a během terénních prací. Za odbornou pomoc a poskytnutí prostor pro laboratorní analýzu děkuji Ing. Martině Kadlecové. Dále bych chtěla poděkovat Bc. Haně Eilmsteiner, Ing. Martě Rojtové, Ing. Stefánii Audyové a Bc. Michalovi Jeřábkoví za pomoc při terénních pracích a při zpracovávání dat. V neposlední řadě děkuji své rodině a přátelům za podporu a pomoc během celého studia.

## Abstrakt

Tato diplomová práce popisuje časové a prostorové distribuce amonných iontů ( $\text{NH}_4^+$ ) v průběhu 24 hodinového vzorkování v letních měsících v letech 2021 a 2022. Pro analýzu byl v úseku Teplé Vltavy vytvořen experimentální čtverec o rozloze  $1 \text{ m}^2$ . Experimentální čtverec má písčité dno a je potenciálně vhodný k životu juvenilních perlorodek říčních (*Margaritifera margaritifera*). V experimentálním čtverci bylo v jednotlivých letech vytyčeno 8 / 9 bodů vzorkování. Mimo plochu experimentálního čtverce byly vybrány 2 / 4 body v břehových oblastech nedaleko experimentálního čtverce. Tyto body se nacházely v bahnitěm substrátu s výskytem makrofyt. Zároveň byly odebírány vzorky volné vody z Teplé Vltavy. Vzorkování probíhalo ve dnech 23.–24. 7. 2021 a 3.–4. 8. 2022 ze dvou hloubek hyporeálu – 3 a 13 cm pod povrchem dna. Z odebraných vzorků byla stanovena koncentrace amonných iontů  $\text{NH}_4^+$ . Průměrné hodnoty koncentrací  $\text{NH}_4^+$  ve volné vodě byly v roce 2021 0,013 mg/l, v roce 2022 0,060 mg/l. V obou letech se v experimentálním čtverci vyskytovaly body, u kterých nebyla zjištěna žádná koncentrace  $\text{NH}_4^+$ . Maximální hodnota koncentrace  $\text{NH}_4^+$  v experimentálním čtverci byla v roce 2021 0,093 mg/l (bod SoC8z). V roce 2022 byla maximální hodnota koncentrace  $\text{NH}_4^+$  v experimentálním čtverci změřena v bodě J-spod (0,395 mg/l). Celkové koncentrace  $\text{NH}_4^+$  ve volné vodě byly v obou letech vždy nižší, než v bodech experimentálního čtverce. V roce 2021 byly naměřeny vyšší koncentrace  $\text{NH}_4^+$  v horním profilu (3 cm v sedimentu) experimentálního čtverce než ve spodním (13 cm v sedimentu). V roce 2022 byly koncentrace v horním profilu experimentálního čtverce nižší než v profilu spodním. Na základě výsledných koncentrací  $\text{NH}_4^+$  byly interpretovány časové a prostorové charakteristiky rozložení koncentrací  $\text{NH}_4^+$  a následně diskutovány faktory, které mohou mít na distribuci  $\text{NH}_4^+$  vliv a jaký dopad mohou mít koncentrace  $\text{NH}_4^+$  na přežívání juvenilních perlorodek říčních.

**Klíčová slova:** hyporeál, amoniak, amonné ionty, perlorodka říční, Teplá Vltava

## Abstract

This diploma thesis focuses on describing temporal and spatial distribution of ammonium ions ( $\text{NH}_4^+$ ) during a 24 hours sampling period in summer months of 2021 and 2022. An experimental square with area of  $1 \text{ m}^2$  was created for the analysis in Teplá Vltava river segment. The experimental square has a sandy bottom and is potentially suitable for juvenile pearl mussels (*Margaritifera margaritifera*). 8 / 9 sampling points were created in the experimental square. Outside the experimental square, 2 / 4 sampling points were selected in riparian areas nearby the experimental square. These sampling points were located in a muddy substrate with macrophytes. Simultaneously, stream water samples were taken from Teplá Vltava river. Sampling was carried out on 23.–24. 7. 2021 and 3.–4. 8. 2022 from two depths of hyporheic zone – 3 and 13 cm beneath the bottom. The concentration of ammonium ions  $\text{NH}_4^+$  was determined from the collected samples. The average values of  $\text{NH}_4^+$  concentrations in stream water were 0,013 mg/l in 2021 and 0,060 mg/l in 2022. In both years, there were sampling points in the experimental square where no  $\text{NH}_4^+$  concentration was detected. The maximum  $\text{NH}_4^+$  concentration in the experimental square was 0.093 mg/l in 2021 (point SoC8z). In 2022, the maximum value of  $\text{NH}_4^+$  concentration in the experimental square was measured at point J-spod (0.395 mg/l). The total  $\text{NH}_4^+$  concentrations in stream water were always lower than the experimental square points in both years. In 2021, higher  $\text{NH}_4^+$  concentrations were measured in the upper profile (3 cm in sediment) of the experimental square than in the lower profile (13 cm in sediment). In 2022, concentrations were lower in the upper profile of the experimental square than in the lower profile. The concentration of ammonium ions  $\text{NH}_4^+$  was determined from the collected samples. Based on the resulting concentration  $\text{NH}_4^+$ , temporal and spatial characteristics of the distribution of  $\text{NH}_4^+$  concentrations were interpreted and then factors that may influence the distribution of  $\text{NH}_4^+$  and how  $\text{NH}_4^+$  concentration may affect the survival of juvenile pearl mussels were discussed.

**Key words:** hyporheic zone, ammonia, ammonium ions, pearl mussel, Teplá Vltava river

# Obsah

<b>1. ÚVOD.....</b>	<b>1</b>
<b>2. CÍLE PRÁCE .....</b>	<b>2</b>
<b>3. LITERÁRNÍ REŠERŠE .....</b>	<b>3</b>
<b>3.1 Hyporeálová zóna.....</b>	<b>3</b>
3.1.1 Upwelling, downwelling.....	4
<b>3.2 Dusík ve vodním prostředí .....</b>	<b>6</b>
3.2.1 Disimilační redukce dusičnanů na amoniak (DNRA).....	6
3.2.2 Anaerobní oxidace amoniaku (anammox) .....	7
3.2.3 Vliv upwellingu a downwellingu na distribuci dusíku ve vodním prostředí.....	7
3.2.4 Vliv amoniaku na organismy ve vodním prostředí .....	8
<b>3.3 Perlorodka říční (<i>Margaritifera margaritifera</i>) .....</b>	<b>8</b>
3.3.1 Nároky na stanoviště.....	9
3.3.2 Životní cyklus .....	9
3.3.3 Ohrožení perlorodky říční ( <i>Margaritifera margaritifera</i> ) .....	11
<b>4. METODIKA .....</b>	<b>13</b>
<b>4.1 Experimentální čtverec .....</b>	<b>13</b>
4.1.1 Princip vzorkování na testovací lokalitě .....	15
4.1.2 Vzorkování experimentálního čtverce v roce 2021 .....	15
4.1.3 Vzorkování experimentálního čtverce v roce 2022 .....	18
<b>4.2 Sběr vzorků.....</b>	<b>21</b>
4.2.1 Sběr vzorků 2021 .....	21
4.2.2 Sběr vzorků 2022 .....	21
<b>4.3 Stanovení amonných iontů (<math>\text{NH}_4^+</math>).....</b>	<b>22</b>
<b>4.4 Zpracování dat .....</b>	<b>24</b>
<b>5. VÝSLEDKY .....</b>	<b>25</b>
<b>5.1 Vyhodnocení koncentrace amonných iontů v roce 2021 .....</b>	<b>25</b>
5.1.1 Rozdíly v koncentraci amonných iontů mezi horním a spodním profilem (3 a 13 cm pod povrchem) experimentálního čtverce v roce 2021 .....	25
5.1.2 Vztah mezi koncentrací amonných iontů ve volné vodě a v hyporeálu experimentálního čtverce v roce 2021 .....	26
5.1.3 Časová distribuce koncentrací amonných iontů v experimentálním čtverci v roce 2021 .....	28
5.1.4 Časová distribuce koncentrací amonných iontů v bahnitém substrátu v roce 2021 .....	31
5.1.5 Rozdíly v koncentraci amonných iontů v experimentálním čtverci a v bahnitém substrátu v roce 2021 .....	33
<b>5.2 Vyhodnocení koncentrace amonných iontů v roce 2022.....</b>	<b>34</b>
5.2.1 Rozdíly v koncentraci amonných iontů mezi horním a spodním profilem experimentálního čtverce v roce 2022 .....	34



5.2.2 Vztah mezi koncentrací amonných iontů ve volné vodě a v hyporeálu experimentálního čtverce v roce 2022 .....	36
5.2.3 Časová distribuce koncentrací amonných iontů v experimentálním čtverci v roce 2022 .....	37
5.2.4 Časová distribuce koncentrací NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> v bahnitém substrátu v roce 2022 .....	41
5.2.5 Rozdíly v koncentraci amonných iontů v experimentálním čtverci a v bahnitém substrátu v roce 2022 .....	42
<b>5.3 Porovnání koncentrace amonných iontů v mezi lety 2021 a 2022 .....</b>	<b>44</b>
<b>6. DISKUSE .....</b>	<b>46</b>
6.1 Koncentrace amonných iontů .....	46
6.2 Prostorové rozložení koncentrací amonných iontů .....	47
6.3 Časová distribuce koncentrací amonných iontů .....	48
6.4 Dopady pro perlorodku říční ( <i>Margaritifera margaritifera</i> ) .....	50
<b>7. ZÁVĚR .....</b>	<b>52</b>
<b>8. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....</b>	<b>53</b>
8.1 Odborné publikace .....	53
8.2 Legislativní zdroje .....	60
8.3 Internetové zdroje .....	60
<b>9. SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>62</b>
<b>10. SEZNAM TABULEK .....</b>	<b>63</b>
<b>11. SEZNAM PŘÍLOH .....</b>	<b>64</b>
<b>12. PŘÍLOHY .....</b>	<b>66</b>

## 1. Úvod

Hyporeálová zóna je přechodné prostředí mezi povrchovou a podzemní vodou. Hyporeál je ovlivňován mnoha fyzikálně–chemickými faktory, jako je rychlost proudění, typ a propustnost sedimentů nebo množství rozpuštěných látek. Díky těmto vlastnostem vytváří hyporeál unikátní prostředí pro organismy (Lellák & Kubíček, 1992; Hendrikcs, 1993; Boulton et al., 1998). Na hyporeál má vliv i vzestupné a sestupné proudění (tzv. upwelling a downwelling), které dále mění podmínky a vlastnosti hyporeálu (Franken et al., 2001; Wondzell, 2011; Lee et al., 2014). V hyporeálu se odehrává i podstatná část biogeochemických cyklů biogenních prvků, mimo jiné dusíku.

I když je plynný dusík největší složkou atmosféry, vzhledem k tomu, že jsou mezi atomy atmosférického dusíku tvořeny trojné vazby, většina živých organismů není schopna atmosférický dusík přijímat. Výjimku tvoří některé půdní nebo vodní organismy (např. bakterie rodu *Rhizobium*, *Azotobacter*). Jelikož je ale dusík důležitým biogenním prvkem, živé organismy neschopné vázat atmosférický dusík přijímají dusík skrz anorganické (amoniak, dusičnany, dusitany) nebo organické (močovina, nukleové kyseliny) sloučeniny (Lellák & Kubíček, 1992). Z těchto sloučenin získávají organismy pomocí různých biochemických reakcí (nitrifikace, denitrifikace, amonifikace) dusík ve formě, kterou jsou schopny dále využít (Brettar & Rheinheimer, 1991; Lellák & Kubíček, 1992; Jetten et al., 1999; Burgin & Hamilton, 2007).

Vysoké koncentrace určitých sloučenin dusíku ve vodním prostředí mohou mít negativní vliv na přežívání a rozmnožování vodních organismů. Ionty  $\text{NH}_4^+$  mohou za vhodných podmínek přecházet na formu amoniaku ( $\text{NH}_3$ ), který je pro živé organismy toxický (Anděl, 2011). Vliv dusíkatých látek byl pozorován u mlžů z čeledi *Unionidae* i u perlorodky říční (*Margaritifera margaritifera*; Buddensiek, 1995; Frazier et al., 1996; Camargo et al., 2005; Bílý & Simon, 2007; Douda, 2007; Zettler & Jueg, 2007; Douda, 2010). Perlorodka říční je sladkovodní mlž z čeledi *Margaritiferidae* obývající oligotrofní toky. V minulosti byla hojně rozšířeným druhem po celé holarktické oblasti, během 20. století byl ale zaznamenán významný úbytek populací tohoto druhu napříč celým areálem rozšíření. Pokud jsou na lokalitách zachovány její populace, jejich počty jsou často řádově zredukovány a u jedinců je pozastavena schopnost rozmnožování (Simon et al., 2015; Cosgrove et al., 2016; Simon et al., 2017). Jednou z takových lokalit je i Teplá Vltava v Jihočeském kraji (Matasová et al., 2013; Simon et al., 2015; Simon et al., 2017).

V této diplomové práci se věnuji časové a prostorové distribuci amonných iontů ( $\text{NH}_4^+$ ) v hyporeálním prostředí Teplé Vltavy, v souvislosti s jejich možným vlivem na přežívání juvenilních perlorodek říčních.

## 2. Cíle práce

Cílem této diplomové práce je popsat časové a prostorové změny v koncentraci amonných iontů ( $\text{NH}_4^+$ ) na experimentální ploše  $1 \text{ m}^2$  v mělkém hyporeálu Teplé Vltavy během dvou 24 hodinových měření. Na základě měření fyzikálně–chemických vlastností v úseku Teplé Vltavy bude vymezena experimentální plocha o rozměrech  $1 \times 1 \text{ m}$ , která je potenciálně vhodná k životu perlorodky říční (*Margaritifera margaritifera*). Pokus bude probíhat v letních měsících v roce 2021 a 2022. V každém roce bude provedeno jedno 24 hodinové měření, kdy budou z předem vytyčených bodů experimentální plochy odebrány vzorky hyporeálové vody z hloubky 3 a 13 cm pod povrchem dna. Vzorky se na místě zamrazí pomocí suchého ledu, do 24 hodin se přemístí do mrazicího zařízení a následně budou převezeny do laboratoří ČZU k následné laboratorní analýze. Pro porovnání rozdílů v koncentracích amonných iontů z hyporeálu mezi písčitým substrátem experimentální plochy a jiným typem substrátu budou vybrány 2 / 4 body v bahnitěm substrátu, zároveň se bude v průběhu každého měření odebírat vzorek volné vody z toku Teplé Vltavy.

Na základě výsledků z laboratorní analýzy budou popsány časové a prostorové změny v koncentracích amonných iontů v mělkém hyporeálu Teplé Vltavy a faktory, které mohou mít vliv na změny koncentrací amonných iontů. Budou porovnány rozdíly mezi písčitým a bahnitěm substrátem. Zároveň dojde k porovnání rozdílů mezi lety odběru a jaký vliv mohou mít amonné ionty na přežívání perlorodky říční.

### 3. Literární rešerše

#### 3.1 Hyporeálová zóna

Charakterizovat zónu hyporeálu není jednoduché. Jedná se o velmi důležité rozhraní mezi povrchovou a podzemní vodou, která je ovlivněna mnoha faktory – typem sedimentů, morfologií koryta, rychlostí proudění nebo výškou hladiny vody v toku (Lellák & Kubíček, 1992; Boulton et al., 1998; Malcolm et al., 2004; Howard et al., 2006). Hyporeálová zóna je unikátní prostředí, kde panují složité fyzikálně–chemické, biologické a ekologické vztahy (Hendricks, 1993; Franken et al., 2001). Hyporeál má zároveň velký vliv na podmínky panující v povrchové vodě, zejména biogeochemickými procesy, které zde probíhají. Hyporeálové proudění má vliv na distribuci rozpuštěných látek (např. dusičnanů, amoniaku, kyslíku), tepla nebo organického materiálu (Hendricks, 1993; Wondzell, 2011; Sawyer et al., 2012).

Hyporeálová zóna je dynamická a mění se v čase podle aktuálních podmínek v povodí a také vlivem podzemní vody. Tyto změny mohou probíhat odlišně napříč celým tokem. Je pravděpodobné, že za odlišné změny v různých úsecích toku je zodpovědná zejména morfologie koryta toku (Hendricks, 1993; Wondzell, 2011). Další vliv na změny hyporeálu v čase můžou mít velké a rychlé změny hladiny vody. Tyto jevy můžeme pozorovat zejména jako sezónní povodně, u regulovaných toků mohou významné změny hladiny vody způsobovat přehradu na horním toku (Howard et al., 2006). Vnější vlivy dále ovlivňují samotné proudění v rámci hyporeálu. To může způsobovat rozdílnou distribuci rozpuštěných látek v daném úseku toku (Malcolm et al., 2004, Malcolm et al., 2009).

Za antropogenní vliv na vlastnosti a funkce hyporeálu můžeme označit využití půdy v povodí, regulace toků a jejich rekultivaci. Zemědělské postupy mohou významně ovlivnit proudění v hyporeálu, teplotu nebo zanášení koryta sedimenty. Využití půdy má vliv i na diverzitu organismů – v potocích odvodňujících les se v hyporeálu vyskytovala pestrá fauna bezobratlých. Naopak v případě vykácených lokalit pro pastviny se diverzita snižovala. Je možné, že splavené sedimenty z pastvin zanášely stanoviště, která by za jiných podmínek mohla osidlovat společenstva bezobratlých živočichů. Vhodné lokality může narušit i regulace průtoků prostřednictvím přehrad, což má za následek nedostatečné odplavování sedimentů. Přímá regulace koryta toku má vliv na příbřežní hyporeálová stanoviště, která zcela zanikají. Antropogenní vliv na povodí je možné zmírnit vhodným využíváním půdy v povodí nebo

rekultivací regulovaných toků. Vhodná rekultivace může zlepšit propojení povrchové vody s podzemní, není ale zcela jasné, jaký vliv má rekultivace toků na funkčnost hyporeálu (Boulton et al., 1997; Gómez & Araujo, 2008; Malcolm et al., 2010; Zimmer & Lautz, 2015).

### 3.1.1 Upwelling, downwelling

Vzestupné (upwelling) a sestupné (downwelling) proudění vody mezi povrchovou a podzemní vodou je významnou součástí hyporeálu. Prostřednictvím upwellingu a downwellingu dochází ke kontaktu povrchové a podzemní vody. Jsou způsobeny geomorfologickými vlastnostmi koryta toku, které vytváří tlakové gradienty. Upwelling a downwelling mají vliv na fyzikálně–chemické vlastnosti hyporeálu nebo distribuci rozpustných látek a tím vytváří unikátní prostředí pro mikrobiální společenstva, která mají další vliv na chemické složení vody v toku. Upwelling a downwelling se od sebe liší fyzikálními a chemickými podmínkami, které ovlivňují druhové složení v těchto lokalitách. Rozdíly mezi lokalitami upwellingu a downwellingu byly pozorovány u teploty, pH, redoxního potenciálu, rozpuštěného kyslíku nebo u koncentrace dusičnanů (Franken et al., 2001; Wondzell, 2011; Lee et al., 2014; Martone et al., 2020; Ren & Zhao, 2020).

Ovlivnit vzestupné a sestupné proudění může několik faktorů. Významný vliv má jistě morfologie říčního dna. Na tvorbě upwellingu a downwellingu se podílí morfologické útvary v korytě – tůňě a přírodní brody nebo vyvýšené nánosy sedimentů. U těchto útvarů je pro vznik a směřování proudění důležitý počet, geometrické tvary i celkové rozložení na dně toku. Na přední straně brodů se voda infiltruje do dna (downwelling), zatímco na zadní straně opět vyvěrá do koryta (upwelling) (Lee et al., 2014; Ren & Zhao, 2020). Morfologii koryta můžou změnit například odlišné hydrologické podmínky v toku během vysokého průtoku nebo ve struktuře proudění, které mají následně vliv na upwelling a downwelling. Naopak změna rychlosti proudění zřejmě zásadní vliv na rozložení upwellingu a downwellingu nemá (Lee et al., 2014; Martone et al., 2020; Ren & Zhao, 2020; Marciniak et al., 2022). Upwelling a downwelling může ovlivnit například i proudění vody v toku kolem velkých dřevin, díky čemuž vznikají tlakové gradienty a tím podporují proudění (Sawyer et al., 2012).



Obr. 1: Konceptuální diagram proudění povrchové vody přes hyporeál v korytě toku v úseku tůně – přírodní brod a vztah k distribuci podzemní vody. Linie A představuje infiltraci povrchové vody (downwelling) a linie B reprezentuje oblast vzestupného proudění (upwelling) vody z hyporeálu zpět do povrchové vody toku. Převzato z Hendricks, 1993.

Upwelling a downwelling se liší svým fyzikálně–chemickým složením. Jelikož při sestupném proudění vstupuje voda z koryta do sedimentu, chemické složení se více podobá povrchové vodě než u upwellingu. U downwellingu byla naměřena v průměru vyšší teplota, více rozpuštěného kyslíku (s hloubkou mírně klesal) a redoxního potenciálu. U rozpuštěného kyslíku a redoxního potenciálu byla navíc zjištěna významná korelace (Franken et al., 2001). Složitější vztahy ovšem představuje obsah dusičnanů, který se napříč studiemi mezi upwellingem a downwellingem liší. Například Franken et al., 2001 identifikovali významně vyšší obsah dusičnanů v rámci downwellingu, naproti tomu Heppell et al., 2014 zjistili vyšší koncentrace dusičnanů u upwellingu (Franken et al., 2001; Heppell et al., 2014). Tyto rozdíly mohou být způsobeny odlišnou biologickou aktivitou, která se podílí například na oxidačně–redukčních nebo asimilačně–disimilačních reakcích, což může mít vliv na koncentraci dusičnanů. Biologická aktivita je dále ovlivněna i dostupností kyslíku, na kterou mohou mít vliv i samotné mikroorganismy žijící v lokalitách sestupného i vzestupného proudění a hyporeálu (Hendricks, 1993). Naopak u upwellingu bylo zjištěno vyšší pH. (Franken et al., 2001).

### 3.2 Dusík ve vodním prostředí

Hyporeál hraje důležitou roli v transportu a přeměně dusíku ( $N_2$ ) ve vodním prostředí. Velikost hyporeálu má přímý vliv na rychlost odstraňování dusíku (Johnson et al., 2015). Dusík ve formě  $N_2$  je pro většinu organismů nedostupný, proto musí organismy přijímat dusík z anorganických a organických sloučenin. Vysoké koncentrace sloučenin dusíku mohou být limitujícím faktorem pro vodní organismy. Za efektivní odstranění dusíku ve vodních ekosystémech se považuje proces denitrifikace, při které vzniká  $N_2$  (Buddensiek, 1995; Burgin & Hamilton, 2007; Douđa, 2010; Zhou et al., 2014). Ve vodním prostředí není amoniak ( $NH_3$ ) stabilní, vyskytuje se zde ve formě amonných iontů ( $NH_4^+$ ), které samy o sobě nejsou příliš toxické. Pokud se ale změní vlastnosti vody (zvýšené pH),  $NH_4^+$  se transformují na  $NH_3$ , který je velmi toxický (Anděl, 2011).

Sloučeniny dusíku se v hyporeálu chovají dynamicky. Působí na ně několik faktorů. Chování dusičnanů ( $NO_3^-$ ) a amonných iontů ( $NH_4^+$ ) se liší podle toho, zda se nachází v aerobním či anaerobním prostředí, které závisí na mikrobiální aktivitě, geologii, hydrologii nebo na iontové výměně s  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $K^+$  nebo  $Na^+$  (čímž se sníží vodná koncentrace  $NH_4^+$ ). Dusičnany mohou být redukovány na amoniak (DNRA) nebo molekulární dusík  $N_2$  (denitrifikace) (Zopfí et al., 2001; Burgin & Hamilton, 2007; Zhou et al., 2014; Yan et al., 2022).

Když se  $NH_4^+$  dostane do hyporeálové zóny, dochází k mikrobiální oxidačně–redukční reakci. Při aerobních podmínkách se  $NH_4^+$  mění na dusičnany ( $NO_3^-$ ; nitrifikace), v případě anaerobních podmínek vzniká z  $NH_4^+$  oxid dusičitý ( $NO_2^-$ ) nebo hydrazin ( $N_2H_2$ ). Další významnou roli v přeměně  $NH_4^+$  ve vodním prostředí hraje anammox, tedy anaerobní oxidace  $NH_4^+$ . Při této biologické reakci se mění dusitanové ( $NO_2^-$ ) a amonné ionty na molekulární dusík a vodu (Zhou et al., 2014; Yan et al., 2022).

#### 3.2.1 Disimilační redukce dusičnanů na amoniak (DNRA)

Disimilační přeměna dusičnanů na amonné ionty ( $NH_4^+$ ), neboli DNRA, je proces, při kterém se dusičnany ( $NO_3^-$ ) transformují na  $NH_4^+$ , který je pro organismy lépe biologicky dostupný. Existují dvě varianty DNRA – fermentace a oxidace síry (Tiedje et al., 1988; Brettar & Rheinheimer, 1991; Brunet & Garcia-Gil, 1996).

Redukce dusičnanů s oxidací redukováných forem síry (včetně volného sulfanu  $\text{H}_2\text{S}$  nebo  $\text{FeS}$ ) a elementární síry je forma DNRA, kdy vzniká  $\text{N}_2$  nebo  $\text{NH}_4^+$ . Sloučeniny síry slouží jako dárci elektronu pro dusičnany. Tato reakce se může projevovat hromaděním amoniaku v sedimentech toku. DNRA oxidací síry je ale závislá na počáteční přítomnosti sulfanu, jinak dochází k denitrifikaci dusičnanů (Brettar & Rheinheimer, 1991; Brunet & Garcia-Gil, 1996).

### 3.2.2 Anaerobní oxidace amoniaku (anammox)

Anaerobní oxidace amoniaku (anammox) je způsob eliminace  $\text{NH}_4^+$  v anaerobních podmínkách prostřednictvím bakterií žijících v sedimentu vodních ekosystémů za vzniku  $\text{N}_2$ . Meziprodukty anammoxu jsou hydrazin a hydroxylamin. Anammox probíhá v anoxických odpadních vodách, v oligotrofních jezerech nebo v mořích. Optimální teplota pro tento proces je  $12\text{ }^\circ\text{C}$ . Bakterie, které umějí oxidovat amoniak, mají speciální organelu – anammoxosom, ve kterém probíhá katabolismus anammoxu. Nachází se zde enzym hydrazin/hydroxylamin oxidoreduktáza, která chrání buňku před toxickými meziprodukty anammoxu. Bakterie provozující anammox se dokonce mohou obklopit aerobními bakteriemi oxidujícími  $\text{NH}_4^+$ . Aerobní bakterie poskytují ochranu anammox bakteriím před kyslíkem a zároveň mohou dodávat anammox bakteriím  $\text{NH}_4^+$  (Jetten et al., 1999; Jetten et al., 2003, Strous et al., 2006).

### 3.2.3 Vliv upwellingu a downwellingu na distribuci dusíku ve vodním prostředí

Upwelling a downwelling vytvářejí odlišné fyzikálně–chemické podmínky (zejména přítomností kyslíku) a z tohoto důvodu jsou osidlovány rozdílnými taxony organismů a tím mají vliv na procesy transformace dusíku. U downwellingu byly zjištěny vyšší koncentrace rozpuštěného kyslíku (pravděpodobně infiltrací okysličené povrchové vody). Z tohoto důvodu je možné, že v zónách downwellingu bude docházet spíše k aerobním přeměnám dusíku (např. nitrifikace). Naopak u upwellingu byly naměřeny nižší koncentrace rozpuštěného kyslíku. V těchto lokalitách zřejmě dochází více k anaerobním procesům přeměny dusíku (denitrifikace nebo amonifikace) (Hendricks, 1993; Kim et al., 2018; Wang et al., 2022). Svoji roli hraje i roční období. V hyporeálu se vyskytují vyšší koncentrace amoniaku v létě a nejnižší v zimě. Je zajímavé, že v povrchové vodě byly tyto koncentrace přesně opačné (Blackburn & Hendriksen, 1983; Frazier et al., 1996).



Různé studie se ale neshodují v rozdílech koncentrací  $\text{NH}_4^+$  nebo  $\text{NO}_3^-$  u downwellingu a upwellingu. V hyporeálu se často vyskytují nerovnoměrně, někdy je naměřena vyšší koncentrace dusičnanů u upwellingu, jindy u downwellingu. V jiném případě byla koncentrace  $\text{NH}_4^+$  u upwellingu a downwellingu téměř stejná. To lze vysvětlit současným působením několika biochemických procesů – nitrifikace, denitrifikace a amonifikace (Frazier et al., 1996; Franken et al., 2001; Hendricks, 1993; Wang et al., 2022). V místech s nižším výskytem zón downwellingu obsahoval hyporeál vyšší koncentrace  $\text{NH}_4^+$  než  $\text{NO}_3^-$  (Crenshaw et al., 2010).

### 3.2.4 Vliv amoniaku na organismy ve vodním prostředí

Amoniak ( $\text{NH}_3$ ) lze považovat za indikátor eutrofizace. Amoniak může mít významný vliv na přežívání juvenilů perlorodek, letální toxicita  $\text{NH}_3$  je ovlivněna teplotou (Buddensiek, 1995; DiLorenzo et al., 2015). Bylo prokázáno, že přítomnost amoniaku může být limitujícím faktorem pro zástupce čeledi *Unionidae*, a jelikož se ukázalo, že koncentrace amoniaku v hyporeálu může být výrazně vyšší než v povrchové vodě, jsou jedinci žijící v sedimentech amoniaku vystaveni ještě více (Frazier et al., 1996; Augspurger et al., 2003).

### 3.3 Perlorodka říční (*Margaritifera margaritifera*)

Perlorodka říční (*Margaritifera margaritifera*) je sladkovodní mlž (Bivalvia), spadající do řádu Unionida, čeledi *Margaritiferidae* a rodu *Margaritifera*. Perlorodka má pevné lastury tmavých odstínů (tmavohnědé až hnědožluté a odstíny zelené) se silnou perleťovou vrstvou. Na lasturách jsou dobře znatelné přírůstkové vrstvy. Je schopna tvořit perly. Potravou pro perlorodku je detrit přítomný ve volné vodě, který přijímá pomocí filtrace přes žábry a detrit je poté pomocí obrvených rýh veden k ústnímu otvoru. Perlorodka má svalnatou klínovitou nohu, pomocí které se může pohybovat v příčném profilu dna. Perlorodka je významným bioindikačním a deštníkovým druhem. Má široký areál rozšíření, je přizpůsobena chladným oligotrofním tekoucím vodám se sníženým obsahem živin a vápníku (Beran, 1998; Beran, 2002; Geist et al., 2010; Smrž, 2013).



Obr. 2: Perlorodka říční (*Margaritifera margaritifera*). Zdroj: [www.perlorodkaricni.cz](http://www.perlorodkaricni.cz)

### 3.3.1 Nároky na stanoviště

Perlorodka říční má holarktický areál rozšíření. V minulosti se na našem území vyskytovala v oblastech 250–800 m. n. m., nicméně v současnosti ji nacházíme jen v podhorských oblastech (> 500 m. n. m.), hlavně v oblasti jižních Čech. Z nízko položených lokalit byla v minulosti vytlačena z důvodu znečištění, zvýšení množství živin, lovu perel a úbytku hostitelských ryb způsobeným přehrazováním řek. Do současnosti se zachoval jen pouhý zlomek populací. Perlorodka obývá chladné oligotrofní toky chudé na vápník a živiny. Preferuje balvanitě stabilizované písčité sedimenty. Dospělci jsou schopni snášet, alespoň po krátkou dobu, i bahnitě sedimenty (Beran, 1998; Beran, 2002; Hastie et al., 2000a; Popov & Ostrovsky, 2013; Simon et al., 2015).

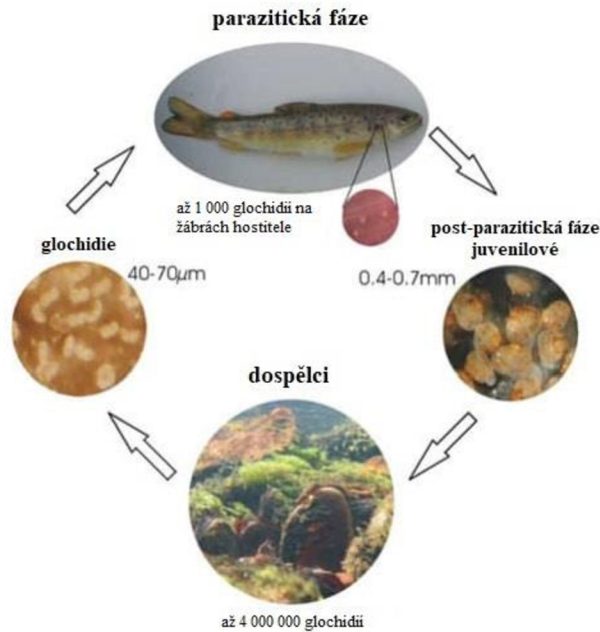
### 3.3.2 Životní cyklus

Perlorodka říční je gonochoristou, nicméně samice tohoto druhu se mohou stát hermafrodity. Po oplodnění se z vajíček líhnou glochidie, což jsou parazitické larvy, které se přichytávají na žábry hostitelských ryb. Glochidie o velikosti přibližně 70–80  $\mu\text{m}$  jsou pasivně unášeny proudem, a pokud se setkají s hostitelskou rybou, přichytí se na její žábry. Přežití

glochidií ve volné vodě je závislé na teplotě. Při 16 °C přežívají až šest dní, při teplotách okolo 5 °C až osm dní (Bauer, 1988; Bauer, 1994; Agentura ochrany přírody a krajiny ČR [AOPK ČR], © 2013; Smrž, 2013). Původní hostitelskou rybou pro glochidie perlorodky říční je losos obecný (*Salmo salar*). Jelikož se ale losos obecný v oblastech výskytu perlorodky říční v Čechách již nevyskytuje, je v současnosti hostitelskou rybou v našich podmínkách pstruh obecný (*Salmo trutta*). Po uchycení na žaberním aparátu hostitele glochidie vytvoří cystu, ve které probíhá metamorfóza. V našich podmínkách metamorfóza trvá přibližně 11 měsíců. (Beran, 1998; AOPK ČR, © 2013; Smrž, 2013; Simon et al., 2017).

Po opuštění hostitele se juvenilní jedinci perlorodky říční dostávají do dna toku. Jedná se o zvlášť kritickou fázi životního cyklu perlorodky. Perlorodky v juvenilním stádiu jsou velmi citlivé na kvalitu stanoviště, zejména na teplotu, obsah rozpuštěného kyslíku, složení substrátu nebo na dostupnost kvalitní potravy. Při nesplnění těchto podmínek mladá perlorodka hyne (Simon et al., 2017). Juvenilové v ČR žijí skrytě ve dně toku přibližně 5–10 let. V tomto období jedinec významně roste a postupně zaujímá pozici u povrchu dna. Pohlavní dospělost nastává okolo 15–20 let věku jedince. Po nástupu pohlavní dospělosti se růst perlorodky zpomaluje (AOPK ČR, © 2013).

Maximální délka života perlorodky říční se liší podle lokality výskytu. Zatímco ve Španělsku se perlorodka běžně dožívá okolo 30 let, více na sever se její maximální délka života zvyšuje. Ve skandinávských zemích se může dožít až 130 let. To způsobuje pravděpodobně pokles rychlosti metabolismu spojený s nižšími teplotami. Podobné vztahy lze najít i u velikosti lastur, které se směrem na sever rovněž zvětšují. Zároveň velikost lastur může záviset na velikosti a teplotě toku. Ve velkých a studených řekách najdeme větší perlorodky, ale na velikost lastur mohou mít vliv i další faktory (Bauer, 1992; Hastie et al., 2000b).



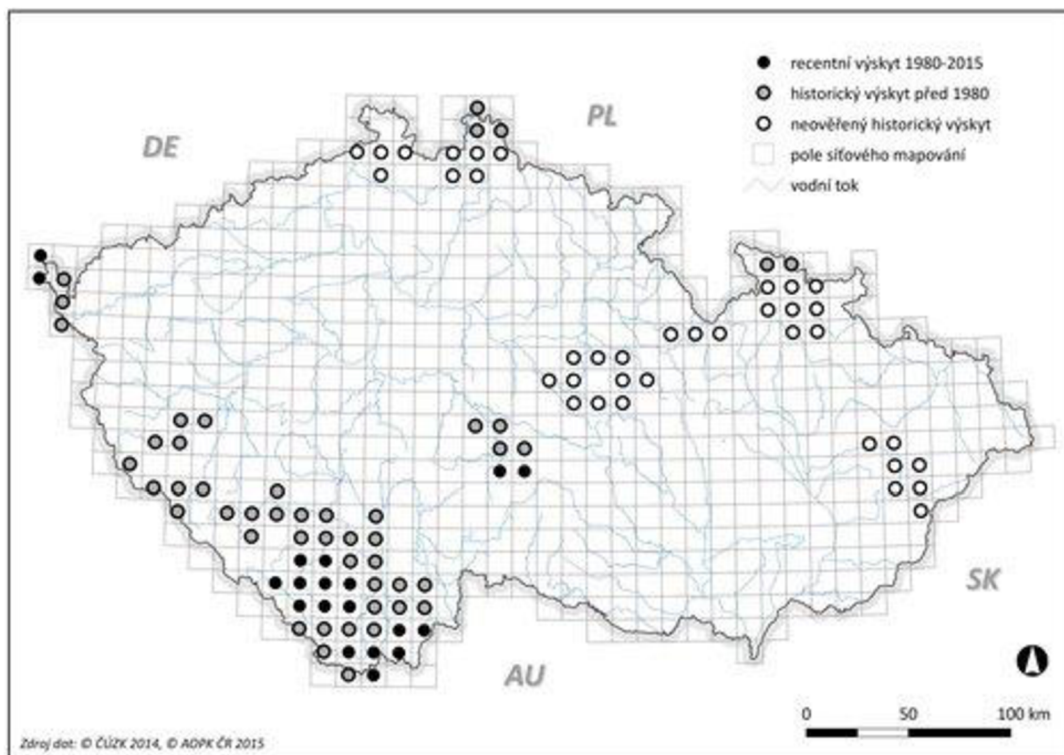
Obr. 3: Životní cyklus perlorodky říční (*Margaritifera margaritifera*). Převzato z Geist, 2010.

### 3.3.3 Ohrožení perlorodky říční (*Margaritifera margaritifera*)

Perlorodka říční (*Margaritifera margaritifera*) je ve většině svého původního areálu ohroženým druhem. Nachází se v červeném seznamu IUCN i AOPK ČR jako kriticky ohrožený druh (celosvětově dle IUCN ohrožená) (Farkač et al., 2005; International Union for Conservation of Nature [IUCN], © 2010). Mnoho populací napříč Evropou i Severní Amerikou ztratilo schopnost se přirozeně rozmnožovat. Několik málo populací schopných přirozeného rozmnožování lze nalézt ve Skandinávii, Rusku nebo ve Skotsku. I zde ale pozorujeme výrazný úbytek životaschopných populací (Popov & Ostrovsky, 2013; Cosgrove et al., 2014; Cosgrove et al., 2016; Oulasvirta et al., 2017).

V minulosti populace perlorodky říční ohrožoval hlavně lov perel, průmyslové znečištění, odvodňování, těžba rašeliny, stavba přehrad (brání migraci hostitelských ryb) nebo narovnávaní řek (Young et al., 2001; Popov & Ostrovsky, 2013; Oulasvirta et al., 2017). V současnosti představuje největší ohrožení pro perlorodku říční zejména eutrofizace. Koncentrace dusičnanů a fosforu v několika studiích vykazovala pozitivní korelaci s úmrtností jedinců (Bauer, 1986; Bauer, 1988; Young, 1991; Young et al., 2001; Popov & Ostrovsky, 2013). Vhodný management a využití půdy v povodí může mít pozitivní vliv na kvalitu vody, zejména snížení koncentrace dusičnanů (Bílý & Simon, 2007; Staponites et al., 2022).

Současné populace perlorodky říční na našem území se nachází zejména v jižních Čechách, přesněji v Teplé Vltavě, Blanici, Zlatém potoce a Malši. Další významnější výskyt najdeme na západě Čech v povodí Sály, konkrétně v Lužním potoce, Bystřině nebo Rokytnici (viz obr. 4). Jedinci se v těchto zbývajících populacích nacházejí roztroušeně nebo v malých koloniích. Ve většině českých populací je přerušovaný reprodukční cyklus, pravděpodobně od 80. let minulého století, kdy se uchytila poslední významná kohorta jedinců perlorodky. Několik mladých jedinců bylo nalezeno v Teplé Vltavě a v Horní Malši (Matasová et al., 2013; Simon et al., 2015).



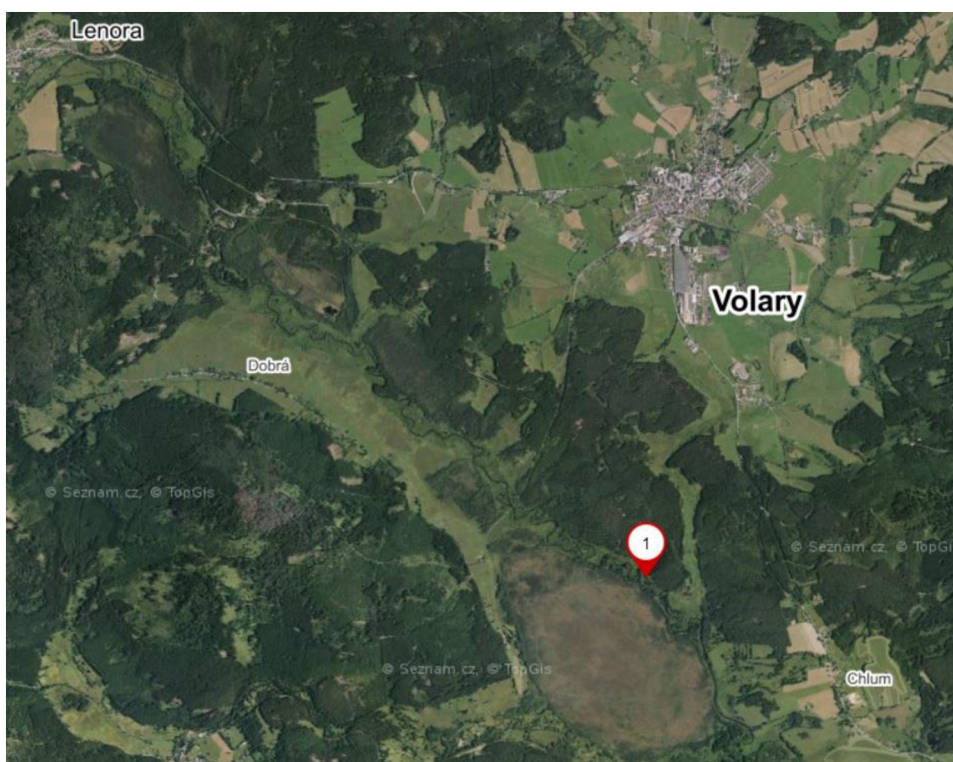
Obr. 4: Mapa rozšíření perlorodky říční včetně historických dat. Převzato z <https://www.zachranneprogramy.cz/perlorodka-ricni/rozsireni/>.

Produkce glochidií se udržuje i v řídkých populacích. Pokud by došlo k zastavení příčin úmrtnosti mladých jedinců a nastolení vhodných podmínek pro glochidie i juvenilní stádia perlorodky (dostupní vhodní hostitelé glochidií, nastolení vhodných podmínek v toku), zbývající populace by se měly být schopny obnovovat (Bauer, 1988).

## 4. Metodika

### 4.1 Experimentální čtverec

Zájmová lokalita se nachází na Teplé Vltavě, nedaleko obce Volary, v I. zóně NP Šumava, v okrese Prachatice v Jihočeském kraji, poblíž hydrologické stanice Chlum (377,7 km) (viz obr.5). Na základě stanovení fyzikálně–chemických vlastností byl ve vhodných podmínkách vytvořen přibližně ve středu toku, 5 metrů od levého a 3 metry od pravého břehu, zhruba 1 400 m proti proudu od soutoku Teplé Vltavy a Volarského potoka, čtverec o rozloze 1 m<sup>2</sup>. Tato konkrétní experimentální plocha byla sledována již v minulosti v předchozích pracích (Konrady, 2019).



Obr. 5: Poloha zájmové lokality. Zdroj: Mapy.cz

K vytipování lokality sloužilo stanovení redoxního potenciálu, rychlost proudu, penetrometrický odpor dna a výška vodního sloupce. Experimentální čtverec se nacházel ve štěrkopískovém dně. Průměrný roční stav vodní hladiny nejbližší hydrologické stanice Chlum je 77 cm s průměrným ročním průtokem 5,894 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup> (Český hydrometeorologický ústav [ČHMÚ], © 2023).

Hodnota redoxního potenciálu sloužila ke stanovení množství kyslíku v hyporeálu. Měření redoxního potenciálu probíhalo redoxní sondou WTW (vpichová platinová elektroda, referenční elektroda skleněná). Pro kontrolu správné funkčnosti přístroje byla vždy před začátkem pokusu změřena hodnota redoxního potenciálu ve volné vodě, která by v této lokalitě měla dosahovat 300 mV. K měření redoxního potenciálu na konkrétním místě v sedimentu se redoxní sonda zapíchla přibližně 3 cm do sedimentu. Pro stanovení vhodného habitatu k potenciálnímu osídlení živočichů byla stanovena minimální hodnota redoxního potenciálu 100 mV, v ideálním případě byla hodnota redoxního potenciálu minimálně 200 mV, někdy až 300 mV. Tyto hodnoty jsou předpokladem pro dobrou prokysličenost substrátu a tedy vhodné podmínky pro život i pro juvenilní perlorodky.

Ke stanovení rychlosti proudění byla využita hydrometrická vrtule typu SEBA. Měření probíhalo v roce 2021 ve vodním sloupci 5 cm pod aktuální hladinou vody a 5 cm ode dna po dobu 30 vteřin. Výška měření se nastavila přímo na tyči hydrometru, během měření byla hydrometrická vrtule proti proudu toku a dbalo se na to, aby se před vrtulí nenacházely žádné překážky, které by mohly ovlivnit měření. Zjištěné rychlosti proudu sloužily k popisu experimentální lokality. V příloze 35 a 36 jsou uvedeny naměřené rychlosti proudění v experimentálním úseku Teplé Vltavy v roce 2021.

Penetrometrický odpor dna byl měřen před začátkem instalací trvalých hadiček v roce 2021 pro orientační zjištění, jaký je charakter sedimentů pomocí ručního penetrometru v hloubce 3 cm a 13 cm v sedimentu (viz obr. 6, příloha 32). Na ploše experimentálního čtverce je písčité až štěrkopískové dno, které je vhodné pro život juvenilních perlorodek (Elmsteiner, 2022; Rojtová, 2022).

V roce 2021 se před začátkem experimentu měřila výška vodního sloupce s pomocí měrné latě ve svislé poloze, kolmo k říčnímu dnu. Výšky vodního sloupce jsou uvedeny v příloze 34. V roce 2022 se výška vodního sloupce měřila před začátkem experimentu a poté přibližně měsíc po ukončení experimentu (13. 9. 2022). Naměřené hodnoty jsou uvedeny v přílohách 37–39.

#### 4.1.1 Princip vzorkování na testovací lokalitě

Ve vytipovaných bodech vzorkování byly v sedimentu zavedeny různé kontinuální sondy a bioindikační systémy, jejichž rozmístění a počet se mezi lety 2021 a 2022 měnil.

Pro předmět této DP bylo podstatné, že k bioindikačním destičkám i kontinuálním sondám byly připevněny plastové hadičky, jejichž jeden konec byl zaveden v potřebné hloubce sedimentu (3 nebo 13 cm) a druhý konec byl vyveden nad povrch dna. Z konců hadiček nade dnem je možné pomocí injekční stříkačky nasát vodu z hyporeálu. Tyto trvalé hadičky byly ve dně delší dobu, proto bylo dno kolem nich již stabilizováno. Odběr vody tak byl přesnější, než pokud by se hadička pro odběr hyporeálové vody do dna zaváděla pro každý odběr znovu.

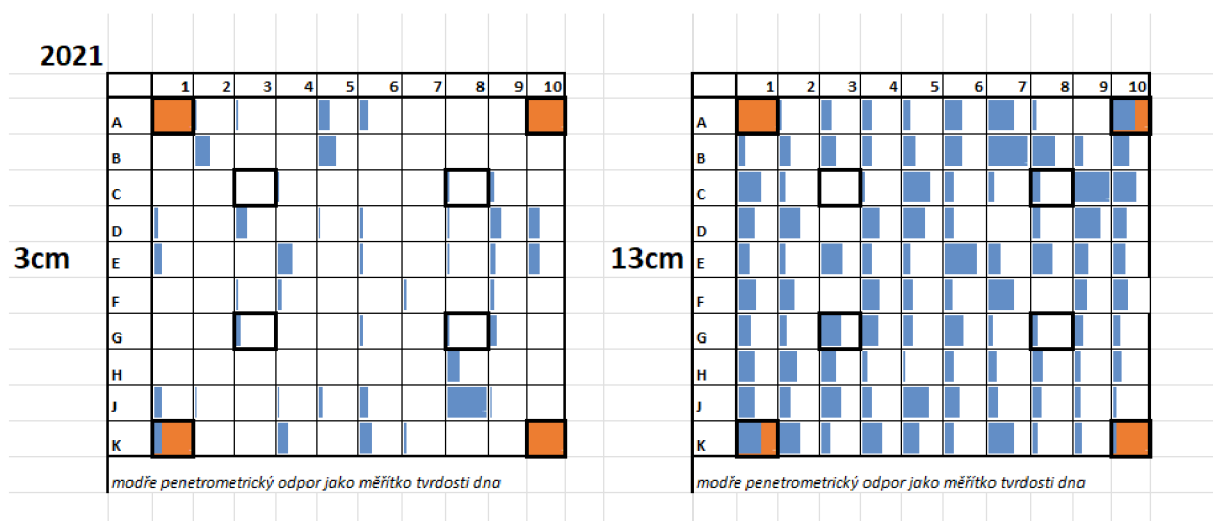
K odběru hyporeálové vody byly využívány injekční stříkačky o objemu 5 ml. Z injekčních stříkaček se odebraných 5 ml hyporeálové vody převedlo do epruvet (tzv. eppendorfky). Všechny odebrané vzorky byly na místě ihned zamrazeny pomocí suchého ledu, nejpozději do 24 hodin uloženy do mrazicího zařízení na blízké terénní stanici NP Šumava a poté převezeny do Prahy k laboratorní analýze v laboratořích ČZU.

#### 4.1.2 Vzorkování experimentálního čtverce v roce 2021

V roce 2021 byl čtverec rozdělen na čtyři úseky ve formátu mřížky 2x2. V každém jednom úseku mřížky, tj. ve čtyřech bodech byly umístěny dvě kontinuální Onset kyslíkové sondy. Kyslíkové sondy z jednoho úseku byly umístěny vždy pod sebou, v hloubkách 3 cm a 13 cm pod povrchem dna v době instalace. Vzdálenost mezi body, kde byly kyslíkové sondy umístěny, byla 60 cm. Ke každé kyslíkové sondě byla přivedena jedna hadička, ze které bylo možné odebírat vzorky hyporeálové vody pomocí injekčních stříkaček. Ve všech 4 rozích experimentálního čtverce mimo kyslíkové sondy byly instalovány bioindikační destičky, jejichž testovací zóna byla umístěna 3 cm pod povrchem dna. V našem případě bylo v každé bioindikační destičce umístěno 11 jedinců perlorodky říční z kohorty 1+, dohromady 44 jedinců ve všech bioindikačních destičkách. Vzdálenost mezi bioindikačními destičkami byl 1 m. K jednotlivým bioindikačním destičkám byly zavedeny 2 hadičky k odběru vzorků vody z hyporeálu v hloubce 3 a 13 cm pod povrchem. Na celé ploše experimentálního čtverce tak bylo rozmístěno osm kontinuálních kyslíkových sond a čtyři bioindikační destičky na celé ploše čtverce.



Celkem bylo možné v roce 2021 nasbírat 16 vzorků hyporeálové vody z experimentálního čtverce. Pro porovnání rozdílů koncentrace amonných iontů a pro zjištění možných vlivů na tuto koncentraci byly vybrány další dva body, ze kterých bylo možné odebrat celkem čtyři vzorky hyporeálové vody z hloubky 3 cm a 13 cm pod povrchem. Tyto body se vyznačovaly bahnitým substrátem s vysokým množstvím přítomných makrofyt. U těchto doplňkových bodů mimo experimentální čtverec se předpokládá zvýšená koncentrace amonných iontů. Před každou sérií měření byl odebrán jeden vzorek volné vody. Celkový počet vzorků z experimentálního čtverce, volné vody a doplňkových bodů v roce 2021 tak činil 21. Na obrázku 6 je zobrazen plánec rozmístění bodů vzorkování na zájmové lokalitě, v tabulce 1 je uveden seznam všech bodů vzorkování v roce 2021.



Obr. 6: Situační plánec bodů vzorkování v experimentálním čtverci v roce 2021, hrana čtverce 1m. Modré vodorovné sloupce znázorňují v každém políčku relativní tvrdost oproti ostatním políčkům, viz příloha 32, kde jsou číselné hodnoty). Tučně vyznačený čtvereček značí umístění hadičky pro nasávání v hloubkách 3 a/ nebo 13 cm. Oranžové body v rozích značí polohu bioindikačních systémů s hadičkami také ve 3 a 13 cm hloubky.

Tabulka 1: Kódování, umístění, profil (hloubka) bodů a způsob napojení hadiček sloužící k odběru hyporeálové vody při experimentu v roce 2021. EČ – experimentální čtverec, BS – bahnitý substrát, horní profil – hadička umístěna 3 cm v sedimentu, spodní profil – hadička umístěna 13 cm v sedimentu.

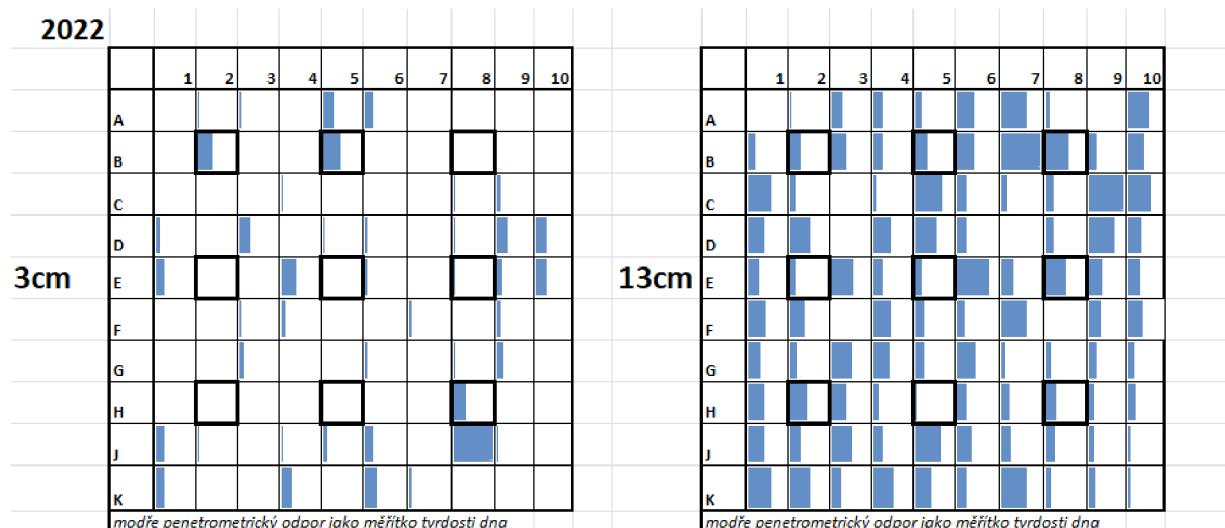
Kód bodu	Umístění	Profil (hloubka)	Napojen na
SoC3z	EČ	horní	kyslíková sonda
SoC3b	EČ	spodní	kyslíková sonda
SoC8z	EČ	horní	kyslíková sonda
SoC8b	EČ	spodní	kyslíková sonda
SoG3z	EČ	horní	kyslíková sonda
SoG3b	EČ	spodní	kyslíková sonda
SoG8z	EČ	horní	kyslíková sonda
SoG8b	EČ	spodní	kyslíková sonda
DeC3z	EČ	horní	bioindikační destička
DeC3b	EČ	spodní	bioindikační destička
DeC8z	EČ	horní	bioindikační destička
DeC8b	EČ	spodní	bioindikační destička
DeG3z	EČ	horní	bioindikační destička
DeG3b	EČ	spodní	bioindikační destička
DeG8z	EČ	horní	bioindikační destička
DeG8b	EČ	spodní	bioindikační destička
BaVpřSt	BS	horní	-
BaVpřZe	BS	spodní	-
BaVzSt	BS	horní	-
BaVzZe	BS	spodní	-
VV	volná voda	-	-

#### 4.1.3 Vzorkování experimentálního čtverce v roce 2022

V roce 2022 bylo rozvržení experimentálního čtverce aktualizováno. Čtverec měl opět rozlohu 1 m<sup>2</sup>.

Trvalé hadičky pro odběr vody ze dvou hloubek byly rozvrženy do mřížky 3x3 (celkem devět bodů viz obr. 7). V jednom úseku mřížky se nacházely dvě hadičky nad sebou. Tyto sondy byly, stejně jako v roce 2021, zavedeny ve dvou rozdílných hloubkách – 3 a 13 cm pod povrchem v době instalace. Celkem bylo tedy nasazeno 18 hadiček. Vzdálenost mezi hadičkami byla 30 cm.

Celkem bylo možné v roce 2022 získat z experimentálního čtverce 18 vzorků vody z hyporeálu. Podobně jako v roce 2021 byly vybrány další doplňkové body v okolí. V roce 2022 se jednalo o čtyři body na lokalitách, kde se předpokládala zvýšená koncentrace amonných iontů. Jednalo se opět o bahnité substráty u břehu na místech analogických roku 2021 (jako body BaVpř a BaVz) a navíc byly přidány dva body v porostu rostlin ve středu koryta 3 metry po proudu od experimentálního čtverce. V roce 2022 byly odebírány tři vzorky volné vody – jeden na úplném počátku série měření, druhý v polovině měření a poslední na konci měření. Celkový počet vzorků z experimentálního čtverce, volné vody a doplňkových bodů byl v roce 2022 roven 29. Na obrázku 7 a v příloze 33 je zobrazen situační plánec bodů vzorkování, v tabulce 2 jsou uvedeny všechny body vzorkování v roce 2022.



Obr. 7: Situační plánec bodů vzorkování v experimentálním čtverci v roce 2022, hrana čtverce 1m. Modré pruhy znázorňují relativní tvrdost dna (delší pruh=tvrdší dno). Tučně vyznačený čtvereček značí umístění hadičky pro nasávání v hloubce 3 a/ nebo 13 cm.

Tabulka 2: Kódování, umístění a profil (hloubka) bodů odběru hyporeálové vody při experimentu v roce 2021. EČ – experimentální čtverec, BS – bahnitý substrát, horní profil – hadička umístěna 3 cm v sedimentu, spodní profil – hadička umístěna 13 cm v sedimentu.

Kód bodu	Umístění	Profil (hloubka)	Napojeno na
A-hor	EČ	horní	záznamový teploměr
A-spod	EČ	spodní	záznamový teploměr
B-hor	EČ	horní	záznamový teploměr
B-spod	EČ	spodní	záznamový teploměr
C-hor	EČ	horní	záznamový teploměr
C-spod	EČ	spodní	záznamový teploměr
D-hor	EČ	horní	záznamový teploměr
D-spod	EČ	spodní	záznamový teploměr
E-hor	EČ	horní	záznamový teploměr
E-spod	EČ	spodní	záznamový teploměr
F-hor	EČ	horní	záznamový teploměr
F-spod	EČ	spodní	záznamový teploměr
G-hor	EČ	horní	záznamový teploměr
G-spod	EČ	spodní	záznamový teploměr
J-hor	EČ	horní	záznamový teploměr
J-spod	EČ	spodní	záznamový teploměr
K-hor	BS	horní	záznamový teploměr
K-spod	BS	spodní	záznamový teploměr
L-hor	BS	horní	záznamový teploměr
L-spod	BS	spodní	záznamový teploměr
M-hor	BS	horní	záznamový teploměr
M-spod	BS	spodní	záznamový teploměr
N-hor	BS	horní	záznamový teploměr
N-spod	BS	spodní	záznamový teploměr
VV1	volná voda	-	-
VV2	volná voda	-	-
VV3	volná voda	-	-

## 4.2 Sběr vzorků

### 4.2.1 Sběr vzorků 2021

Při průtoku  $< 4 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  na Teplé Vltavě byl stanoven termín, kdy probíhal sběr vzorků hyporeálové vody. V roce 2021 sběr vzorků probíhal 23.–24. 7. 2021. Pro sběr vzorků byl nastaven diurnální formát, tedy sběr dat v průběhu 24 hodin. V prvním roce byl nastaven odběr po 2 hodinách (viz Tabulka 3), který byl doplněn o dvě měření nasycení kyslíkem ve 4:00 a v 18:00. Tento formát měření obsahu kyslíku byl časově velmi náročný a z toho důvodu jsme nestihli následující odběr vzorků v 5:00, neboť měření všech vzorků kyslíku se protáhlo na hodinu a půl. Pro druhé měření v 18:00 jsme s odběrem začali dříve a díky tomu proběhl odběr vzorků v 19:00 včas. Před začátkem 8. měření v 11:00 byly z vody odebrány bioindikační destičky, tudíž jsme pro tyto body odebrali pouze šest vzorků vody z hyporeálu během noci z 23. na 24. 7. 2021. Zároveň se po celou dobu probíhajícího experimentu nepodařilo odebrat vzorky z bodů SoG3z a SoG8z, protože došlo k uvolnění hadiček. Ve dvou případech (bod DeC8z během 1. měření ve 21:00 a bod SoC3b během posledního měření v 19:00) nebylo možné odebrat vzorky z důvodu ucpání hadiček.

Tabulka 3: Tabulka znázorňující časové rozložení odběru vzorků vody v experimentálním čtverci ve dnech 23.–24. 7. 2021. V pořadí 5. sběr vzorků vody neproběhl z časových důvodů.

<b>pořadí odběru vzorků vody</b>	<b>hodina odběru vzorků vody</b>	<b>pořadí odběru vzorků vody</b>	<b>hodina odběru vzorků vody</b>
1. odběr	<b>21:00</b>	7. odběr	<b>9:00</b>
2. odběr	<b>23:00</b>	8. odběr	<b>11:00</b>
3. odběr	<b>1:00</b>	9. odběr	<b>13:00</b>
4. odběr	<b>3:00</b>	10. odběr	<b>15:00</b>
5. odběr	<b>5:00</b>	11. odběr	<b>17:00</b>
6. odběr	<b>7:00</b>	12. odběr	<b>19:00</b>

### 4.2.2 Sběr vzorků 2022

V roce 2022 se sběr dat konal 3.–4. 8. 2022. Na rozdíl od roku 2021 došlo k několika úpravám vzorkování. V roce 2022 nebylo měřeno nasycení kyslíkem a hodiny sběru vzorků

byly upraveny podle významných bodů koncentrací amonných iontů z roku 2021. Sběr dat probíhal v dopoledních hodinách v rozmezí 60 minut, odpoledne se interval mezi odběry zvýšil na 3 hodiny a přes noc byl sběr vzorků uskutečněn po 4 hodinách (viz Tabulka 4). Během celého procesu odebrání vzorků se nepodařilo odebrat vzorek z bodů A-spodní a F-spodní, jelikož došlo k ucpání hadiček (u bodu F-spodní odebrány tři sporné vzorky, které v následné analýze nebyly zohledněny). Ze stejného důvodu nebylo možné odebrat vzorek z bodů G-horní (v 1:00) a H-horní (v 17:00). Další postup odběrů a uchování vzorků probíhal stejně, jako v roce 2021.

Tabulka 4: Tabulka znázorňující časové rozložení odběru vzorků vody v experimentálním čtverci ve dnech 3.–4. 8. 2022.

pořadí odběru vzorků vody	hodina odběru vzorků vody	pořadí odběru vzorků vody	hodina odběru vzorků vody
1. odběr	<b>20:00</b>	6. odběr	<b>11:00</b>
2. odběr	<b>1:00</b>	7. odběr	<b>12:00</b>
3. odběr	<b>6:00</b>	8. odběr	<b>13:00</b>
4. odběr	<b>9:00</b>	9. odběr	<b>17:00</b>
5. odběr	<b>10:00</b>		

V červenci roku 2022 proběhl také jednorázový odběr vzorků v poledne dne 18. 7. Tento sběr byl proveden u všech dříve vytyčených bodů (v experimentálním čtverci a v bahnitém substrátu; chybí vzorek volné vody) v době předpokládaných vrcholů koncentrace amonných iontů (na základě výsledků z roku 2021) a tedy získat co nejvíce dat a tyto vrcholy koncentrací lépe kvantifikovat.

### 4.3 Stanovení amonných iontů ( $\text{NH}_4^+$ )

Ke stanovení amonných iontů ve vzorcích byla použita metoda podle ČSN EN ISO 7150-1 (757451) – stanovení  $\text{N-NH}_4$  indofenolovou metodou (ČSN, ISO 7150-1, 1994). Pro tuto metodu je zapotřebí dvou roztoků (vybarvovací činidlo, alkalický roztok) a spektrofotometr s kyvetou 1 cm.

Pro přípravu vybarvovacího činidla potřebujeme 500 ml odměrnou baňku, do které přidáme 65 g salicylanu sodného  $\text{C}_7\text{H}_5\text{O}_3\text{Na}$  a 65 g dihydrátu citronanu trisodného

$C_6H_5O_7Na_3 \cdot 2H_2O$ . Tuto směs rozpustíme a poté přidáme 0,475 g nitroprusidu sodného  $[Fe(CN)_5NO]Na_2 \cdot 2H_2O$ . Po úplném rozpuštění doplníme objem na 500 ml.

Při přípravě alkalického roztoku použijeme 250 ml deionizované vody, ve které rozpustíme 16 g hydroxidu sodného NaOH a po vychladnutí na pokojovou teplotu přidáme 1 g dihydrátu-dichlorisokyanuranatanu  $C_3N_3O_3Cl_2Na \cdot 2H_2O$ . Po rozpuštění roztok převedeme do 500 ml odměrné baňky a doplníme objem na 500 ml.

Pro stanovovací metodu je potřeba 4 ml vzorku. Jelikož máme k dispozici pouze 5 ml vzorku pro každý bod a čas odběru, při přípravě na analýzu 2 ml vzorku naředím 2 ml destilované vody. To může mírně ovlivnit přesnost měření, nicméně nám tento postup zajistí možné opakování analýzy při jakémkoli pochybení během práce v laboratoři. Níže jsou uvedené potřebné objemy všech složek roztoku. Do zkumavky přidáme:

4 ml vzorku (2 ml původního vzorku + 2 ml destilované vody)

400  $\mu$ l vybarvovacího činidla

400  $\mu$ l alkalického roztoku

200  $\mu$ l destilované vody

Celkový objem namíchaného vzorku je 5 ml. V případě přípravy kontrolního vzorku se využijí 4 ml destilované vody, stejné objemy (400  $\mu$ l) vybarvovacího i alkalického roztoku a zkumavka se opět doplní 200  $\mu$ l destilované vody do celkového objemu 5 ml. Po přípravě roztoku zkumavky zamícháme a necháme alespoň 60 minut odležet ve tmě. Po uplynutí této doby již můžeme měřit pomocí spektrofotometru při vlnové délce 655  $\mu$ l v 1 cm kyvetě. Dle kalibrace spektrofotometru absorbance odpovídá vzorci:

$$Abs = 1,00324 * c + 0,00422$$

Zjištěné absorbance přepočítáme pomocí vzorce pro výpočet koncentrace amonných iontů:



$$c_{(NH_4^+)} = \frac{Abs - 0,00422}{1,00324} [mg/l]$$

Jelikož jsme počáteční 2 ml vzorku naředili 2 ml destilované vody, je nutné výslednou koncentraci  $NH_4^+$  vynásobit dvěma. Finální vzorec pro výpočet koncentrace amonných iontů ( $NH_4^+$ ) je následující:

$$c_{(NH_4^+)} = \frac{Abs - 0,00422}{1,00324} * 2 [mg/l]$$

Mez detekce metody stanovování amonných iontů jsou 2 mg/l.

#### 4.4 Zpracování dat

Ke zpracování dat byl použit program Microsoft Excel, ve kterém jsem vytvořila všechny potřebné grafy, spočítala průměrné hodnoty, mediány a Pearsonovy korelační koeficienty. K výpočtu Pearsonova korelačního koeficientu jsem použila funkci „CORREL“. Tato funkce slouží ke zjištění vztahu mezi dvěma maticemi hodnot. V mém případě matice 1=naměřené hodnoty koncentrace  $NH_4^+$  v bodě vzorkování, matice 2=naměřené hodnoty koncentrace  $NH_4^+$  ve volné vodě.

Rovnice korelačního koeficientu:

$$Correl(X, Y) = \frac{\sum (x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x - \bar{x})^2 \sum (y - \bar{y})^2}}$$

$\bar{x}$  a  $\bar{y}$  jsou střední hodnoty výběru matice 1 a matice 2. Kladná korelace znamená, že se zvyšující se hodnotou matice 1 se zvyšuje hodnota matice 2. Pokud je hodnota korelačního koeficientu záporná, znamená to, že s rostoucí hodnotou matice 1 se hodnota matice 2 snižuje. Pokud se korelační koeficient pohybuje okolo nuly, hodnoty koncentrace  $NH_4^+$  v bodech vzorkování a ve volné vodě nevykazují žádnou nebo velmi nízkou korelaci.

## 5. Výsledky

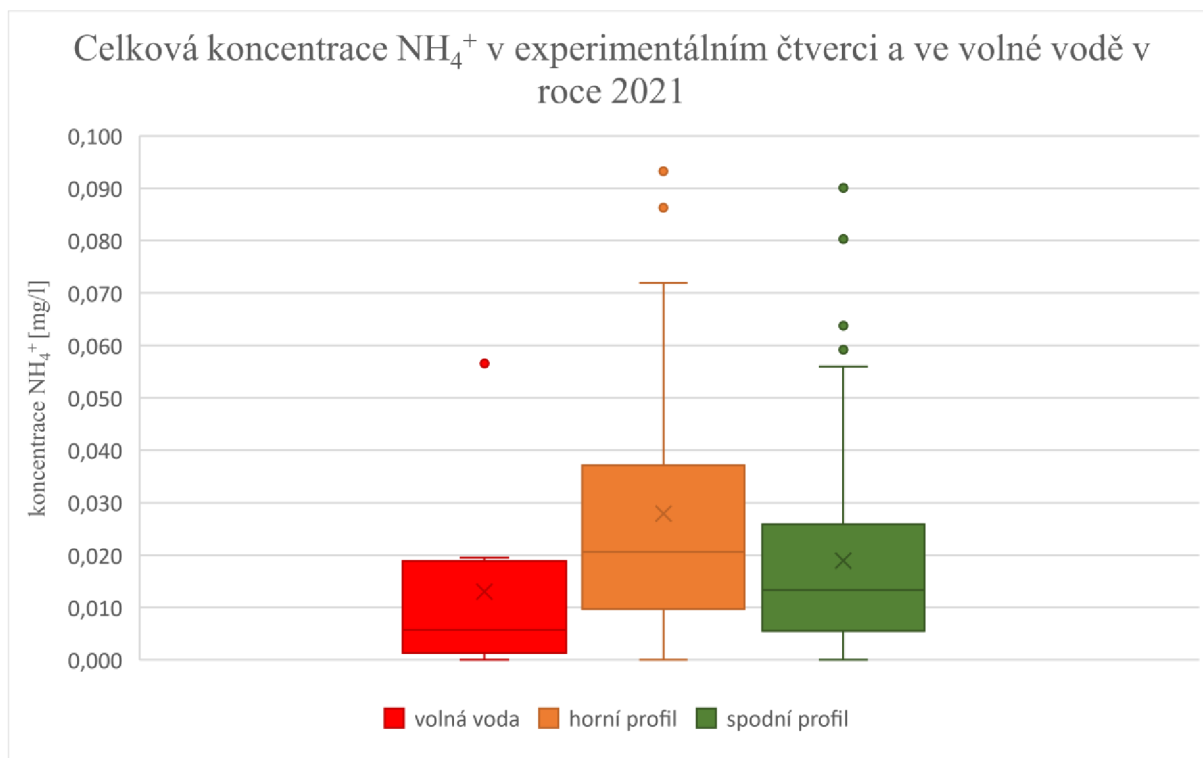
### 5.1 Vyhodnocení koncentrace amonných iontů v roce 2021

5.1.1 Rozdíly v koncentraci amonných iontů mezi horním a spodním profilem (3 a 13 cm pod povrchem) experimentálního čtverce v roce 2021

Pro porovnání rozdílů v koncentraci  $\text{NH}_4^+$  ve volné vodě a v bodech nacházejících se v experimentálním čtverci byl vytvořen následující graf (Obrázek 8). V grafu sledujeme hodnoty koncentrací  $\text{NH}_4^+$  ve volné vodě, v horním profilu (3 cm v sedimentu) a ve spodním profilu (13 cm v sedimentu) experimentálního čtverce. Množství koncentrace  $\text{NH}_4^+$  ve volné vodě je na velmi nízké úrovni.

Maximální naměřená hodnota koncentrace  $\text{NH}_4^+$  ve volné vodě byla v roce 2021 0,057 mg/l. (viz. Příloha 1). Tato zvýšená koncentrace  $\text{NH}_4^+$  byla naměřena při 7. měření (v 9:00), kdy i některé body v experimentálním čtverci vykazovaly zvýšené koncentrace amonných iontů (např. DeG3, DeG8; viz Příloha 9, resp. 10).

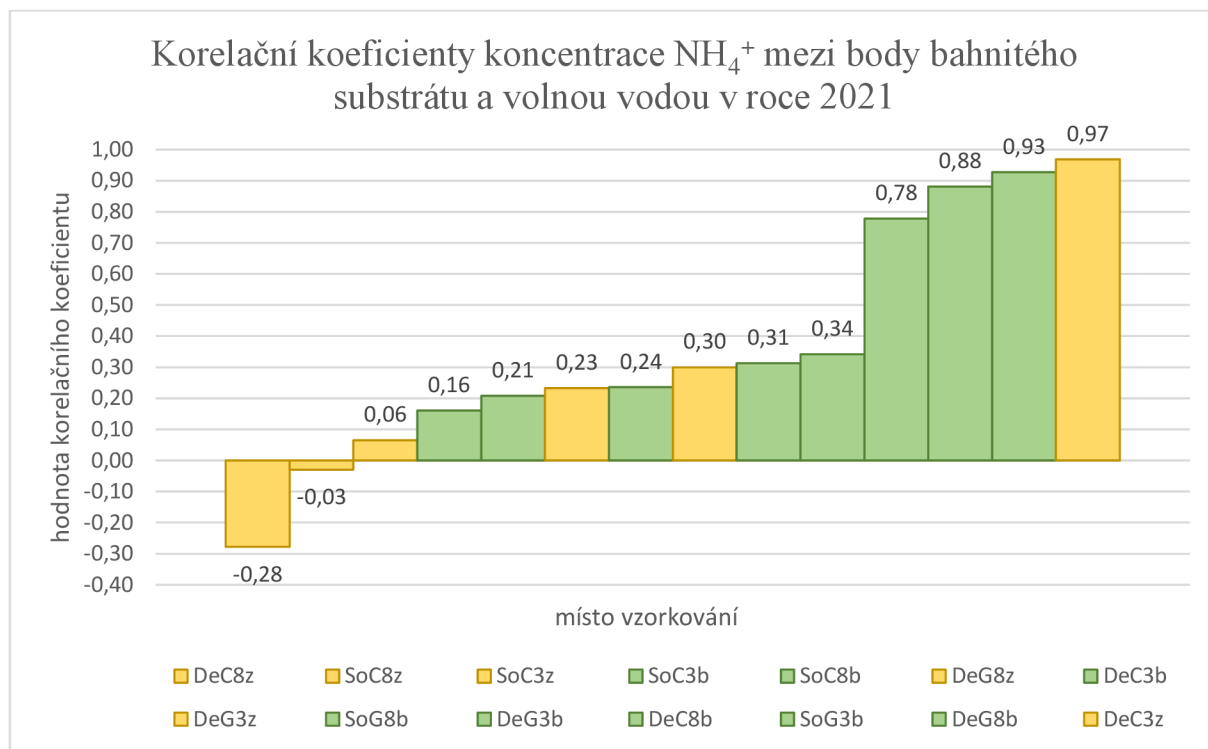
Zajímavostí v roce 2021 je fakt, že hodnoty koncentrace  $\text{NH}_4^+$  horního profilu v experimentálním čtverci vykazovaly vyšší maximální hodnoty než spodní profil.



Obr. 8: Graf celkové koncentrace  $\text{NH}_4^+$  v experimentálním čtverci a ve volné vodě v roce 2021. Volná voda ( $n = 11$ ), horní profil ( $n = 45$ ), spodní profil ( $n = 67$ ). V grafu jsou zobrazeny odlehlé hodnoty, medián a průměr.

### 5.1.2 Vztah mezi koncentrací amonných iontů ve volné vodě a v hyporeálu experimentálního čtverce v roce 2021

Pro zjištění vzájemného vztahu mezi koncentrací  $\text{NH}_4^+$  v bodech vzorkování a koncentrací  $\text{NH}_4^+$  ve volné vodě byl stanoven Pearsonův korelační koeficient (obr. 9). V naprosté většině sledovaných bodů v experimentálním čtverci byla prokázána pozitivní korelace mezi koncentrací  $\text{NH}_4^+$  ve volné vodě a v bodech vzorkování. Míra korelace se ale v jednotlivých bodech často liší. Nejvýznamnější pozitivní korelace byla objevena v bodech DeC3z, DeG8b a SoG3b ( $> 0,8$ ). Naopak velmi nízkou korelaci lze nalézt u bodů SoC3b, SoC3z nebo SoC8z. Negativní korelaci vykazoval pouze jeden bod (DeC8z), tato korelace není ale příliš významná ( $- 0,28$ ).



Obr. 9: Graf Pearsonova korelačního koeficientu mezi volnou vodou a body vzorkování v experimentálním čtverci v roce 2021. Žlutou barvou jsou zobrazeny body horního profilu experimentálního čtverce, zelenou barvou jsou označeny body spodního profilu experimentálního čtverce.

V tabulce 5 je zobrazeno prostorové rozložení hodnot Pearsonova korelačního koeficientu v horním profilu experimentálního čtverce. Z tabulky 5 je možné vypočítat, že nízké, případně žádné korelace mezi koncentracemi  $\text{NH}_4^+$  v bodech vzorkování a volnou vodou, se nacházejí zejména v pravé polovině experimentálního čtverce. Tabulka 6 slouží rovněž k zobrazení hodnot Pearsonova korelačního koeficientu, ale ve spodním profilu experimentálního čtverce. V hloubce 13 cm pod povrchem se nacházejí převážně pozitivní korelace mezi koncentracemi  $\text{NH}_4^+$  mezi body vzorkování a volnou vodou. Možné vlivy na toto rozložení korelace jsou rozebrány v diskusi.

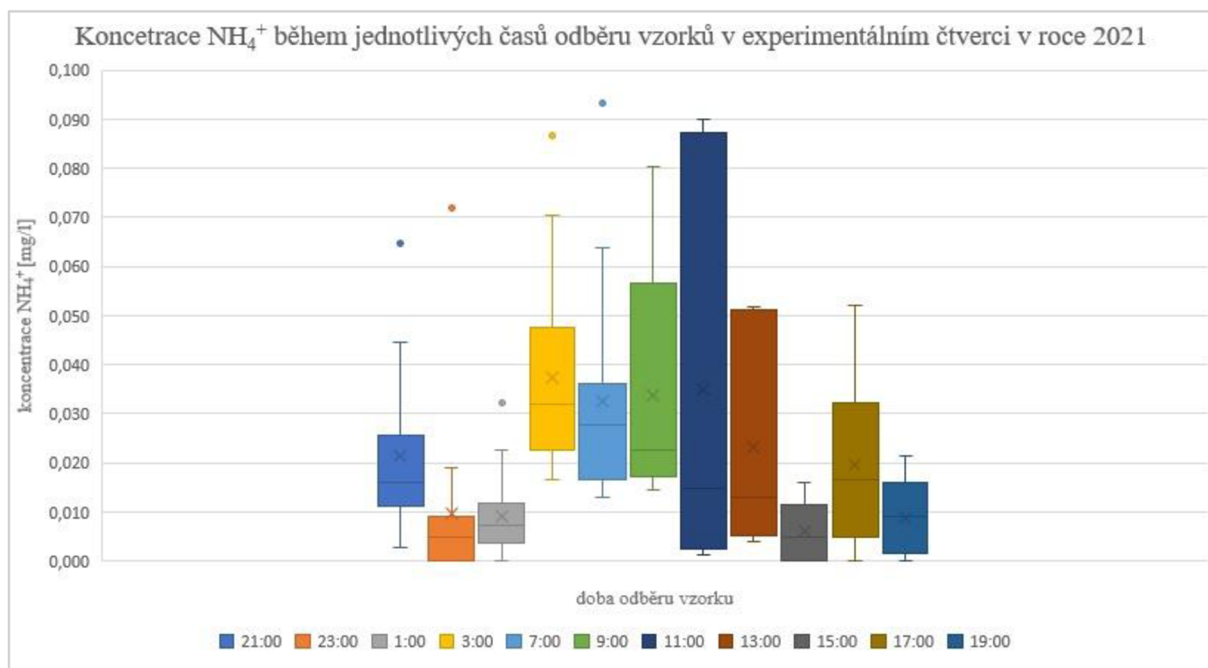
Tabulka 5 a Tabulka 6: Tabulka 5 (vlevo) zachycuje prostorové rozložení průběhu Pearsonova koeficientu v horním profilu bodů experimentálního čtverce v roce 2021. Tabulka 6 (vpravo) zobrazuje prostorové rozložení Pearsonova koeficientu ve spodním profilu experimentálního čtverce v roce 2021. Zelená políčka reprezentují nejvyšší pozitivní korelaci mezi bodem odběru a volnou vodou. Se snižující se korelací se barevná škála mění přes žlutou, oranžovou až po červenou. Červená barva reprezentuje negativní korelaci mezi bodem odběru a volnou vodou.

Horní profil	3	3	8	8
DeC	0,97	-	-	-0,28
SoC	-	0,06	-0,03	-
SoG	-	-	-	-
DeG	0,30	-	-	0,23

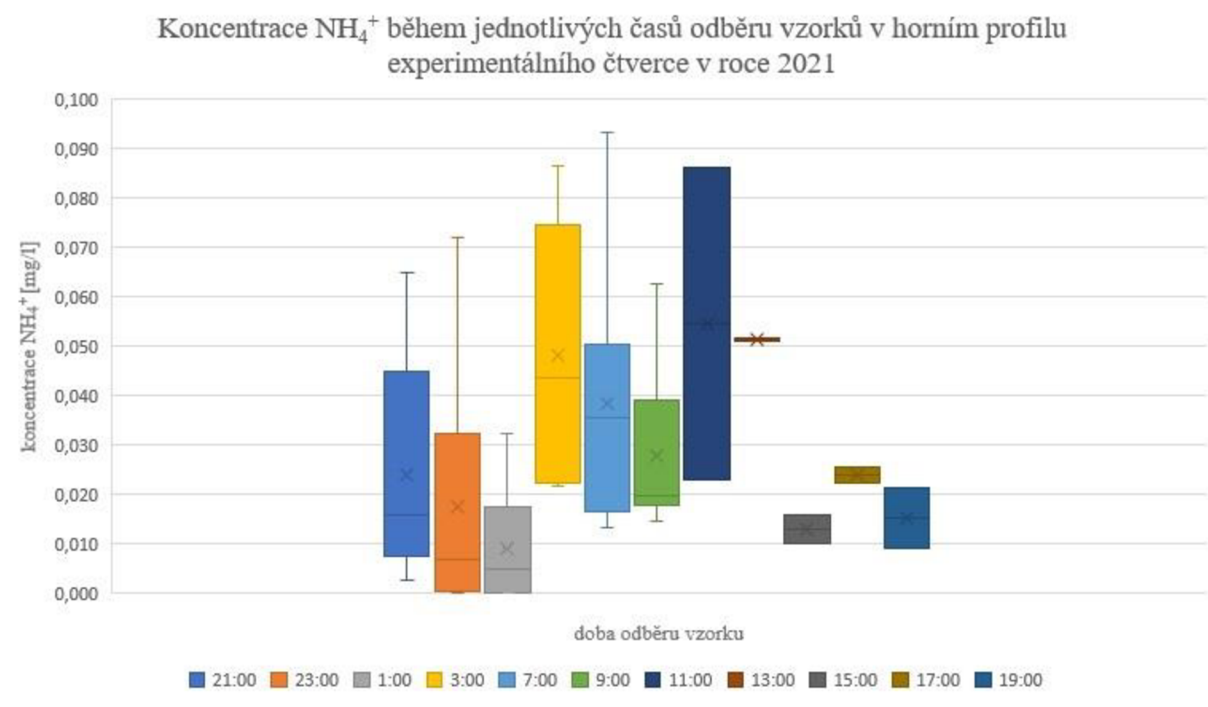
Spodní profil	3	3	8	8
DeC	0,24	-	-	0,78
SoC	-	0,16	0,21	-
SoG	-	0,88	0,31	-
DeG	0,34	-	-	0,93

### 5.1.3 Časová distribuce koncentrací amonných iontů v experimentálním čtverci v roce 2021

Na obrázku 10 jsou znázorněny koncentrace  $\text{NH}_4^+$  v jednotlivých hodinách měření pro všechny body v experimentálním čtverci. Významnější nárůst koncentrace  $\text{NH}_4^+$  začíná v brzkých ranních hodinách (3:00) a tyto zvýšené hodnoty pokračují až do odpoledních hodin (15:00), kdy opět dochází ke snížení koncentrace  $\text{NH}_4^+$ . Žádná maximální hodnota nepřekročila koncentraci  $\text{NH}_4^+ > 0,1 \text{ mg/l}$ . Obrázky 11 a 12 zobrazují koncentrace  $\text{NH}_4^+$  v jednotlivých hodinách měření zvlášť pro horní a spodní profil. I na těchto grafech je možné pozorovat zvýšené hladiny koncentrace  $\text{NH}_4^+$  ve 3:00 a v 11:00. Zatímco v horním profilu dochází k poklesu koncentrace  $\text{NH}_4^+$  v 15:00 (obr 11), ve spodním profilu experimentálního čtverce (obr. 12) se koncentrace  $\text{NH}_4^+$  snižují již hodinu po poledni. V příloze 34 je znázorněn graf časové distribuce koncentrací  $\text{NH}_4^+$  u vybraných spodních profilů experimentálního čtverce.

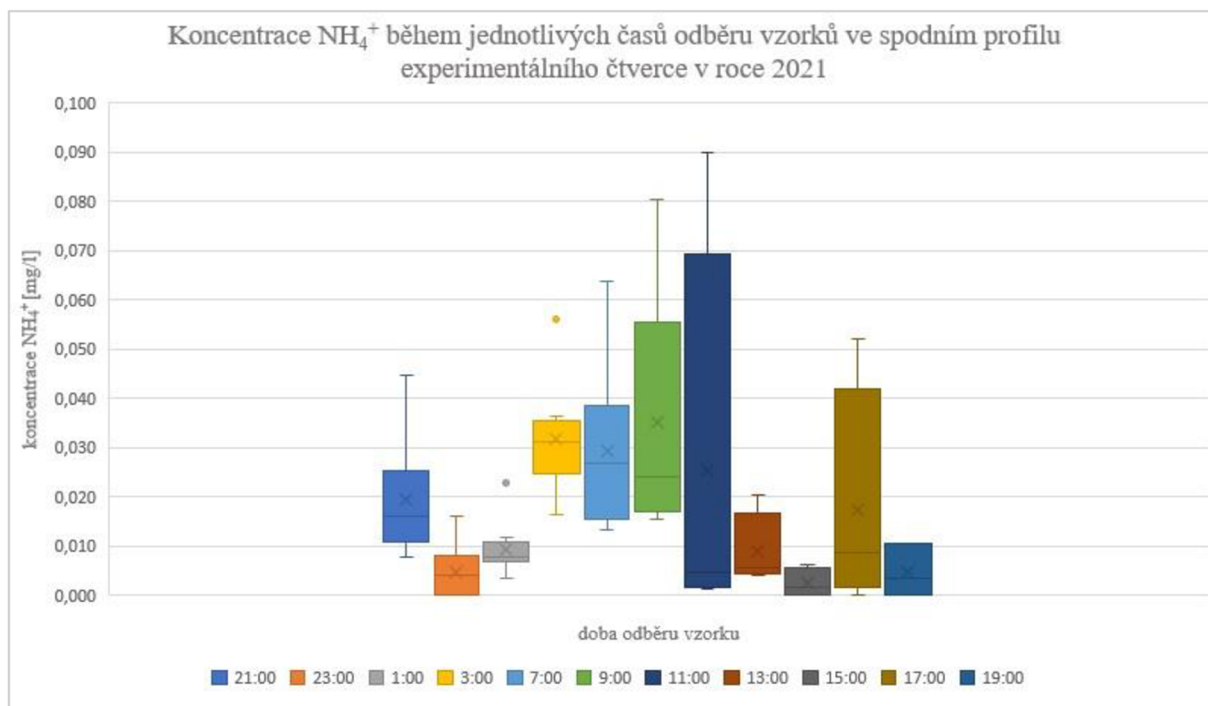


Obr. 10: Graf koncentrace  $\text{NH}_4^+$  během jednotlivých časů odběru vzorků v experimentálním čtverci v roce 2021. V grafu jsou zobrazeny odlehlé hodnoty, průměry a mediány. Počet hodnot  $n$  v jednotlivých časech: 21:00 ( $n = 13$ ); 23:00 ( $n = 14$ ); 1:00 ( $n = 14$ ); 3:00 ( $n = 14$ ); 7:00 ( $n = 14$ ); 9:00 ( $n = 14$ ); 11:00 ( $n = 6$ ); 13:00 ( $n = 6$ ); 15:00 ( $n = 6$ ); 17:00 ( $n = 6$ ); 19:00 ( $n = 5$ ).



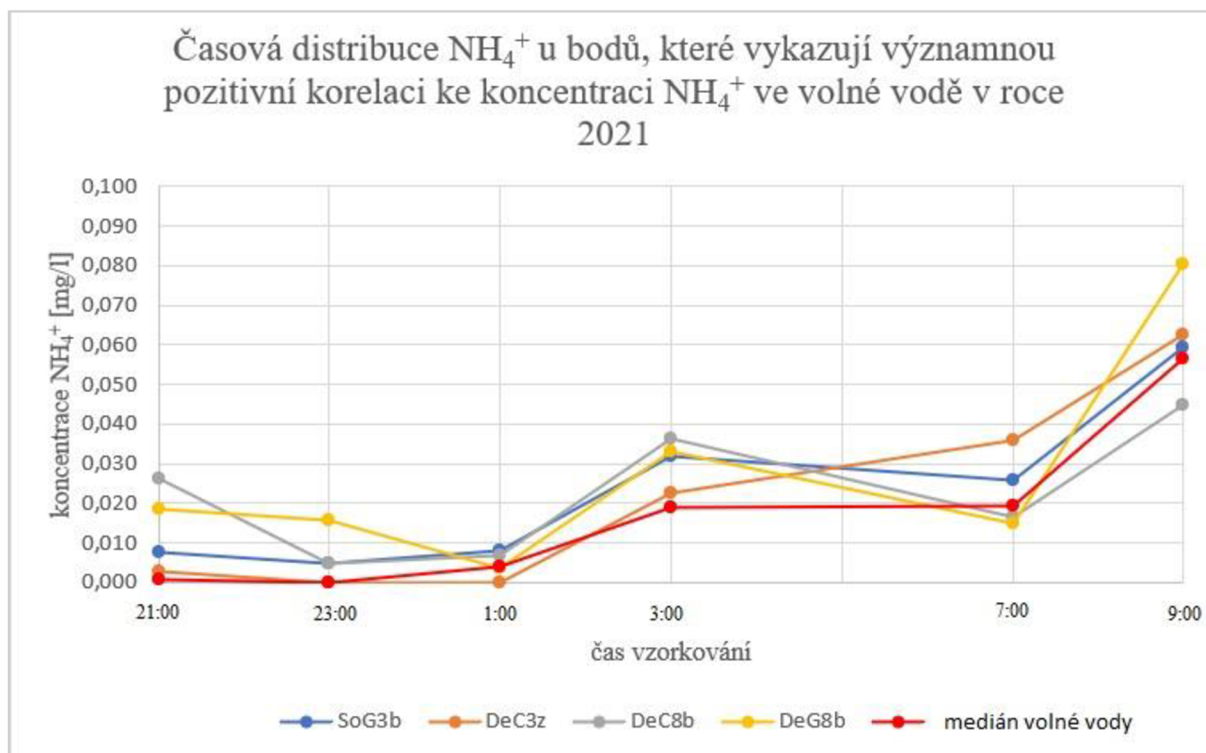
Obr. 11: Graf koncentrace  $\text{NH}_4^+$  během jednotlivých časů odběru vzorků v horním profilu experimentálního čtverce v roce 2021. V grafu jsou zobrazeny průměrné hodnoty a mediány. Počet

hodnot n v jednotlivých časech: 21:00 (n = 5); 23:00 (n = 6); 1:00 (n = 6); 3:00 (n = 6); 7:00 (n = 6); 9:00 (n = 6); 11:00 (n = 2); 13:00 (n = 2); 15:00 (n = 2); 17:00 (n = 2); 19:00 (n = 2).



Obr. 12: Graf koncentrace  $\text{NH}_4^+$  během jednotlivých časů odběru vzorků ve spodním profilu experimentálního čtverce v roce 2021. V grafu jsou zobrazeny průměrné hodnoty, odlehle hodnoty a mediány. Počet hodnot n v jednotlivých časech: 21:00 (n = 6); 23:00 (n = 6); 1:00 (n = 6); 3:00 (n = 6); 7:00 (n = 6); 9:00 (n = 6); 11:00 (n = 4); 13:00 (n = 4); 15:00 (n = 4); 17:00 (n = 4); 19:00 (n = 3).

Obrázek 13 zobrazuje koncentrace  $\text{NH}_4^+$  u bodů, které vykazují významnou pozitivní korelaci s koncentrací  $\text{NH}_4^+$  ve volné vodě mezi 21:00 a 9:00. U všech bodů sledujeme nejnižší koncentrace  $\text{NH}_4^+$  ve večerních hodinách s významnějším nárůstem mezi 1:00 a 3:00. Další skokový nárůst koncentrace  $\text{NH}_4^+$  se objevuje v 7:00.

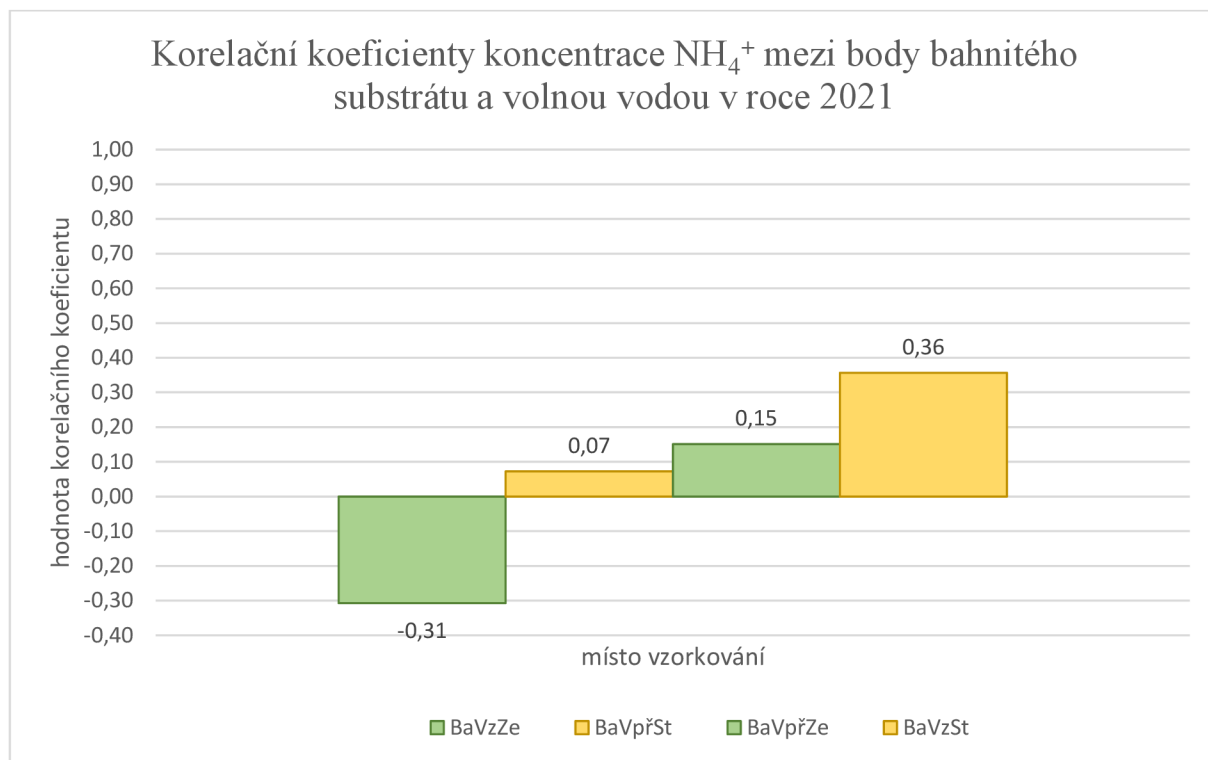


Obr. 13: Graf časové distribuce  $\text{NH}_4^+$  u bodů experimentálního čtverce, které vykazují významnou pozitivní korelaci ke koncentraci  $\text{NH}_4^+$  ve volné vodě v roce 2021. V grafu jsou zahrnuty 3 body ze spodního profilu experimentálního čtverce (SoG3b, DeC8b, DeG8b; 13 cm v sedimentu) a jeden bod z horního profilu (DeC3z; 3 cm v sedimentu)

#### 5.1.4 Časová distribuce koncentrací amonných iontů v bahnitěm substrátu v roce 2021

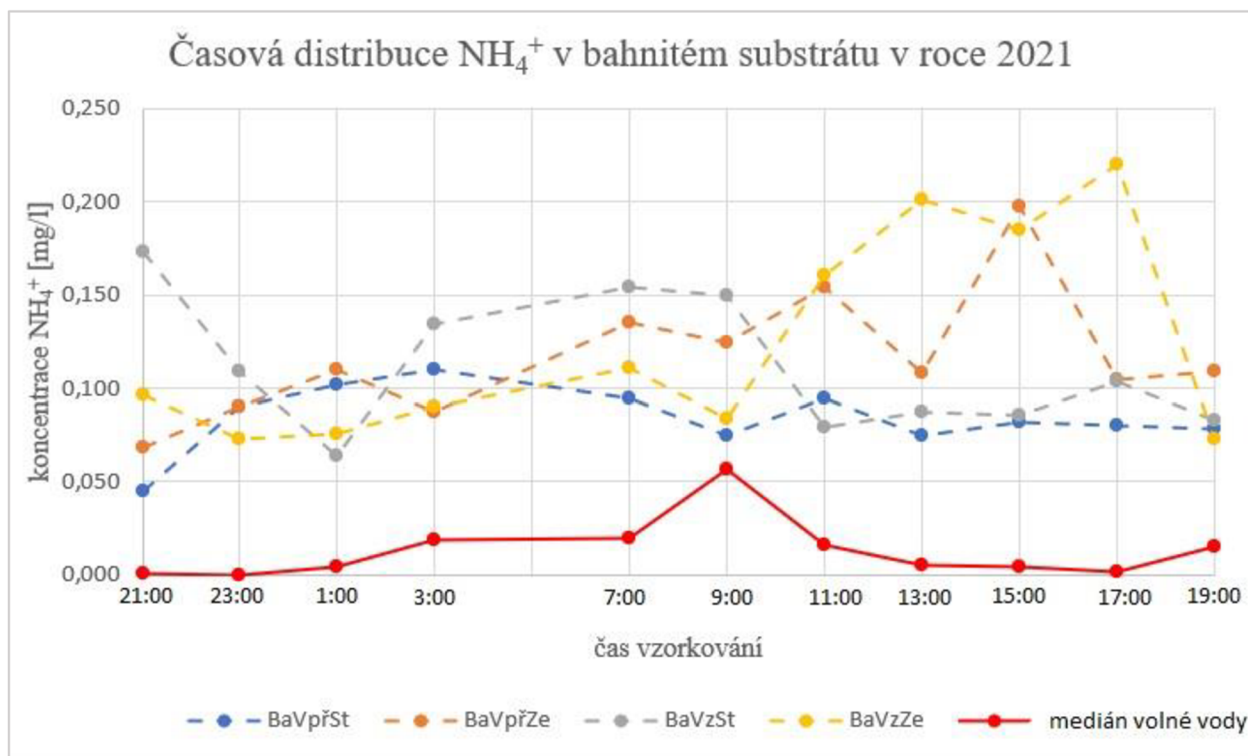
Pro zjištění vzájemných vztahů mezi koncentracemi  $\text{NH}_4^+$  v bahnitěm substrátu a ve volné vodě byl stanoven Pearsonův korelační koeficient (obr. 14). Ve třech případech byla zjištěna pozitivní korelace mezi koncentracemi  $\text{NH}_4^+$  ve volné vodě a v bahnitěm substrátu, nicméně tyto korelace nejsou hodnotitelné jako velmi významné ( $< 0,36$ ). V jednom případě byla zjištěna negativní korelace mezi koncentracemi  $\text{NH}_4^+$  ve volné vodě a v bahnitěm substrátu. Opět se nejednalo o žádný velmi významný vztah ( $-0,31$ ).





Obr. 14: Graf Pearsonova korelačního koeficientu koncentrace  $\text{NH}_4^+$  mezi body bahnitého substrátu a volnou vodou. Zelenou barvou jsou označeny body spodního profilu, žlutá barva představuje body horního profilu.

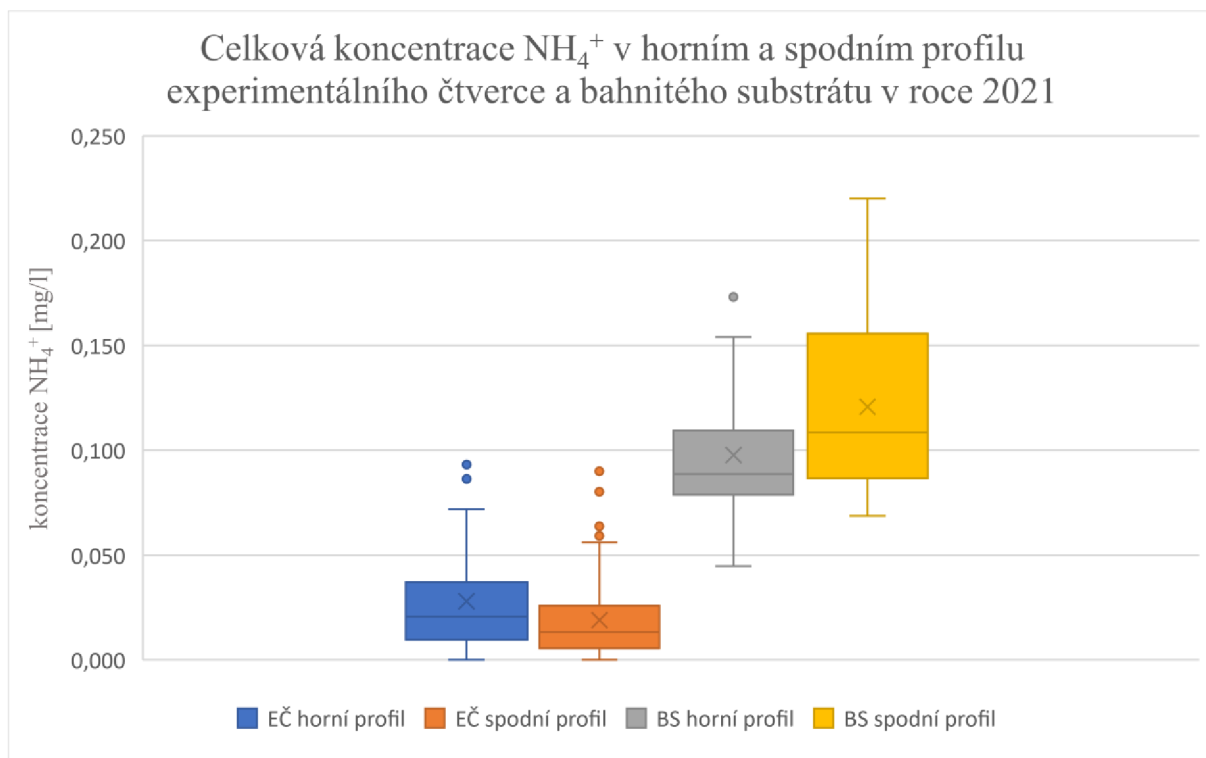
Ve všech případech byla v bahnitém substrátu naměřena vyšší koncentrace  $\text{NH}_4^+$  než ve volné vodě. Jak potvrdil graf Pearsonova korelačního koeficientu, u bahnitých substrátů nebyla pozorována významnější korelace s koncentrací  $\text{NH}_4^+$  ve volné vodě. To nám může potvrdit i graf na obrázku 15, kde lze během sedmého měření (9:00) sledovat mírný nárůst v koncentraci  $\text{NH}_4^+$  u volné vody. Naproti tomu všechny koncentrace  $\text{NH}_4^+$  bahnitých substrátů v tuto hodinu alespoň mírně poklesly.



Obr. 15: Graf časové distribuce  $\text{NH}_4^+$  v bahnitém substrátu v roce 2021. BaVpřSt, BaVzSt – horní profil, BaVpřZe, BaVzZe – spodní profil.

#### 5.1.5 Rozdíly v koncentraci amonných iontů v experimentálním čtverci a v bahnitém substrátu v roce 2021

V horním i spodním profilu experimentálního čtverce byly naměřeny nižší hodnoty koncentrace  $\text{NH}_4^+$  než v bahnitých substrátech, což vyobrazuje obrázek 16.

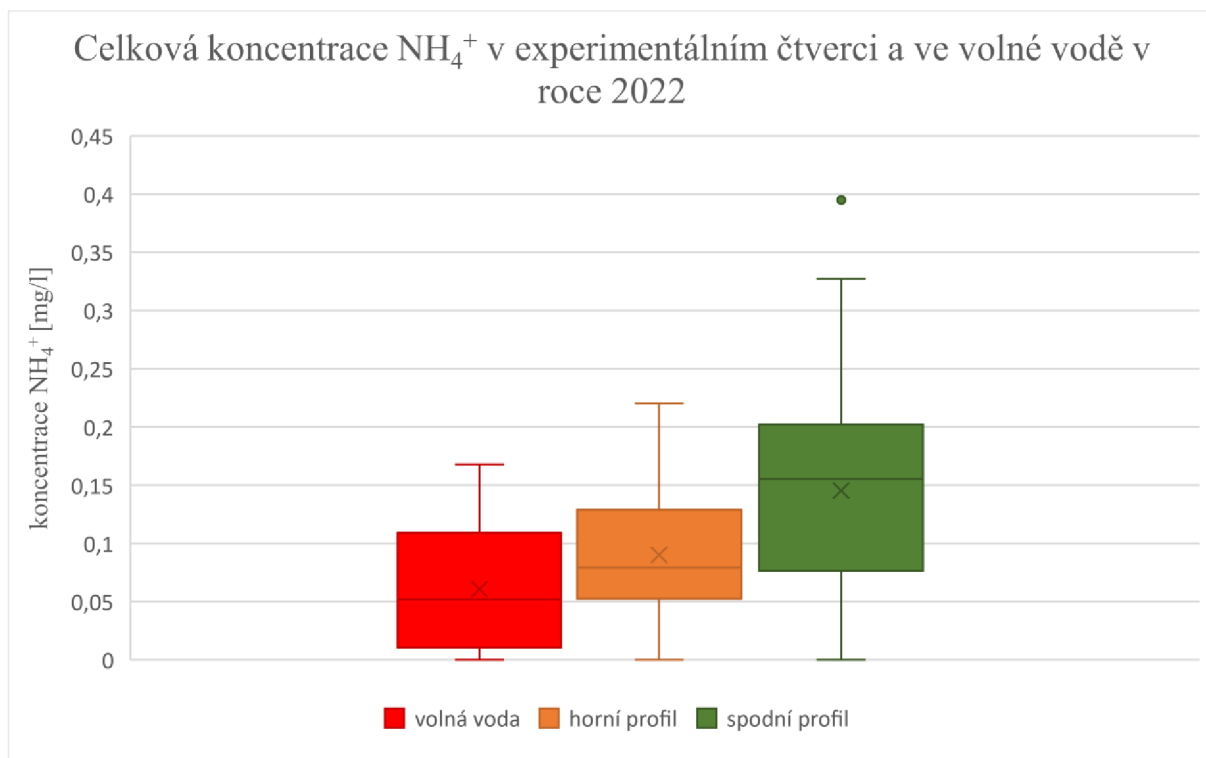


Obr. 16: Graf celkové koncentrace NH<sub>4</sub><sup>+</sup> v horním a spodním profilu experimentálního čtverce a bahnitého substrátu v roce 2021. V grafu jsou zobrazeny průměrné hodnoty a mediány. EČ = experimentální čtverec, BS = bahnitý substrát. EČ horní profil (n = 45); BS horní profil (n = 22); EČ spodní profil (n = 67); BS spodní profil (n = 22).

## 5.2 Vyhodnocení koncentrace amonných iontů v roce 2022

5.2.1 Rozdíly v koncentraci amonných iontů mezi horním a spodním profilem experimentálního čtverce v roce 2022

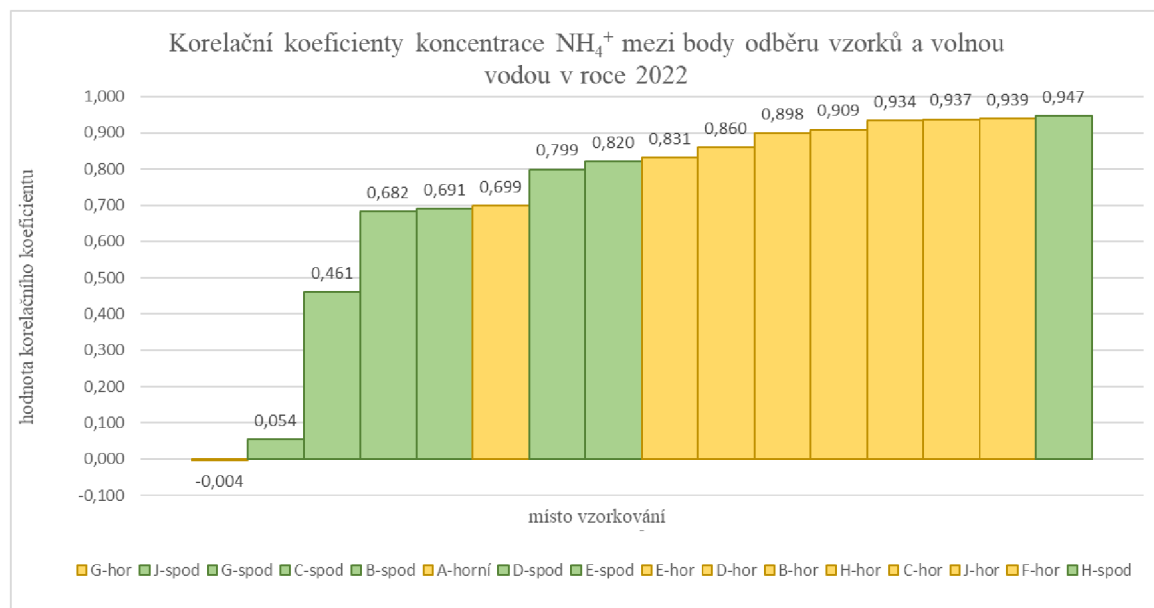
Na obrázku 17 je znázorněna celková koncentrace NH<sub>4</sub><sup>+</sup> ve volné vodě, v horním a ve spodním profilu experimentálního čtverce v roce 2022. Nejnižší koncentrace NH<sub>4</sub><sup>+</sup> obsahovala v době měření volná voda, podobně jako v roce 2021. Nicméně v roce 2022 byly hodnoty koncentrace NH<sub>4</sub><sup>+</sup> v horním profilu experimentálního čtverce podle předpokladu nižší než ve spodním profilu. Nejvyšší zaznamenaná hodnota koncentrace NH<sub>4</sub><sup>+</sup> byla zaznamenána u bodu J-spod (0,395 mg/l).



Obr. 17: Graf celkové koncentrace  $\text{NH}_4^+$  v bodech experimentálního čtverce a ve volné vodě v roce 2022. V grafu jsou zobrazeny průměry, odlehlé hodnoty a mediány.

### 5.2.2 Vztah mezi koncentrací amonných iontů ve volné vodě a v hyporeálu experimentálního čtverce v roce 2022

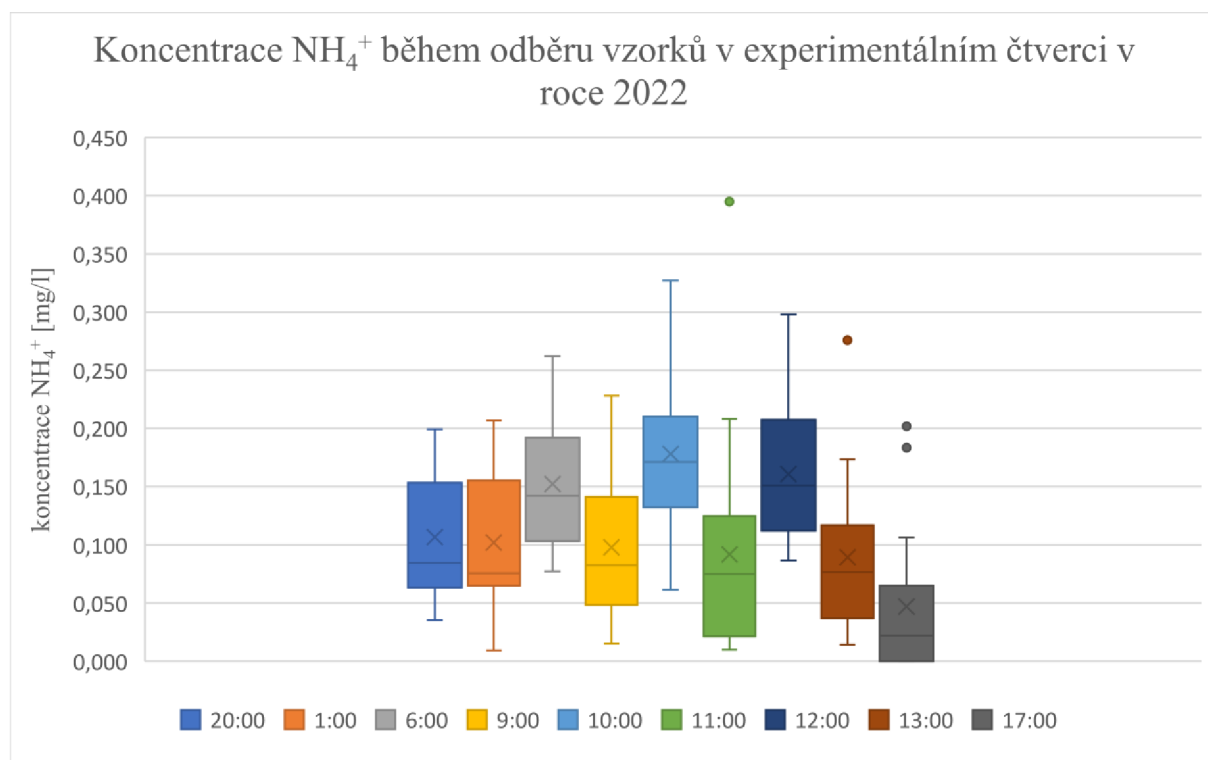
V roce 2022 byla u téměř všech bodů v experimentálním čtverci prokázána významná pozitivní korelace s koncentrací  $\text{NH}_4^+$  ve volné vodě (obr. 18). Velmi nízká korelace byla zaznamenána u bodů G-hor a J-spod (-0,004; 0,054).



Obr. 18: Graf Pearsonova korelačního koeficientu koncentrace  $\text{NH}_4^+$  mezi body odběru vzorků v experimentálním čtverci a volnou vodou v roce 2022. Žlutou barvou jsou zobrazeny body horního profilu experimentálního čtverce, zelenou barvou jsou označeny body spodního profilu experimentálního čtverce.

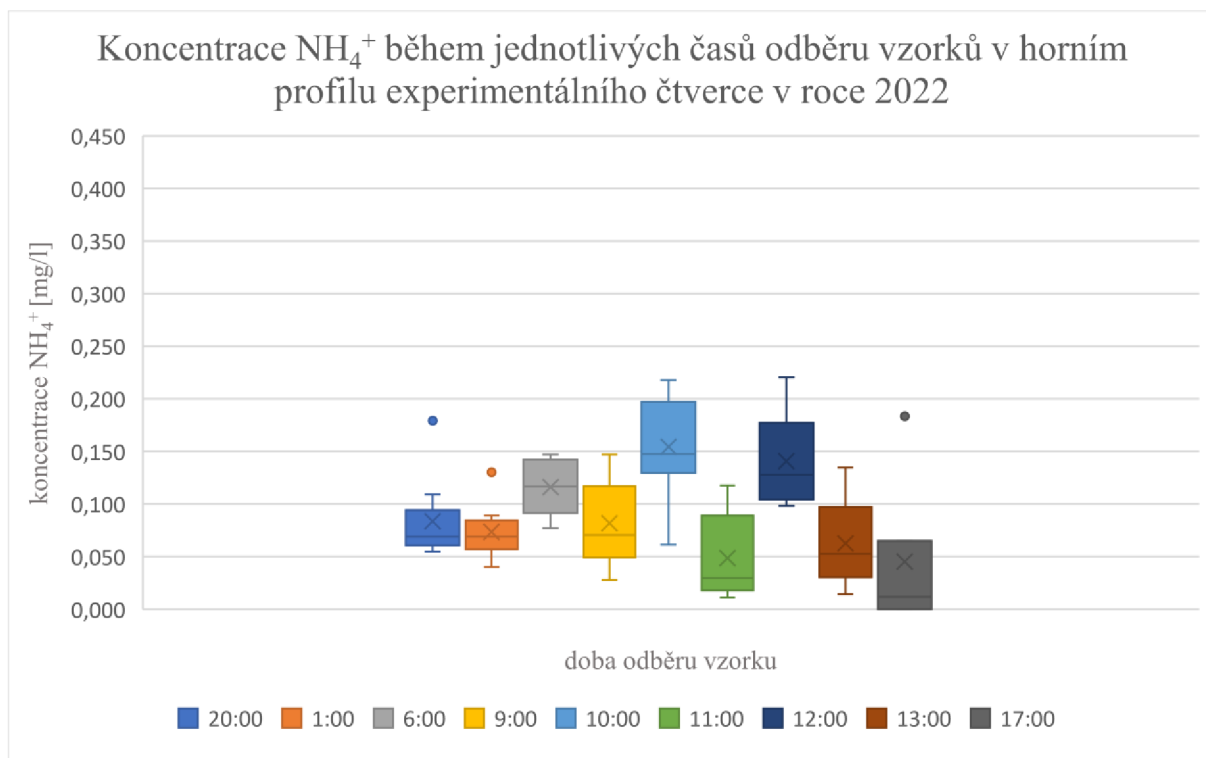
### 5.2.3 Časová distribuce koncentrací amonných iontů v experimentálním čtverci v roce 2022

Na obrázku 19 je vyobrazen graf koncentrace  $\text{NH}_4^+$  během jednotlivých časů měření. V roce 2022 lze pozorovat menší výkyvy v koncentracích  $\text{NH}_4^+$  v průběhu dne, nicméně vyskytují se zde tři části dne, kdy dochází k mírnému nárůstu. První byl naměřen v 6:00, druhý v 10:00 a poslední v poledne. Mezi 13:00 a 17:00 dochází k postupnému snižování koncentrace  $\text{NH}_4^+$  v odebraných vzorcích.



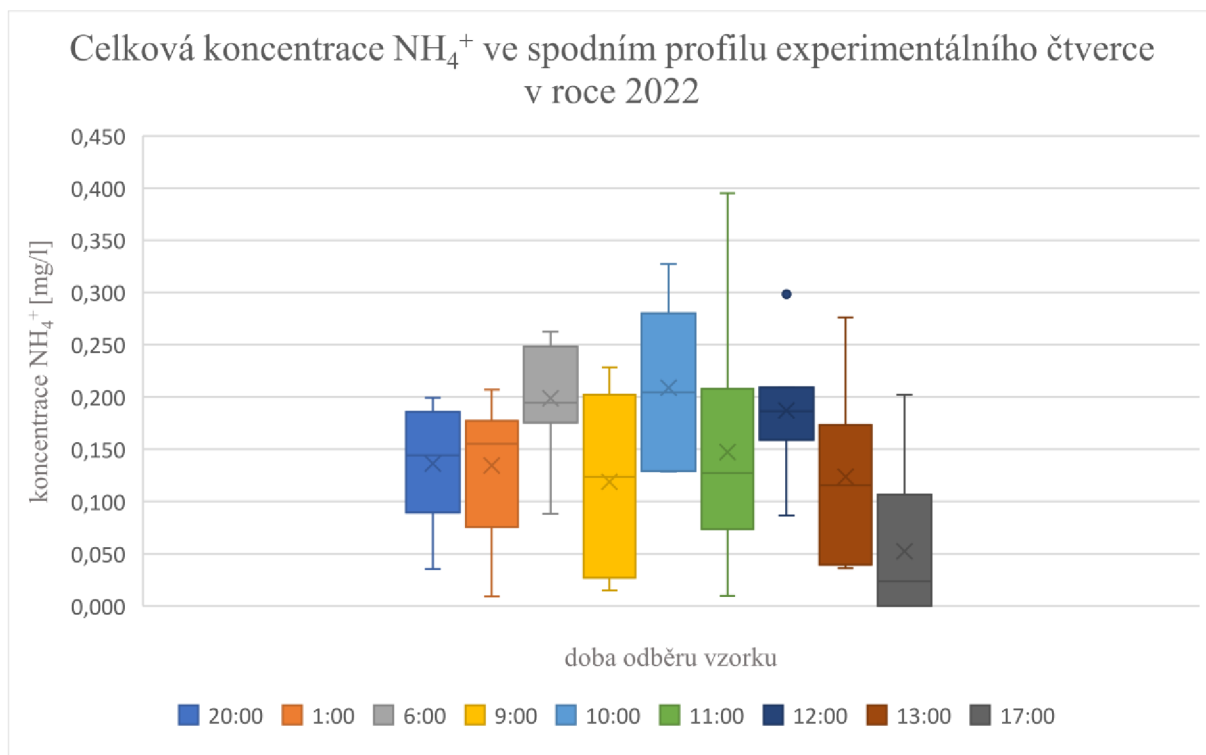
Obr. 19: Graf koncentrace  $\text{NH}_4^+$  během jednotlivých časů odběru vzorků v experimentálním čtverci v roce 2022. V grafu jsou zobrazeny průměrné hodnoty, odlehlé hodnoty a mediány. Počet hodnot  $n$  v jednotlivých časech: 20:00 ( $n = 16$ ); 1:00 ( $n = 15$ ); 6:00 ( $n = 16$ ); 9:00 ( $n = 16$ ); 10:00 ( $n = 16$ ); 11:00 ( $n = 16$ ); 12:00 ( $n = 16$ ); 13:00 ( $n = 16$ ); 17:00 ( $n = 15$ ).

Obrázek 20 sleduje koncentrace  $\text{NH}_4^+$  v horním profilu experimentálního čtverce v průběhu dne. Graf kopíruje stejné nárůsty v koncentraci  $\text{NH}_4^+$  v bodech vzorkování, jako graf obou profilů (obr. 19), tedy nárůsty koncentrací v 6:00, v 10:00 a ve 12:00.



Obr. 20: Graf koncentrace  $\text{NH}_4^+$  během jednotlivých časů odběru vzorků v horním profilu experimentálního čtverce v roce 2022. V grafu jsou zobrazeny odlehle hodnoty, průměrné hodnoty a mediány. Počet hodnot  $n$  v jednotlivých časech: 20:00 ( $n = 9$ ); 1:00 ( $n = 8$ ); 6:00 ( $n = 9$ ); 9:00 ( $n = 9$ ); 10:00 ( $n = 9$ ); 11:00 ( $n = 9$ ); 12:00 ( $n = 9$ ); 13:00 ( $n = 9$ ); 17:00 ( $n = 8$ ).

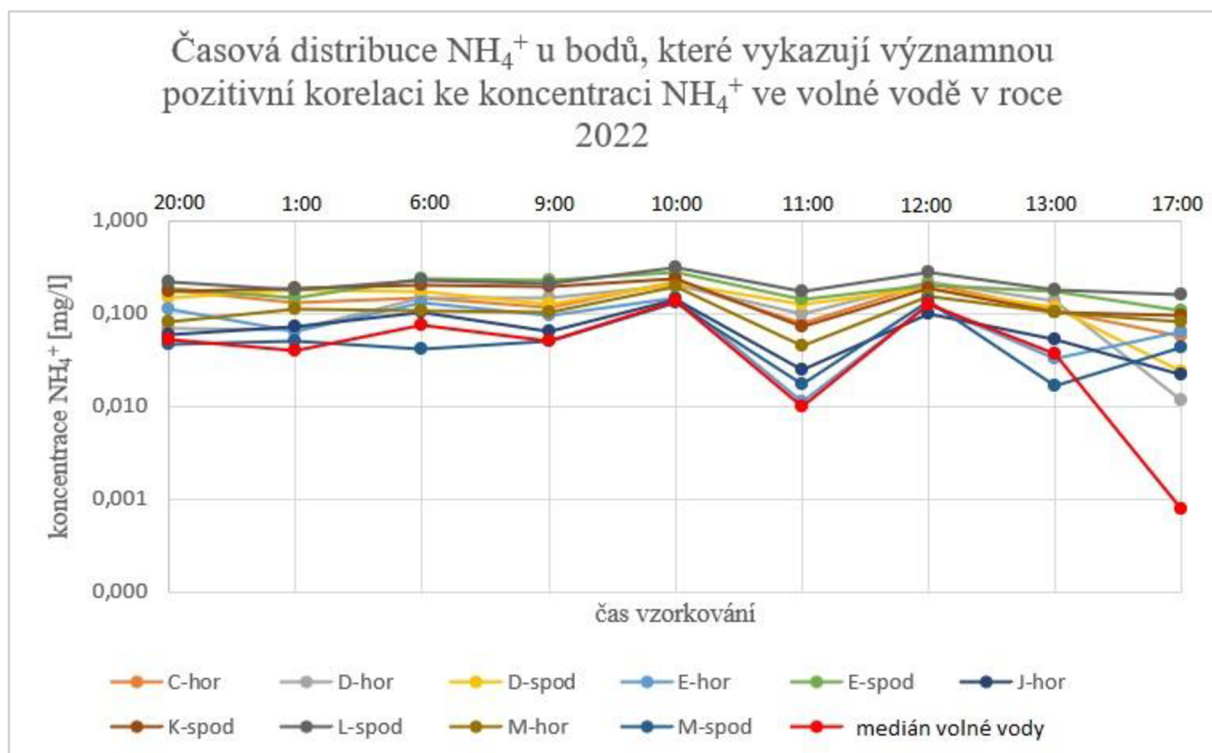
Obrázek 21 zobrazuje koncentrace  $\text{NH}_4^+$  ve spodním profilu experimentálního čtverce v roce 2022. Podobně jako u horního profilu (obr. 20), koncentrace  $\text{NH}_4^+$  narůstá v 6:00 a v 10:00, nicméně k nárůstu ve 12:00 u bodů spodního profilu nedochází (výjimkou je bod C-spodní). Po nejvyšší koncentraci  $\text{NH}_4^+$  v 10:00 sledujeme v 11:00 mírný pokles. Míra koncentrace  $\text{NH}_4^+$  zůstává v poledne podobná úrovni v 11:00. Od 13:00 opět koncentrace  $\text{NH}_4^+$  postupně klesá.



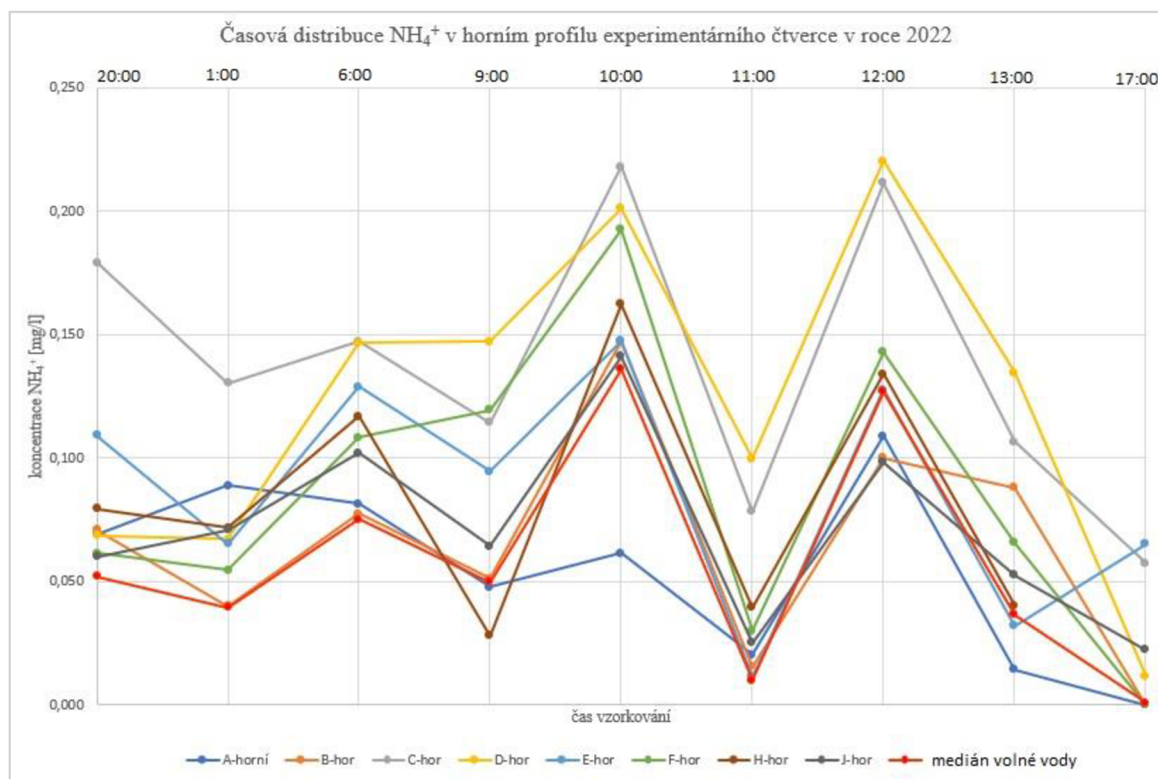
Obr. 21: Graf koncentrace  $\text{NH}_4^+$  během jednotlivých časů odběru vzorků ve spodním profilu experimentálního čtverce v roce 2022. V grafu jsou zobrazeny odlehle hodnoty, průměrné hodnoty a mediány. Počet hodnot  $n$  ve všech časech odběru:  $n = 7$ .

Obrázek 22 znázorňuje časovou distribuci koncentrací  $\text{NH}_4^+$  u bodů, které vykazují významnou pozitivní korelaci s koncentrací  $\text{NH}_4^+$  ve volné vodě. Obrázky 23 a 24 zobrazují časovou distribuci koncentrace  $\text{NH}_4^+$  v horním, resp. ve spodním profilu experimentálního čtverce. Významnější odchylku od ostatních bodů a volné vody nalezneme pouze u bodu J-spod, u kterého během šestého měření (v 11:00) nedochází ke snížení koncentrace  $\text{NH}_4^+$ , naopak se hodnota koncentrace významně zvýší.



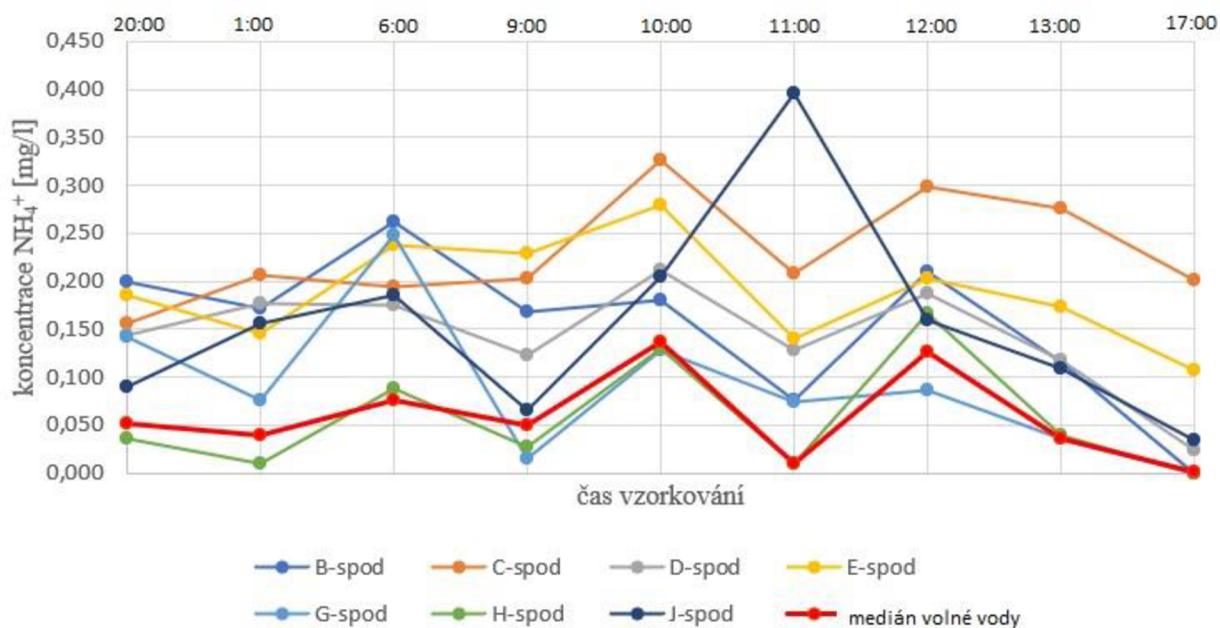


Obr. 22: Graf časové distribuce  $\text{NH}_4^+$  u bodů, které vykazují významnou pozitivní korelaci ke koncentraci  $\text{NH}_4^+$  ve volné vodě v experimentálním čtverci v roce 2022.



Obr. 23: Graf časové distribuce  $\text{NH}_4^+$  u bodů v horním profilu experimentálního čtverce v roce 2022.

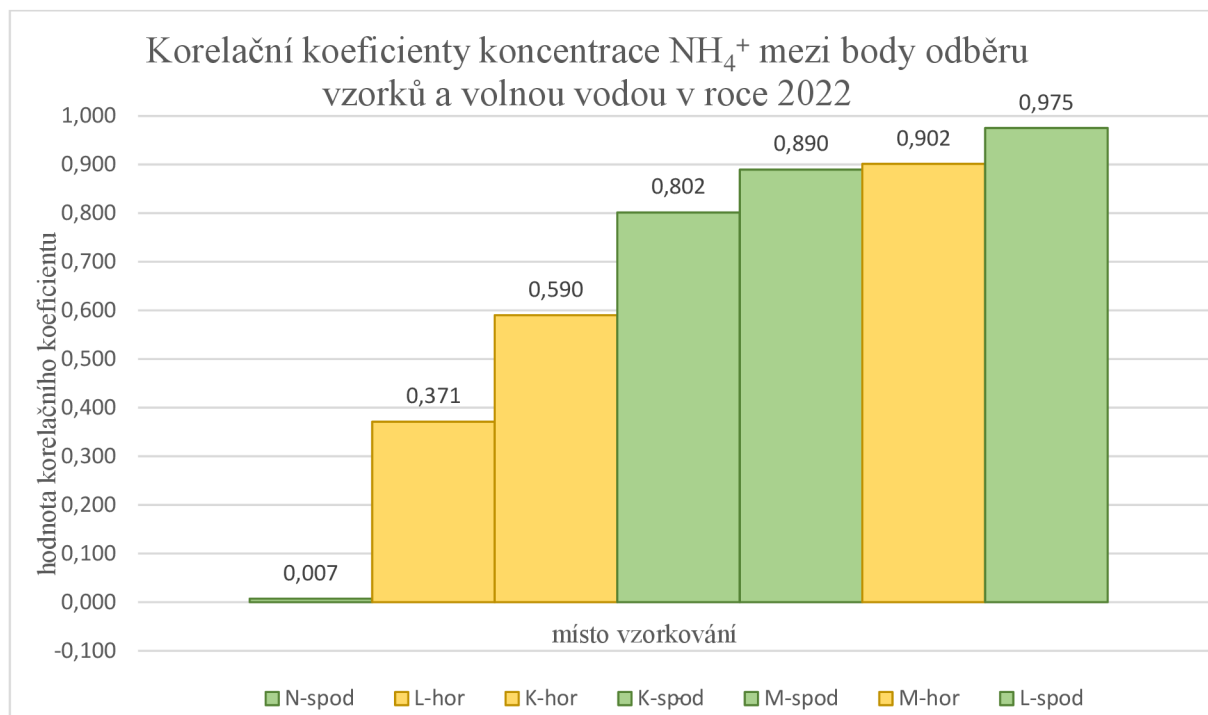
### Časová distribuce $\text{NH}_4^+$ ve spodním profilu experimentárního čtverce v roce 2022



Obr. 24: Graf časové distribuce  $\text{NH}_4^+$  u bodů ve spodním profilu experimentálního čtverce v roce 2022.

#### 5.2.4 Časová distribuce koncentrací $\text{NH}_4^+$ v bahnitém substrátu v roce 2022

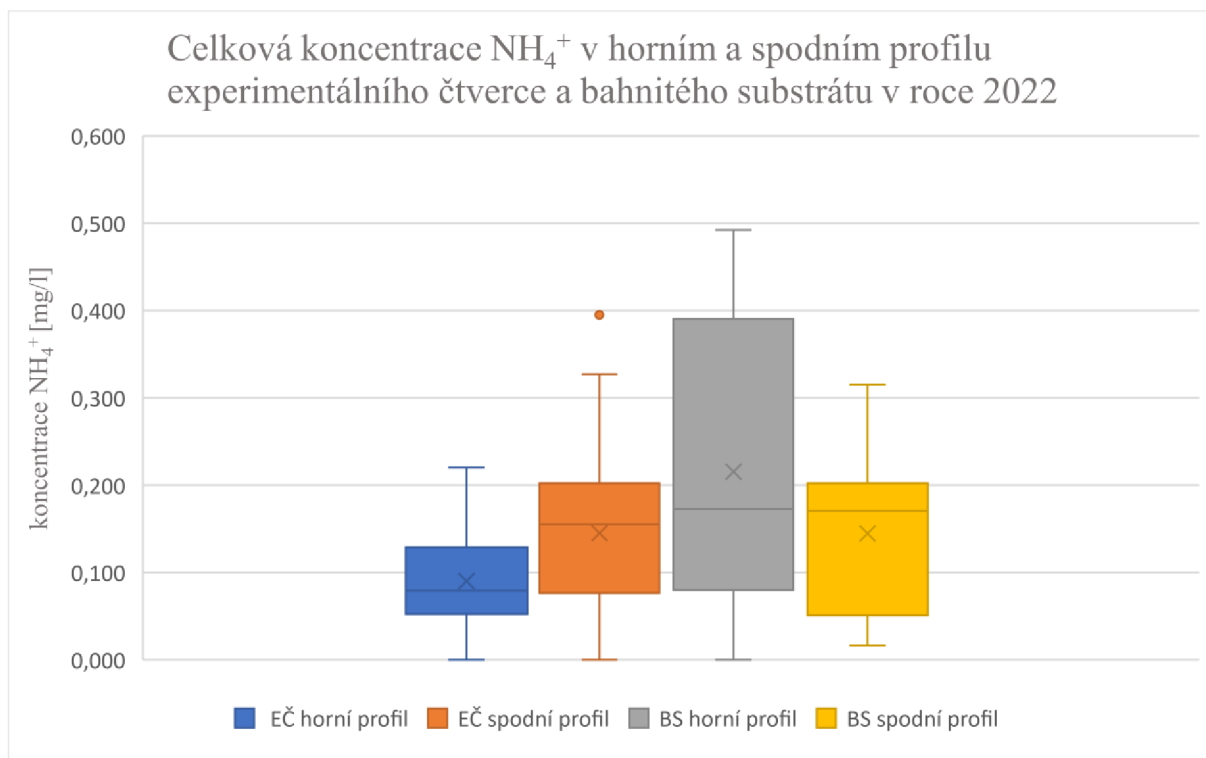
U téměř všech bodů v bahnitém substrátu byla zjištěna významná pozitivní korelace s koncentrací  $\text{NH}_4^+$  ve volné vodě (obr. 25). Menší pozitivní korelace byla naměřena u bodu L-hor, u bodu N-spod nebyla zaznamenána téměř žádná korelace s koncentrací  $\text{NH}_4^+$  ve volné vodě.



Obr. 25: Graf Pearsonova korelačního koeficientu koncentrace  $\text{NH}_4^+$  mezi body bahnitého substrátu a volnou vodou v roce 2022. Žlutou barvou jsou zobrazeny body horního profilu experimentálního čtverce, zelenou barvou jsou označeny body spodního profilu experimentálního čtverce.

#### 5.2.5 Rozdíly v koncentraci amonných iontů v experimentálním čtverci a v bahnitém substrátu v roce 2022

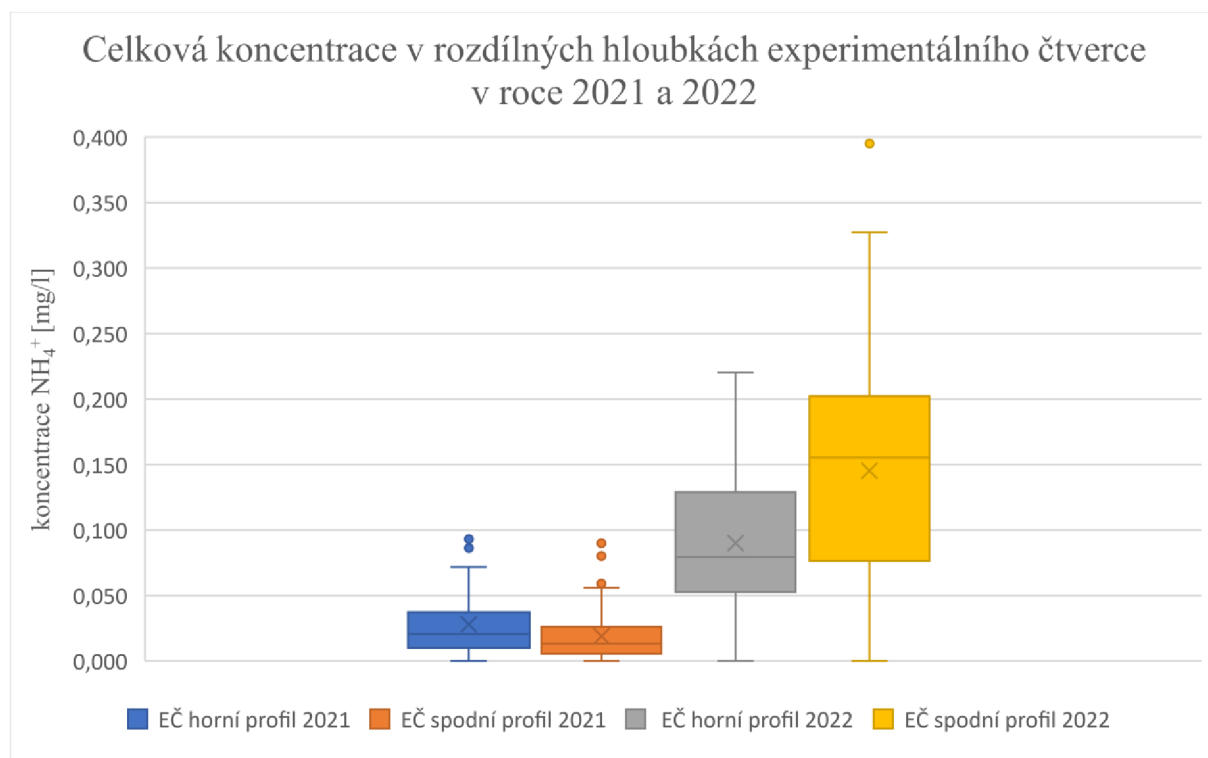
V horním profilu experimentálního čtverce byla naměřena výrazně nižší koncentrace  $\text{NH}_4^+$  než v bahnitých substrátech. Nicméně ve spodním profilu byly jak u experimentálního čtverce, tak u bahnitých substrátů zjištěny velmi podobné hodnoty koncentrace  $\text{NH}_4^+$  (obr. 26).



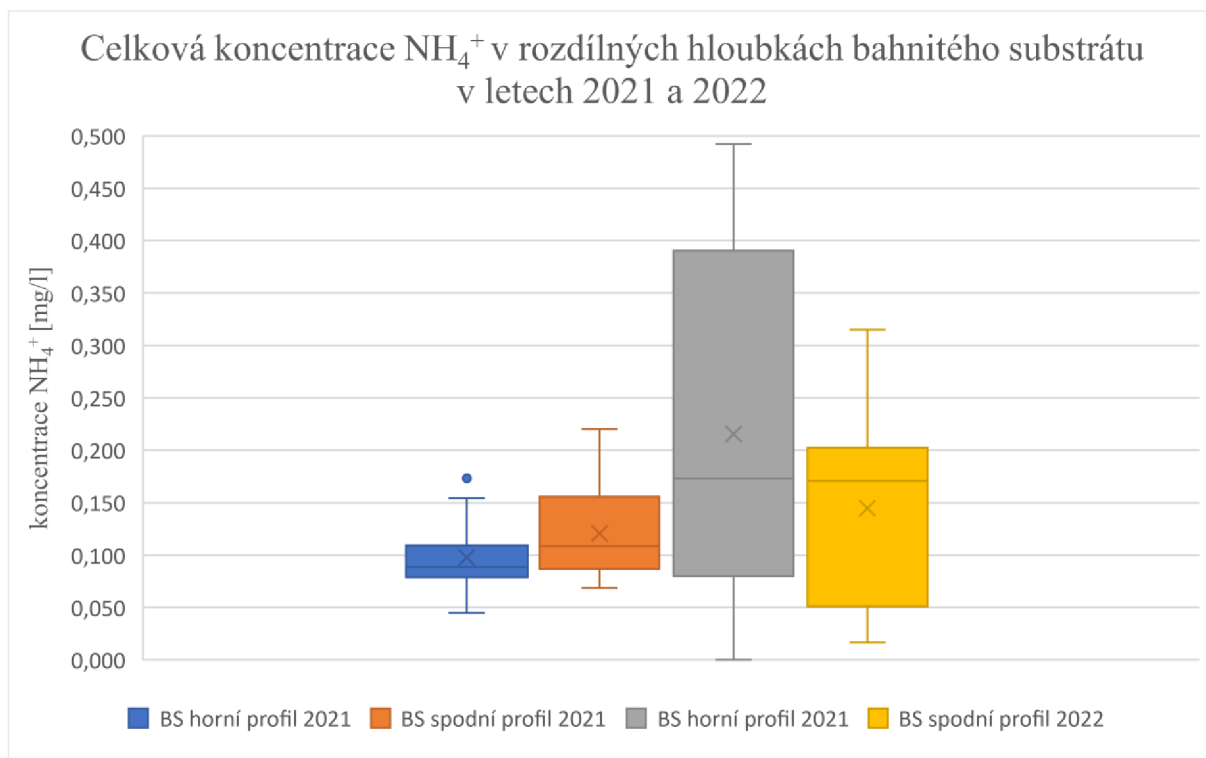
Obr. 26: Graf celkové koncentrace  $\text{NH}_4^+$  v horním profilu experimentálního čtverce a v bahnitém substrátu v roce 2022 (EČ-experimentální čtverec; BS-bahnitý substrát). V grafu jsou zobrazeny odlehlé hodnoty, průměrné hodnoty a mediány. Počet hodnot  $n$  v jednotlivých boxplotech: EČ horní profil ( $n = 79$ ); BS horní profil ( $n = 36$ ); EČ spodní profil ( $n = 63$ ); BS spodní profil ( $n = 27$ ).

### 5.3 Porovnání koncentrace amonných iontů v mezi lety 2021 a 2022

Celkově byly v roce 2021 měřeny nižší koncentrace  $\text{NH}_4^+$  ve spodním i v horním profilu experimentálního čtverce. Zároveň byly v roce 2021 měřeny i menší rozsahy koncentrace  $\text{NH}_4^+$  (obr. 27). Stejný trend se objevoval i u bahnitých substrátů, kde byly rovněž v roce 2021 zjištěny nižší hodnoty koncentrace  $\text{NH}_4^+$  (obr. 28).



Obr. 27: Graf celkové koncentrace  $\text{NH}_4^+$  v rozdílných hloubkách experimentálního čtverce v roce 2021 a 2022. V grafu jsou zobrazeny průměrné hodnoty a mediány. Počet hodnot  $n$  v jednotlivých kategoriích: horní profil 2021 ( $n = 45$ ); spodní profil 2021 ( $n = 67$ ); horní profil 2022 ( $n = 79$ ); spodní profil 2022 ( $n = 63$ ).



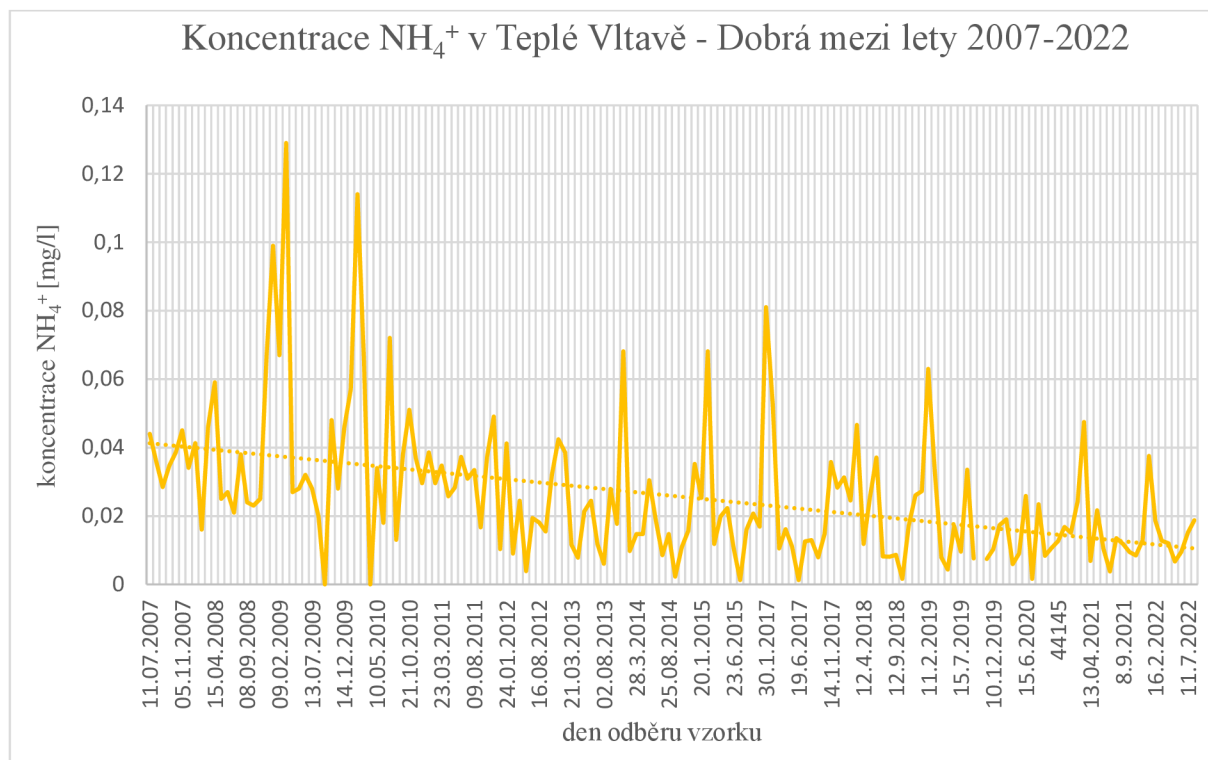
Obr. 28: Graf celkové koncentrace  $\text{NH}_4^+$  v rozdílných hloubkách bahnitého substrátu v roce 2021 a 2022. V grafu jsou zobrazeny průměry, odlehlé hodnoty a mediány. Počet hodnot  $n$  pro jednotlivé kategorie: horní profil 2021 ( $n = 22$ ); spodní profil 2021 ( $n = 22$ ); horní profil 2022 ( $n = 36$ ); spodní profil 2022 ( $n = 27$ ).

## 6. Diskuse

### 6.1 Koncentrace amonných iontů

Celkové hladiny koncentrací  $\text{NH}_4^+$  byly ve zkoumaném profilu Teplé Vltavy v obou letech na nízkých úrovních. Nejvyšší naměřená koncentrace  $\text{NH}_4^+$  v roce 2021 byla v hypoeálu experimentálního čtverce 0,093 mg/l (SoC8z v 7:00) a 0,201 mg/l v bahnitěm substrátu (BaVzZe ve 13:00). V roce 2022 byly obecně hodnoty koncentrace  $\text{NH}_4^+$  vyšší, nicméně koncentrace v experimentálním čtverci nikdy nepřesáhly hodnotu 0,4 mg/l (nejvyšší naměřená hodnota v bodě J-spod 0,395 mg/l v 11:00) a v bahnitých substrátech naměřené koncentrace  $\text{NH}_4^+$  nebyly vyšší než 1 mg/l (nejvyšší zjištěná koncentrace v bodě N-spod 0,968 v 9:00).

Ve volné vodě byly hodnoty koncentrací  $\text{NH}_4^+$  velmi nízké. Nejvyšší naměřená hodnota koncentrace  $\text{NH}_4^+$  v roce 2021 byla 0,057 mg/l. Jedná se ale o jednu významnější odchylku koncentrace  $\text{NH}_4^+$  v čase, průměrné hodnoty ve volné vodě jsou 0,013 mg/l, medián dokonce jen 0,006 mg/l. Podobně nízké hodnoty byly naměřeny i v potocích v USA nebo v Kanadě (Hill et al., 1998; Strauss et al., 2002). V roce 2022 byla nejvyšší naměřená koncentrace  $\text{NH}_4^+$  ve volné vodě 0,168 mg/l. Tato maximální hodnota koncentrace  $\text{NH}_4^+$  ve volné vodě v roce 2022 se podobá koncentracím, které zaznamenal Buddensiek, 1995, který při svém pokusu s bioindikačními destičkami obsahujícími juvenilní stádia perlorodky říční v severním Německu, naměřil nejvyšší koncentraci  $\text{NH}_4^+$  0,340 mg/l, v ostatních zkoumaných řekách se průměrná hodnota koncentrace  $\text{NH}_4^+$  pohybovala okolo 0,2 mg/l (Buddensiek, 1995). Jelikož v Teplé Vltavě byly ve volné vodě v průběhu experimentu této diplomové práce koncentrace  $\text{NH}_4^+$  minimálně o polovinu nižší (průměr v roce 2021=0,013, průměr v roce 2022=0,60), můžeme lokalitu Teplé Vltavy označit jako velmi příznivou pro perlorodku říční. Dlouhodobé koncentrace  $\text{NH}_4^+$  v Teplé Vltavě jsou na velmi nízké úrovni a v průběhu let lze pozorovat klesající trend (viz obr 29). Moje výsledky velmi dobře zapadají do schématu dlouhodobých koncentrací  $\text{NH}_4^+$  v Teplé Vltavě.



Obr. 29: Koncentrace  $\text{NH}_4^+$  v Teplé Vltavě – Dobrá mezi lety 2007 – 2022. V grafu je zobrazena spojnice trendu (Kladivová, Simon et al., nepublikovaná data).

## 6.2 Prostorové rozložení koncentrací amonných iontů

Ve třech případech ze čtyř se nejvyšší naměřené koncentrace  $\text{NH}_4^+$  objevovaly ve spodním profilu bodů vzorkování. V minulosti byla změřena koncentrace  $\text{NH}_4^+$  v hyporeálu v kanadských tocích, kdy koncentrace  $\text{NH}_4^+$  dosahovala téměř 1 mg/l. Jednalo se o významný rozdíl vůči povrchové volné vodě, kde se koncentrace  $\text{NH}_4^+$  pohybovaly okolo 0,03 mg/l. Tyto pokusy se ale prováděly v hloubce sedimentu větší než 1 m (Hill et al., 1998). Nicméně dalo by se předpokládat, že s narůstající hloubkou se mohou koncentrace  $\text{NH}_4^+$  zvyšovat. Toto tvrzení by podporovaly výsledky celkové koncentrace  $\text{NH}_4^+$  v experimentálním čtverci i v bahnitých substrátech v roce 2022 (obr. 17). Tuto hypotézu ale vyvrací výsledky z roku 2021, kdy se u experimentálního čtverce v horním profilu vyskytovaly vyšší hodnoty koncentrací  $\text{NH}_4^+$  než ve spodním (obr. 8). Obr. 29 však indikuje, že absolutní rozdíl mezi spodními a horními profily byl v roce 2021 jen velice malý v kontextu měření v obou letech. Celková koncentrace  $\text{NH}_4^+$  v horním profilu experimentálního čtverce v roce 2021 může být proto mírně zkreslená i nepravidelností ve vzorkování. Nepodařilo se totiž odebrat vzorky ze dvou bodů vzorkování (SoG3z a SoG8z) po celou dobu měření z důvodu uvolnění hadiček sloužících k odběru vzorků.



Vzhledem k tomu, že v roce 2021 mělo být odebráno 16 vzorků v experimentálním čtverci (8 vzorků v horním a 8 vzorků ve spodním profilu), trvalá absence 2 vzorků ve stejné hloubce může mít významný vliv na porovnání koncentrací  $\text{NH}_4^+$  mezi rozdílnými profily vzorkování. Navíc v průběhu měření došlo k odebrání bioindikačních destiček, a tak se od 11:00 mělo odebírat pouze 8 vzorků.

V roce 2022 došlo rovněž k vyřazení dvou bodů vzorkování (dlouhodobé ucpání hadiček), jednalo se také o stejnou hloubku (v roce 2022 se jednalo o profil spodní), nicméně celkový počet bodů vzorkování byl vyšší (celkem 20) a v průběhu vzorkování nedošlo k žádnému dalšímu vyřazení či odebrání bodů odběru vzorků.

Při porovnání korelačních koeficientů z roku 2021 můžeme pozorovat významně vyšší korelace koncentrací  $\text{NH}_4^+$  mezi bodem vzorkování hyporeálu a volnou vodou u bodů spodního profilů experimentálního čtverce (Tab. 5 a 6). V horním profilu (3 cm v sedimentu) v úseku C8 lze pozorovat záporné korelace, naproti tomu ve spodním profilu (13 cm v sedimentu) je pozitivní korelace v koncentraci  $\text{NH}_4^+$  mezi bodem vzorkování a volnou vodou významná. To může být způsobeno odlišným přísunem a prouděním hyporeální vody v různých hloubkových horizontech. Před úsekem C8 může docházet k downwellingu. Po většinu měření mají horní profily bodů SoC8 a DeC8 vyšší koncentrace  $\text{NH}_4^+$  než spodní profily, které většinou i lépe kopírují výkyvy v koncentracích  $\text{NH}_4^+$  ve volné vodě v průběhu měření. To naznačuje větší kontakt spodního profilu s povrchovou vodou než u horního profilu. Zároveň může u downwellingu docházet vlivem mikrobiální aktivity k vyšší nitrifikaci, tedy spotřebě  $\text{NH}_4^+$  za vzniku dusičnanů ( $\text{NO}_3^-$ ), neboli snižování koncentrace  $\text{NH}_4^+$ , která je u spodních profilů SoC8 a DeC8 pozorována (Hendricks, 1993).

### **6.3 Časová distribuce koncentrací amonných iontů**

Arnon et al., 2012 sledovali diurnální vývoj koncentrací  $\text{NH}_4^+$  ve volné vodě, kdy pozorovali mírný pokles koncentrace ve večerních a nočních hodinách. Tyto poklesy považovali za příjem  $\text{NH}_4^+$  bentickými organismy (Arnon et al., 2012). V Teplé Vltavě koncentrace  $\text{NH}_4^+$  ve volné vodě sledovaly v roce 2021 podobný trend, kdy se koncentrace  $\text{NH}_4^+$  začala zvyšovat ve 3:00 a maximální hodnoty koncentrace  $\text{NH}_4^+$  byly dosaženy v 7:00. Z časových důvodů se bohužel nepovedlo uskutečnit měření v 5:00. Bylo by zajímavé sledovat, zda by se tento vývoj potvrdil. Koncentrace  $\text{NH}_4^+$  v experimentálním čtverci v roce 2021

rovněž vykazují zvyšování koncentrace během dne (obr. 10, 11, 12), což může být způsobeno rovněž mikroorganismy přítomnými v mělkém hyporeálu (Yan et al., 2022). V roce 2022 se u koncentrace  $\text{NH}_4^+$  ve volné vodě ani v experimentálním čtverci postupné zvyšování během dne a postupné snižování s nástupem noci neobjevuje (obr. 19, 20, 21). Objevuje se zde spíše repetitivní kolísání v průběhu 24 hodin. Je možné, že v roce 2022 nad koncentrací  $\text{NH}_4^+$  převážil vliv jiných, zejména fyzikálně–chemických faktorů, jako je teplota, pH, redoxní potenciál nebo rychlost a směr proudění (Strauss et al., 2002; Crenshaw et al., 2010; Heppell et al., 2014; DiLorenzo et al., 2015; Dwivedi et al., 2017).

V některých bodech vzorkování lze také pozorovat stejné trendy v hladinách koncentrací  $\text{NH}_4^+$  jako u volné vody. V roce 2021 kolísání koncentrace  $\text{NH}_4^+$  dobře kopíruje bod DeG8, částečně také DeC3 (v horním profilu) a DeC8 (ve spodním profilu). Zpožděné reakce na zvýšení koncentrace  $\text{NH}_4^+$  ve volné vodě lze pozorovat u bodů SoC3 a SoC8. Jedná se o body ze spodního profilu (13 cm pod povrchem). Je možné, že tyto opožděné výkyvy v koncentracích  $\text{NH}_4^+$  mohou být způsobeny delší dobou, která je nutná k proudění vody z toku do mělkého hyporeálu, a proto se vyšší koncentrace  $\text{NH}_4^+$  objeví později (Lellák & Kubíček, 1992).

Pokud by u bodu DeG8 probíhalo vzorkování po celou dobu pokusu, je možné, že bychom zde mohli pozorovat podobný vývoj jako u bodů SoC3 a SoC8. Při poslední hodině měření vzrostla koncentrace  $\text{NH}_4^+$  ve volné vodě, nicméně u tohoto bodu se žádná reakce neobjevila. Možná by ke zvýšení koncentrace  $\text{NH}_4^+$  došlo při následujícím odběru (vzorkování u bodu DeG8 bylo ukončeno v 11:00 při odebrání bioindikační destičky).

U bodu DeC3, který dobře kopíroval v horním profilu hladinu koncentrace  $\text{NH}_4^+$  ve volné vodě, se ve spodním profilu rovněž reakce na koncentraci  $\text{NH}_4^+$  ve stejnou hodinu neprojevila. Vzorkování bodu DeC3 bylo rovněž ukončeno v 11:00. Naopak bod DeC8 vykazoval významnější vztah s koncentrací  $\text{NH}_4^+$  ve volné vodě ve spodním profilu (oproti hornímu profilu), kde se změna koncentrace  $\text{NH}_4^+$  ve volné vodě projevila ve stejnou hodinu. Větší korelace  $\text{NH}_4^+$  s volnou vodou po celou dobu měření u spodního profilu tohoto bodu než u horního může být způsobena vlivem odlišného proudění, přesněji spodní profil bodu DeC8 může být v zóně downwellingu, a proto může rychleji reagovat na změnu podmínek v toku.

V roce 2022 lze sledovat významný pozitivní vztah mezi koncentrací  $\text{NH}_4^+$  ve volné vodě a bodech vzorkování. Současné nárůsty a poklesy koncentrací  $\text{NH}_4^+$  ve volné vodě i v jednotlivých bodech lze pozorovat u bodů B, C, D, E, H a J (u bodu J v jednom měření odchylka – možné pochybení při odběru vzorku či kontaminace v laboratoři). Pouze u bodu G je v horním profilu v jednom případě pozorován nárůst koncentrace  $\text{NH}_4^+$  při současném poklesu koncentrace  $\text{NH}_4^+$  ve volné vodě. To může být rovněž způsobeno chybou při odběru či analýze vzorku. V roce 2022 se ve většině bodů prokázala významná pozitivní korelace mezi koncentrací  $\text{NH}_4^+$  ve volné vodě (obr. 18) oproti roku 2021 (obr. 9). To podporuje poznatky, že v roce 2022 většina koncentrace  $\text{NH}_4^+$  u bodů vzorkování kopírovala koncentraci  $\text{NH}_4^+$  ve volné vodě.

#### **6.4 Dopady pro perlorodku říční (*Margaritifera margaritifera*)**

Amonné ionty ( $\text{NH}_4^+$ ) přímo nezpůsobují mortalitu nebo zhoršené podmínky pro perlorodku říční. Nicméně prostřednictvím chemických změn v toku a biologických reakcí může vznikat amoniak ( $\text{NH}_3$ ), který je pro organismy vysoce toxický. Na vznik  $\text{NH}_3$  má vliv pH. V kyselém prostředí je  $\text{NH}_4^+$  relativně stabilní, nicméně při zvýšení pH může  $\text{NH}_4^+$  přecházet na  $\text{NH}_3$  (Camargo & Alonso, 2006; Anděl, 2011; Yan et al., 2022).  $\text{NH}_3$  se může z vodního prostředí odbourávat při působení mikroorganismů prostřednictvím procesu anammox (Zhou et al., 2014).  $\text{NH}_3$  může negativně ovlivňovat přežívání juvenilů perlorodky říční (Buddensiek, 1995), je toxický i pro další organismy – např. buchanku zoubkovanou (*Eucyclops serrulatus*; Di Lorenzo et al., 2015), mlže z čeledi *Unionidae* (Augspurger et al., 2003; Wang et al., 2007).

Hodnoty  $\text{LC}_{50}$  pro  $\text{NH}_4^+$  se u dospělců buchanky zoubkované (*Eucyclops serrulatus*) pohybovaly při 18 °C na 29,79 mg/l, smrtelná dávka u mláďat byla 16,11 mg/l (DiLorenzo et al., 2015). Koncentrace  $\text{NH}_4^+$  se v Teplé Vltavě těmito hodnotám ani nepřibližují. U  $\text{NH}_3$  byla zjištěna pro zástupce čeledi *Unionidae* toxická hodnota  $\text{LC}_{50}$  mezi 0,57–19,67 mg/l (Augspurger et al., 2003). Zájmová lokalita na Teplé Vltavě se vyskytuje v I. zóně Národního parku Šumava a jedná se o málo znečištěný tok. Nicméně ani v současnosti se nedaří úspěšně nastartovat přirozené rozmnožování u populací perlorodek říčních. Perlorodky jsou tedy v ČR závislé na polopřirozeném odchovu juvenilních stádií (Simon et al., 2017). Zjištěné koncentrace  $\text{NH}_4^+$  naznačují, že experimentální plocha v úseku Teplé Vltavy je pro perlorodku říční vhodným stanovištěm. Hlubší pochopení vztahů v distribuci a koncentraci  $\text{NH}_4^+$  může zajistit

lepší péči o současné i budoucí populace nejenom tohoto sladkovodního mlže, ale i o další ohrožené živočichy.

## 7. Závěr

Cílem diplomové práce bylo popsat prostorové a časové změny koncentrací amonných iontů ( $\text{NH}_4^+$ ) na experimentální ploše o rozloze  $1 \text{ m}^2$  v mělkém říčním hyporeálu Teplé Vltavy. Prostorové i časové změny se mezi lety 2021 a 2022 velmi lišily a bylo možné sledovat rozdílné trendy v koncentracích  $\text{NH}_4^+$ .

V roce 2021 byla dobře zaznamenána změna v koncentraci amonných iontů v průběhu 24 hodin, kdy se během denních hodin postupně zvyšovala koncentrace  $\text{NH}_4^+$ . V odpoledních a večerních hodinách byla koncentrace  $\text{NH}_4^+$  na nižší úrovni. To lze vysvětlit aktivitou mikroorganismů, které využívají  $\text{NH}_4^+$  k biologickým reakcím. V roce 2022 se tento trend neopakoval a bylo možné sledovat kolísavé hodnoty koncentrace  $\text{NH}_4^+$  v průběhu 24 hodin. To mohlo být způsobeno odlišnými fyzikálně–chemickými faktory, které se mohly v roce 2022 v Teplé Vltavě vyskytovat.

Zajímavostí je, že koncentrace  $\text{NH}_4^+$  v experimentálním čtverci byly v roce 2021 mírně vyšší v horním profilu (3 cm pod povrchem) experimentálního čtverce oproti profilu spodnímu (13 cm pod povrchem). To odporuje předpokladu, že v hlubším sedimentu se bude vyskytovat více  $\text{NH}_4^+$ . Tato skutečnost může být ovlivněna směrem proudění (upwelling x downwelling), ale také malým počtem bodů vzorkování, a především v průměru velmi nízkými koncentracemi amonných iontů na lokalitě. V roce 2022 se předpoklad, že v hlubších sedimentech se bude vyskytovat více  $\text{NH}_4^+$ , potvrdil.

Zejména v roce 2022 byla zjištěna významná pozitivní korelace mezi koncentrací  $\text{NH}_4^+$  ve volné vodě a v bodech vzorkování. Pozitivní korelace reprezentují významnou provázanost mezi povrchovou a hyporeálovou vodou. V obou letech se podařilo potvrdit, že v bahnitých substrátech s přítomností makrofyt byly koncentrace  $\text{NH}_4^+$  vyšší než ve stejných hloubkách písčitého sedimentu v rámci experimentálního čtverce.

Celkové naměřené koncentrace  $\text{NH}_4^+$  ve volné vodě i v bodech vzorkování byly na velmi nízké úrovni. Zjištěné koncentrace by neměly mít významný vliv na přežívání jedinců perlorodky říční (*Margaritifera margaritifera*). Tato diplomová práce může posloužit jako základní materiál pro další analýzy změny koncentrací  $\text{NH}_4^+$  a jejich vlivu na vodní organismy a zlepšující se péči o ohrožené populace perlorodky říční v České republice.

## 8. Seznam použité literatury

### 8.1 Odborné publikace

- Anděl P. (2011). *Ekotoxikologie, bioindikace a biomonitoring*. Evernia, Liberec, 265 pp, ISBN 978-80-903787-9-7.
- AOPK ČR (2013). Záchranný program perlorodky říční *Margaritifera margaritifera* v České republice. 77 str., přílohy 1-10.
- Arnon S., Yanuka K., & Nejidat A. (2012). Impact of overlaying water velocity on ammonium uptake by benthic biofilms. *Hydrological Processes*, 27(4), 570-578.
- Augspurger T., Keller A. E., Black M. C., Cope W. G., & Dwyer F. J. (2003). Water quality guidance for protection of freshwater pearl mussels (Unionidae) from ammonia exposure. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 22(11), 2569-2575.
- Bauer G. (1986). The Status of the Freshwater Pearl Mussel *Margaritifera margaritifera* L. in the South of Its European Range. *Biological Conservation*, 38, 1-9.
- Bauer G. (1988). Threats to the Freshwater Pearl Mussel *Margaritifera margaritifera* L. in Central Europe. *Biological Conservation*, 45, 239-253.
- Bauer G. (1992). Variation in the life span and size of the freshwater pearl mussel. *Journal of Animal Ecology*, 61, 425-436.
- Bauer G. (1994). The adaptive value of offspring size among freshwater mussels (Bivalvia, Unionoidea). *Journal of Animal Ecology*, 63, 933-944.
- Beran L. (1998). *Vodní měkkýši ČR – Metodika Českého svazu ochránců přírody č. 17*. ZO ČSOP Vlašim, Vlašim, 113 pp., ISBN 80-902469-4-X.
- Beran L. (2002). *Vodní měkkýši České republiky: rozšíření a jeho změny, stanoviště, šíření, ohrožení a ochrana, červený seznam*. Přírodovědný klub v Uherském Hradišti, Zlín, 258 pp., ISBN 80-86485-05-6.
- Bílý M., & Simon O. (2007). Water quality issues in the Protection of Oligotrophic Streams with Occurrence of Pearl Mussel (*Margaritifera margaritifera*) in the Czech Republic. *Acta Universitatis Carolinae Environmentalica*, 21, 21-30.

- Blackburn T. H., & Hendriksen K. (1983). Nitrogen cycling in different types of sediments from Danish waters. *Limnology and Oceanography*, 28(3), 477-493.
- Boulton A. J., Scarsbrook M. R., Quinn J. M., & Burrell G. P. (1997). Land – use effects on the hyporheic ecology of five small streams near Hamilton, New Zealand. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, 31, 609-622.
- Boulton A. J., Findlay S., Marmonier P., Stanley E. H., & Valett H. M (1998). The functional significance of the hyporheic zone in streams and rivers. *Annual review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 29, 59-81.
- 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, 33-40.
- Burgin A. J., & Hamilton S. K. (2007). Have we overemphasized the role of denitrification in aquatic ecosystems? A review of nitrate removal pathways. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 5(2), 89-96.
- Brettar I., & Rheinheimer G. (1991). Denitrification in the Central Baltic: evidence for H<sub>2</sub>S-oxidation as motor of denitrification at the oxic-anoxic interface. *Marine Ecology Progress Series*, 77, 157-169.
- Brunet R. C., & Garcia-Gil L. J. (1996). Sulfide-induced dissimilatory nitrate reduction to ammonia in anaerobic freshwater sediments. *FEMS Microbiology Ecology*, 21, 131-138.
- Camargo J. A., Alonso Á, & Salamanca A. (2005). Nitrate toxicity to aquatic animals: a review with new data for freshwater invertebrates. *Chemosphere*, 58, 1255-1267.
- Camargo J. A., & Alonso Á. (2006). Ecological and toxicological effects of inorganic nitrogen pollution in aquatic ecosystems: A global assessment. *Environment International*, 32, 831-849.
- Cosgrove P. J., Shields D. M., Cosgrove C. F., Farquhar J. E., Jarrett D. H., Jancke S., Mitchell A. R., & Moggach R. M. (2014). Population size, structure and distribution of an unexploited freshwater pearl mussel *Margaritifera margaritifera* (L.) population in Scotland. *Journal of Conchology*, 41(5), 541-552.

- Cosgrove P., Watt J., Hastie L., Sime I., Shields D. Cosgrove C., Brown L., Isherwood I., & Bao M. (2016). The status of the freshwater pearl mussel *Margaritifera margaritifera* in Scotland: extent of change since 1990s, threats and management implications. *Biodiversity and Conservation*, 25, 2093-2112.
- Crenshaw C. L., Grimm N. B., Zeglin L. H., Sheibley R. W., Dahm C. N., & Pershall A. D. (2010). Dissolved inorganic nitrogen dynamics in the hyporheic zone of reference and human – altered southwestern U. S. streams. *Fundamental and Applied Limnology*, 176/4, 391-405.
- Douda K. (2007). The Occurrence and Growth of *Unio crasus* (Mollusca: Bivalvia: Unionidae) in Lužnice River Basin in Respect to Water Quality. *Acta Universitatis Carolinae Environmentalica*, 21, 57-63.
- Douda K. (2010). Effects of nitrate nitrogen pollution on Central European unionid bivalves revealed by distributional data and acute toxicity testing. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 20, 189-197.
- Dwivedi D., Steefel C. I., Arora B., & Bisht G. (2017). Impact of intra-meander hyporheic flow on nitrogen cycling. *Procedia Earth and Planetary Science*, 17, 404-407.
- Elmsteiner H. (2022). *Růst a přežívání juvenilních perlorodek říčních v experimentálním úseku Teplé Vltavy* [BP]. ČZU v Praze.
- Farkač J., Král D., & Škorpík M. (2005). *Červený seznam ohrožených druhů České republiky bezobratlí*. Agentura ochrany přírody a krajiny ČR.
- Franken R. J. M., Storey R. G., & 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, 183-195.
- Frazier B. E., Naimo T. J., & Sandheinrich M. B. (1996). Temporal and vertical distribution of total ammonia nitrogen and un-ionized ammonia nitrogen in sediment pore water from the upper Mississippi river. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 15(2), 92-99.
- Geist J. (2010). Strategies for the conservation of endangered freshwater pearl mussels (*Margaritifera margaritifera* L.): a synthesis of Conservation Genetics and Ecology. *Hydrobiologia*, 644, 69-88.



- Gómez I., & Araujo R. (2008). Channels and ditches as the last shelter for freshwater mussels: the case of *Margaritifera auricularia* and other naiads inhabiting the mid Ebro River Basin, Spain. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 18, 658-670.
- Hastie L. C., Boon P. J., & Young M. R. (2000a). Physical microhabitat requirements of freshwater pearl mussels, *Margaritifera margaritifera* (L.). *Hydrobiologia*, 429, 59-71.
- Hastie L. C., Young M. R., & Boon P. J. (2000b). Growth characteristics of freshwater pearl mussels, *Margaritifera margaritifera* (L.). *Freshwater Biology*, 43, 243-256.
- Hendricks S. P. (1993). Microbial ecology of the hyporheic zone: a perspective integrating hydrology and biology. *Journal of the North American Benthological Society*, 12(1), 70-78.
- Heppell C., Heathwaite A. L., Binley A., Byrne P., Ullah S., Lansdown K., Keenan P., Trimmer M., & Zhang H. (2014). Interpreting spatial patterns in redox and coupled water – nitrogen fluxes in the streambed of a gaining river reach. *Biogeochemistry*, 117, 491-509.
- Hill A. R., Labadia C. F., & Sanmugadas K. (1998). Hyporheic zone hydrology and nitrogen dynamics in relation to the streambed topography of a N-rich stream. *Biogeochemistry*, 42, 285-310.
- Howard K. W. F., Maier H. S., & Mattson S. L. (2006). *Ground – surface water interactions and the role of the hyporheic zone*. In *Groundwater and Ecosystems*. Springer: Berlin, Germany, 70, 131-143.
- Jeřábek M. (2022). *Variabilita fyzikálních faktorů v experimentálním úseku Teplé Vltavy [BP]*. ČZU v Praze.
- Jetten M. S. M., Strous M., van de Pas-Schoonen K. T., Schalk J., van Dongen U. G. J. M., van de Graaf A. A., Logemann S., Muyzer G., van Loosdrecht M. C. M., & Kuenen J. G. (1999). The anaerobic oxidation of ammonium. *FEMS Microbiology Reviews*, 22, 421-437.
- Jetten M. S. M., Slijkens O., Kuypers M., Dalsgaard T., van Niftrik L., Cirpus I., van de Pas-Schoonen K., Lavik G., Thamdrup B., Le Paslier D., Op den Camp H. J. M., Hulth S., Nielsen L. P., Abma W., Third K., Engström P., Kuenen J. G., Jørgensen B. B., Canfield D. E., Sinninghe Damsté J. S., Revsbech N. P., Fuerst J., Weissenbach J., Wagner M.,

- Schmidt I., Schmid T., & Strous M. (2003). Anaerobic ammonium oxidation by marine and freshwater planctomycete-like bacteria. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 63, 107-114.
- Johnson Z. C., Warwick J. J., & Schumer R. (2015). A numerical investigation of the potential impact of stream restoration on in – stream N removal. *Ecological Engineering*, 83, 96-107.
- Kim H., Kaown D., Mayer B., Lee J.-Y., & Lee K.-K. (2018). Combining pyrosequencing and isotopic approaches to assess denitrification in a hyporheic zone. *Science of The Total Environment*, 631-632, 755-764.
- Konrady M. (2019). *Diverzita prostředí hyporeálu oligotrofních toků jako prediktor vhodných podmínek pro juvenilní mlže v podhorských oligotrofních tocích [DP].* ČZU v Praze.
- Lee D. H., Kim Y. J., & Lee S. (2014). Numerical modeling of bed form induced hyporheic exchange. *Paddy and Water Environment*, 12(1), S89-S97.
- Lellák J., & Kubíček F. (1992). *Hydrobiologie*. Karolinum, Praha. 260 pp. ISBN 80-7066-530-0.
- Di Lorenzo T., Di Marzio W. D., Cifoni M., Fiasca B., Baratti M., Sáenz M. E., & Galassi D. M. P. (2015). Temperature effect on the sensitivity of the copepod *Eucyclops serrulatus* (Crustacea, Copepoda, Cyclopoida) to agricultural pollutants in the hyporheic zone. *Current Zoology*, 61(4), 629-640.
- Malcolm I. A., Soulsby C., Youngson A. F., Hannah D. M., McLaren I. S., & Thorne A. (2004). Hydrological influences on hyporheic water quality: implications for salmon egg survival. *Hydrological Processes*, 18, 1543-1560.
- Malcolm I. A., Soulsby C., Youngson A. F., & Tetzlaff D. (2009). Fine scale variability of hyporheic hydrochemistry in salmon spawning gravels with contrasting groundwater – surface water interactions. *Hydrogeology Journal*, 17, 161-174.
- Malcolm I. A., Middlemas C. A., Soulsby C., Middlemas S. J., & Youngson A. F. (2010). Hyporheic zone processes in a canalised agricultural stream: implications for salmonid embryo survival. *Fundamental and Applied Limnology*, 176/4, 319-336.

- Marciniak M., Ziulkiewicz M., & Górecki M. (2022). Variability of water exchange in the hyporheic zone of a lowland river in Poland based on gradientometric studies. *Quaestiones Geographicae*, 41(3), 141-156.
- Martone I., Gualtieri C., & Endreny T. (2020). Characterization of Hyporheic Exchange Drivers and Patterns within a Low – Gradient, First – Order, River Confluence during Low and High Flow. *Water*, 12(3), 649.
- Matasová K., Simon O. P., Dort B., Douda K., & Bílý M. (2013). Recent distribution of freshwater pearl mussel (*Margaritifera margaritifera*) at historical localities in the upper part of the Vltava River basin (Czech Republic). *Silva Gabreta*, 19(3), 139-148.
- Oulasvirta P., Leinikki J., & Syväranta J. (2017). Freshwater Pearl Mussel in Finland – Current Status and Future Prospects. *Biology Bulletin*, 44(1), 81-91.
- Popov I. Y., & Ostrovsky A. N. (2013). Survival and extinction of the southern populations of freshwater pearl mussel *Margaritifera margaritifera* in Russia (Leningradskaya and Novgorodskaya oblast). *Hydrobiologia*, 735(1).
- Ren J., & Zhao B. (2020). Model-Based Analysis of the Effects of Rippled Bed Morphologies on Hyporheic Exchange. *Journal of Hydrologic Engineering*, 25(6), 04020023.
- Rojtová M. (2022). *Granulometrická charakteristika říčního sedimentu ve vztahu k juvenilním jedincům perlorodky říční* [DP]. ČZU v Praze.
- Sawyer A. H., Bayani Cardenas M., & Buttles J. (2012). Hyporheic temperature dynamics and heat exchange near channel – spanning logs. *Water Resources Research*. 48, W01529.
- Simon O. P., Vaničková I., Bílý M., Douda K., Patzenhauerová H., Hruška J., & Petlánová A. (2015). The status of freshwater pearl mussel in the Czech Republic: Several successfully rejuvenated populations but the absence of natural reproduction. *Limnologica*, 50, 11-20.
- Simon O., Tichá K., Rambousková K., Bílý M., Černá M., Dort B., Horáčková J., Hruška J., Kladivová V., Švanyga J., & Vydrová A. (2017). *Metodika podpory perlorodky říční (Margaritifera margaritifera)*. MŽP ČR, Praha, 283 pp., ISBN 978-80-87402-64-1.
- Smrž J. (2013). *Základy biologie, ekologie a systému bezobratlých živočichů*. Univerzita Karlova, Praha, 2015, 192 pp., ISBN 978-80-246-2258-3.

- Staponites L. R., Simon O. P., Barták V., & Bílý M. (2022). Management effectiveness in a freshwater protected area: Long-term water quality response to catchment-scale land use changes. *Ecological Indicators*, 144, 109438.
- Strauss E. A., Mitchell N. L., & Lamberti G. A. (2002). Factors regulating nitrification in aquatic sediments: effects of organic carbon, nitrogen availability, and pH. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 59, 554-563.
- Strous M., Pelletier E., Mangenot S., Rattei T., Lehner A., Taylor M. W., Horn M., Daims H., Bartol-Mavel D., Wincker P., Barbe V., Fonknechten N., Vallenet D., Segurens B., Schenowitz-Truong C., Médigue C., Collingro A., Snel B., Dutilh B. E., Op den Camp H. J. M., van der Drift C., Cirpus I., van de Pas-Schoonen K. T., Harhangi H. R., van Niftrik L., Schmid M., Keltjens J., van de Vossenberg J., Kartal B., Meier H., Frishman D., Huynen M. A., Mewes H.-W., Weissenbach J., Jetten M. S. M., Wagner M., & Le Paslier D. (2006). Deciphering the evolution and metabolism of an anammox bacterium from a community genome. *Nature*, 440, 790-794.
- Tiedje J. M. (1988). *Ecology of denitrification and dissimilatory nitrate reduction to ammonium*. In Zehnder A. J. B. (ed.): *Environmental Microbiology of Anaerobes*. John Wiley and Sons, New York, 179-244. ISBN 978-0471882268.
- Wang L., Wang Y., Li Y., Wang L., Zhu J., Zhang W., Zhang H., Niu L., & Wu J. (2022). Effect of water chemistry on nitrogen transformation, dissolved organic matter composition and microbial community structure in hyporheic zone sediment columns. *Environmental Research*, 215(4), 114246.
- Wang N., Ingersoll C. G., Greer I. E., Hardesty D. K., Ivey C. D., Kunz J. L., Brumbaugh W. G., Dwyer F. J., Roberts A. D., Augspurger T., Kane C. M., Neves R. J., & Barnhart M. C. (2007). Chronic toxicity of copper and ammonia to juvenile freshwater mussels (*Unionidae*). *Environmental Toxicology and Chemistry*, 26(10), 2048-2056.
- Wondzell S. M. (2011). The role of the hyporheic zone across stream networks. *Hydrological Processes*, 25, 3525-3532.
- Yan A., Guo X., Hu D., & Chen X. (2022). Reactive Transport of  $\text{NH}_4^+$  in the Hyporheic Zone from the Ground Water to the Surface Water. *Water*, 14, 1237.

- Young M. R. (1991). Conserving the Freshwater Pearl Mussel (*Margaritifera margaritifera* L.) in the British Isles and Continental Europe. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 1, 73-77.
- Young M. R., Cosgrove P. J. & Hastie L. C. (2001). The Extent of, and Causes for, the Decline of a Highly Threatened Naiad: *Margaritifera margaritifera*. *Ecological Studies*, 145, 337-357.
- Zettler M. L., & Jueg U. (2007). The situation of the freshwater musel *Unio crassus* (Philipsson, 1788) in north-east Germany and its monitoring in terms of the EC Habitats Directive. *Mollusca*, 25(2), 165-174.
- Zhou N., Zhao S., & Shen X. (2014). Nitrogen cycle in the hyporheic zone of natural wetlands. *Chinese Science Bulletin*, 59(24), 2945-2956.
- Zimmer M. A., & Lautz L. K. (2015). Pre- and postrestoration assessment of stream water – groundwater interactions: effects on hydrological and chemical heterogeneity in the hyporheic zone. *Freshwater Science*, 34(1), 287-300.
- Zopf J., Kjær T., Nielsen L. P., & Jørgensen B. B. (2001). Ecology of *Thioploca* spp.: Nitrate and Sulfur Storage in Relation to Chemical Microgradients and Influence of *Thioploca* spp. on the Sedimentary Nitrogen Cycle. *Applied and Environmental Microbiology*, 67 (12), 5530-5537.

## **8.2 Legislativní zdroje**

ČSN, ISO 7150-1 (75 7451): *Jakost vod – Stanovení amonných iontů – Část 1 Manuální spektrometrická metoda*. Český normalizační ústav, 1994.

## **8.3 Internetové zdroje**

Agentura ochrany přírody a krajiny ČR (2023). *Perlorodka říční – rozšíření*. Dostupné z <https://www.zachranneprogramy.cz/perlorodka-ricni/rozsireni/>

Beleco z.s. (2023). *Perlorodka říční*. Dozupné z <http://www.perlorodkaricni.cz/>

Český hydrometeorologický ústav (2023). *Evidence hlásných profilů*. Dostupné z [https://mapy.chmi.cz/ords/chmi\\_app/r/fewshlprf/hlprf-list?session=117311299794220](https://mapy.chmi.cz/ords/chmi_app/r/fewshlprf/hlprf-list?session=117311299794220)

International Union for Conservation of Nature Red List of Threatened Species (2010).  
*Freshwater pearl mussel Margaritifera margaritifera*. Dostupné z  
<https://www.iucnredlist.org/species/12799/3382660>

Microsoft Corporation (2023). *Correl (funkce)*. Dostupné z <https://support.microsoft.com/cs-cz/office/correl-funkce-995dcef7-0c0a-4bed-a3fb-239d7b68ca92>

Seznam.cz (2023). *Mapy.cz*. Dostupné z <https://mapy.cz/>.

## 9. Seznam obrázků

Obr. 1: Konceptuální diagram proudění povrchové vody přes hyporeál v korytě toku v úseku tůň – přírodní brod a vztah k distribuci podzemní vody. Linie A představuje infiltraci povrchové vody (downwelling) a linie B reprezentuje oblast vzestupného proudění (upwelling) vody z hyporeálu zpět do povrchové vody toku. Převzato z Hendricks, 1993. ....	5
Obr. 2: Perlorodka říční (Margaritifera margaritifera). Zdroj: www.perlorodkaricni.cz.....	9
Obr. 3: Životní cyklus perlorodky říční (Margaritifera margaritifera). Převzato z Geist, 2010. ....	11
Obr. 4: Mapa rozšíření perlorodky říční včetně historických dat. Převzato z <a href="https://www.zachranneprogramy.cz/perlorodka-ricni/rozsireni/">https://www.zachranneprogramy.cz/perlorodka-ricni/rozsireni/</a> .....	12
Obr. 5: Poloha zájmové lokality. Zdroj: Mapy.cz.....	13
Obr. 6: Situační plánek bodů vzorkování v experimentálním čtverci v roce 2021, hrana čtverce 1m. Modré vodorovné sloupce znázorňují v každém políčku relativní tvrdost oproti ostatním políčkům, viz příloha 32, kde jsou číselné hodnoty). Tučně vyznačený čtvereček značí umístění hadičky pro nasávání v hloubkách 3 a/ nebo 13 cm. Oranžové body v rozích značí polohu bioindikačních systémů s hadičkami také ve 3 a 13 cm hloubky. ....	16
Obr. 7: Situační plánek bodů vzorkování v experimentálním čtverci v roce 2022, hrana čtverce 1m. Modré pruhy znázorňují relativní tvrdost dna (delší pruh tvrdší dno, kde jsou číselné hodnoty). Tučně vyznačený čtvereček značí umístění hadičky pro nasávání v hloubce 3 a/ nebo 13 cm.....	19
Obr. 8: Graf celkové koncentrace $\text{NH}_4^+$ v experimentálním čtverci a ve volné vodě v roce 2021. Volná voda (n = 11), horní profil (n = 45), spodní profil (n = 67). V grafu jsou zobrazeny odlehle hodnoty, medián a průměr. ...	26
Obr. 9: Graf Pearsonova korelačního koeficientu mezi volnou vodou a body vzorkování v experimentálním čtverci v roce 2021. Žlutou barvou jsou zobrazeny body horního profilu experimentálního čtverce, zelenou barvou jsou označeny body spodního profilu experimentálního čtverce. ....	27
Obr. 10: Graf koncentrace $\text{NH}_4^+$ během jednotlivých časů odběru vzorků v experimentálním čtverci v roce 2021. V grafu jsou zobrazeny odlehle hodnoty, průměry a mediány. Počet hodnot n v jednotlivých časech: 21:00 (n = 13); 23:00 (n = 14); 1:00 (n = 14); 3:00 (n = 14); 7:00 (n = 14); 9:00 (n = 14); 11:00 (n = 6); 13:00 (n = 6); 15:00 (n = 6); 17:00 (n = 6); 19:00 (n = 5).....	29
Obr. 11: Graf koncentrace $\text{NH}_4^+$ během jednotlivých časů odběru vzorků v horním profilu experimentálního čtverce v roce 2021. V grafu jsou zobrazeny průměrné hodnoty a mediány. Počet hodnot n v jednotlivých časech: 21:00 (n = 5); 23:00 (n = 6); 1:00 (n = 6); 3:00 (n = 6); 7:00 (n = 6); 9:00 (n = 6); 11:00 (n = 2); 13:00 (n = 2); 15:00 (n = 2); 17:00 (n = 2); 19:00 (n = 2). ....	29
Obr. 12: Graf koncentrace $\text{NH}_4^+$ během jednotlivých časů odběru vzorků ve spodním profilu experimentálního čtverce v roce 2021. V grafu jsou zobrazeny průměrné hodnoty, odlehle hodnoty a mediány. Počet hodnot n v jednotlivých časech: 21:00 (n = 6); 23:00 (n = 6); 1:00 (n = 6); 3:00 (n = 6); 7:00 (n = 6); 9:00 (n = 6); 11:00 (n = 4); 13:00 (n = 4); 15:00 (n = 4); 17:00 (n = 4); 19:00 (n = 3). ....	30
Obr. 13: Graf časové distribuce $\text{NH}_4^+$ u bodů experimentálního čtverce, které vykazují významnou pozitivní korelaci ke koncentraci $\text{NH}_4^+$ ve volné vodě v roce 2021. V grafu jsou zahrnuty 3 body ze spodního profilu experimentálního čtverce (SoG3b, DeC8b, DeG8b; 13 cm v sedimentu) a jeden bod z horního profilu (DeC3z; 3 cm v sedimentu).....	31
Obr. 14: Graf Pearsonova korelačního koeficientu koncentrace $\text{NH}_4^+$ mezi body bahnitého substrátu a volnou vodou. Zelenou barvou jsou označeny body spodního profilu, žlutá barva představuje body horního profilu. ....	32
Obr. 15: Graf časové distribuce $\text{NH}_4^+$ v bahnitém substrátu v roce 2021. BaVpřSt, BaVzSt – horní profil, BaVpřZe, BaVzZe – spodní profil. ....	33
Obr. 16: Graf celkové koncentrace $\text{NH}_4^+$ v horním a spodním profilu experimentálního čtverce a bahnitého substrátu v roce 2021. V grafu jsou zobrazeny průměrné hodnoty a mediány. EČ = experimentální čtverec, BS = bahnitý substrát. EČ horní profil (n = 45); BS horní profil (n = 22); EČ spodní profil (n = 67); BS spodní profil (n = 22).....	34
Obr. 17: Graf celkové koncentrace $\text{NH}_4^+$ v bodech experimentálního čtverce a ve volné vodě v roce 2022. V grafu jsou zobrazeny průměry, odlehle hodnoty a mediány. ....	35
Obr. 18: Graf Pearsonova korelačního koeficientu koncentrace $\text{NH}_4^+$ mezi body odběru vzorků v experimentálním čtverci a volnou vodou v roce 2022. Žlutou barvou jsou zobrazeny body horního profilu experimentálního čtverce, zelenou barvou jsou označeny body spodního profilu experimentálního čtverce. ....	36
Obr. 19: Graf koncentrace $\text{NH}_4^+$ během jednotlivých časů odběru vzorků v experimentálním čtverci v roce 2022. V grafu jsou zobrazeny průměrné hodnoty, odlehle hodnoty a mediány. Počet hodnot n v jednotlivých časech:	

20:00 (n = 16); 1:00 (n = 15); 6:00 (n = 16); 9:00 (n = 16); 10:00 (n = 16); 11:00 (n = 16); 12: (n = 16); 13:00 (n = 16); 17:00 (n = 15).....	37
Obr. 20: Graf koncentrace $\text{NH}_4^+$ během jednotlivých časů odběru vzorků v horním profilu experimentálního čtverce v roce 2022. V grafu jsou zobrazeny odlehle hodnoty, průměrné hodnoty a mediány. Počet hodnot n v jednotlivých časech: 20:00 (n = 9); 1:00 (n = 8); 6:00 (n = 9); 9:00 (n = 9); 10:00 (n = 9); 11:00 (n = 9); 12:00 (n = 9); 13:00 (n = 9); 17:00 (n = 8).....	38
Obr. 21: Graf koncentrace $\text{NH}_4^+$ během jednotlivých časů odběru vzorků ve spodním profilu experimentálního čtverce v roce 2022. V grafu jsou zobrazeny odlehle hodnoty, průměrné hodnoty a mediány. Počet hodnot n ve všech časech odběru: n = 7.....	39
Obr. 22: Graf časové distribuce $\text{NH}_4^+$ u bodů, které vykazují významnou pozitivní korelace ke koncentraci $\text{NH}_4^+$ ve volné vodě v experimentálním čtverci v roce 2022.....	40
Obr. 23: Graf časové distribuce $\text{NH}_4^+$ u bodů v horním profilu experimentálního čtverce v roce 2022.....	40
Obr. 24: Graf časové distribuce $\text{NH}_4^+$ u bodů ve spodním profilu experimentálního čtverce v roce 2022.....	41
Obr. 25: Graf Pearsonova korelačního koeficientu koncentrace $\text{NH}_4^+$ mezi body bahnitěho substrátu a volnou vodou v roce 2022. Žlutou barvou jsou zobrazeny body horního profilu experimentálního čtverce, zelenou barvou jsou označeny body spodního profilu experimentálního čtverce.....	42
Obr. 26: Graf celkové koncentrace $\text{NH}_4^+$ v horním profilu experimentálního čtverce a v bahnitěm substrátu v roce 2022 (EČ-experimentální čtverec; BS-bahnitý substrát). V grafu jsou zobrazeny odlehle hodnoty, průměrné hodnoty a mediány. Počet hodnot n v jednotlivých boxplotech: EČ horní profil (n = 79); BS horní profil (n = 36); EČ spodní profil (n = 63); BS spodní profil (n = 27).....	43
Obr. 27: Graf celkové koncentrace $\text{NH}_4^+$ v rozdílných hloubkách experimentálního čtverce v roce 2021 a 2022. V grafu jsou zobrazeny průměrné hodnoty a mediány. Počet hodnot n v jednotlivých kategoriích: horní profil 2021 (n = 45); spodní profil 2021 (n = 67); horní profil 2022 (n = 79); spodní profil 2022 (n = 63).....	44
Obr. 28: Graf celkové koncentrace $\text{NH}_4^+$ v rozdílných hloubkách bahnitěho substrátu v roce 2021 a 2022. V grafu jsou zobrazeny průměry, odlehle hodnoty a mediány. Počet hodnot n pro jednotlivé kategorie: horní profil 2021 (n = 22); spodní profil 2021 (n = 22); horní profil 2022 (n = 36); spodní profil 2022 (n = 27).....	45
Obr. 29: Koncentrace $\text{NH}_4^+$ v Teplé Vltavě – Dobrá mezi lety 2007 – 2022. V grafu je zobrazena spojnice trendu (Kladivová, Simon et al., nepublikovaná data).....	47

## 10. Seznam tabulek

Tabulka 1: Kódování, umístění, profil (hloubka) bodů a způsob napojení hadiček sloužící k odběru hyporeálové vody při experimentu v roce 2021. EČ – experimentální čtverec, BS – bahnitý substrát, horní profil – hadička umístěna 3 cm v sedimentu, spodní profil – hadička umístěna 13 cm v sedimentu.....	17
Tabulka 2: Kódování, umístění a profil (hloubka) bodů odběru hyporeálové vody při experimentu v roce 2021. EČ – experimentální čtverec, BS – bahnitý substrát, horní profil – hadička umístěna 3 cm v sedimentu, spodní profil – hadička umístěna 13 cm v sedimentu.....	20
Tabulka 3: Tabulka znázorňující časové rozložení odběru vzorků vody v experimentálním čtverci ve dnech 23.–24. 7. 2021. V pořadí 5. sběr vzorků vody neproběhl z časových důvodů.....	21
Tabulka 4: Tabulka znázorňující časové rozložení odběru vzorků vody v experimentálním čtverci ve dnech 3.–4. 8. 2022.....	22
Tabulka 5 a Tabulka 6: Tabulka 5 (vlevo) zachycuje prostorové rozložení průběhu Pearsonova koeficientu v horním profilu bodů experimentálního čtverce v roce 2021. Tabulka 6 (vpravo) zobrazuje prostorové rozložení Pearsonova koeficientu ve spodním profilu experimentálního čtverce v roce 2021. Zelená políčka reprezentují nejvyšší pozitivní korelaci mezi bodem odběru a volnou vodou. Se snižující se korelací se barevná škála mění přes žlutou, oranžovou až po červenou. Červená barva reprezentuje negativní korelaci mezi bodem odběru a volnou vodou.....	28



## 11. Seznam příloh

Příloha 1: Koncentrace $\text{NH}_4^+$ všech bodů vzorkování na Teplé Vltavě v roce 2021.....	66
Příloha 2: Průměr, medián a Pearsonův korelační koeficient bodů vzorkování na Teplé Vltavě v roce 2021.....	67
Příloha 3: Koncentrace $\text{NH}_4^+$ v bodech vzorkování na Teplé Vltavě v roce 2022.....	68
Příloha 4: Průměr, medián a Pearsonův korelační koeficient bodů vzorkování na Teplé Vltavě v roce 2022.....	69
Příloha 5: Časová distribuce $\text{NH}_4^+$ v bodě SoC3 a ve volné vodě v roce 2021.....	70
Příloha 6: Časová distribuce $\text{NH}_4^+$ v bodě SoC8 a ve volné vodě v roce 2021.....	70
Příloha 7: Časová distribuce $\text{NH}_4^+$ v bodě DeC3 a ve volné vodě v roce 2021.....	71
Příloha 8: Časová distribuce $\text{NH}_4^+$ v bodě DeC8 a ve volné vodě v roce 2021.....	71
Příloha 9: Časová distribuce $\text{NH}_4^+$ v bodě DeG3 a ve volné vodě v roce 2021.....	72
Příloha 10: Časová distribuce $\text{NH}_4^+$ v bodě DeG8 a ve volné vodě v roce 2021.....	72
Příloha 11: Časová distribuce $\text{NH}_4^+$ v horním profilu kyslíkových sond v experimentálním čtverci v roce 2021.....	73
Příloha 12: Graf časové distribuce $\text{NH}_4^+$ u vybraných spodních profilů v experimentálním čtverci v roce 2021.....	73
Příloha 13: Časová distribuce $\text{NH}_4^+$ v horním profilu bioindikačních destiček v experimentálním čtverci v roce 2021.....	74
Příloha 14: Časová distribuce $\text{NH}_4^+$ ve spodním profilu bioindikačních destiček v experimentálním čtverci v roce 2021.....	74
Příloha 15: Časová distribuce $\text{NH}_4^+$ v bodě BaVpř a ve volné vodě v roce 2021.....	75
Příloha 16: Časová distribuce $\text{NH}_4^+$ v bodě BaVz a ve volné vodě v roce 2021.....	75
Příloha 17: Časová distribuce $\text{NH}_4^+$ v bodě B a ve volné vodě v roce 2022.....	76
Příloha 18: Časová distribuce $\text{NH}_4^+$ v bodě C a ve volné vodě v roce 2022.....	76
Příloha 19: Časová distribuce $\text{NH}_4^+$ v bodě D a ve volné vodě v roce 2022.....	77
Příloha 20: Časová distribuce $\text{NH}_4^+$ v bodě E a ve volné vodě v roce 2022.....	77
Příloha 21: Časová distribuce $\text{NH}_4^+$ v bodě G a ve volné vodě v roce 2022.....	78
Příloha 22: Časová distribuce $\text{NH}_4^+$ v bodě H a ve volné vodě v roce 2022.....	78
Příloha 23: Časová distribuce $\text{NH}_4^+$ v bodě J a ve volné vodě v roce 2022.....	79
Příloha 24: Časová distribuce $\text{NH}_4^+$ v bodě K a ve volné vodě v roce 2022.....	79
Příloha 25: Časová distribuce $\text{NH}_4^+$ v bodě L a ve volné vodě v roce 2022.....	80
Příloha 26: Časová distribuce $\text{NH}_4^+$ v bodě M a ve volné vodě v roce 2022.....	80
Příloha 27: Časová distribuce $\text{NH}_4^+$ v horním profilu bahnitého substrátu a ve volné vodě v roce 2022.....	81
Příloha 28: Časová distribuce $\text{NH}_4^+$ ve spodním profilu bahnitého substrátu a ve volné vodě v roce 2022.....	81
Příloha 29: Celková koncentrace $\text{NH}_4^+$ ve volné vodě v roce 2021 a 2022. V grafu jsou zobrazeny průměry, mediány a odlehle hodnoty.....	82
Příloha 30: Průměr a medián bodů odběru vzorků z experimentálního čtverce a volné vody v roce 2021.....	82
Příloha 31: Průměr a medián bodů odběru vzorků z experimentálního čtverce a volné vody v roce 2022.....	83
Příloha 32: Penetrometrická data o tvrdosti dna v experimentálním čtverci v roce 2021 (modré vodorovné sloupce znázorňují v každém políčku relativní tvrdost oproti ostatním políčkům). Penetrometrický odpor v PSI je zobrazen číselnou hodnotou. Hodnota K (kámen) značí pevný předmět s odporem nad 250 PSI.....	84
Příloha 33: Pracovní orientační plánec rozmístění odběrných ploch v roce 2022, detail rozmístění bodů v exp. čtverci. Bod K v měkkém bahně zátoky s porostem ponořených ostríc z roku 2021 odpovídá polohou bodu BaVz z roku 2021, bod L v porostu chřastice na okraji proudného úseku řeky odpovídá BaVpř z roku 2021. Bod M leží na začátku (návodní části) trsu stolítku, bod N pak ve spodní části trsu, respektive pod ho převalou částí (náčrtek O.Simon).....	85
Příloha 34: Tabulka naměřené výšky vodního sloupce v experimentálním čtverci v roce 2021 (Jeřábek, 2022).....	85
Příloha 35: Tabulka naměřených rychlostí 5 cm nade dnem v experimentálním čtverci v období 14.6.-22.7.2021. NA=rychlost nebyla změřena (Jeřábek, 2022).....	86
Příloha 36: Tabulka naměřených rychlostí 5 cm pod hladinou v experimentálním čtverci v období 14.6.-22.7.2021. NA=rychlost nebyla změřena (Jeřábek, 2022).....	86
Příloha 37: Tabulka naměřené výšky vodního sloupce v experimentálním čtverci a hydrometeorologické stanici Chlum v roce 2022. Výška vodního sloupce měřena v rozích experimentálního čtverce (Audyová & Simon, nepublikovaná data).....	86
Příloha 38: Tabulka naměřené výšky vodního sloupce v bodech vzorkování experimentálního čtverce dne 13. 9. 2022 (Audyová & Simon, nepublikovaná data).....	87

Příloha 39: Tabulka naměřené výšky vodního sloupce v doplňkových bodech vzorkování (bahnitý substrát, makrofyta) dne 13. 9. 2022 (Audyová & Simon, nepublikovaná data).....	87
---	----

## 12. Přílohy

Příloha 1: Koncentrace  $\text{NH}_4^+$  všech bodů vzorkování na Teplé Vltavě v roce 2021.

měření/čas	1. měření 21:00	2. měření 23:00	3. měření 1:00	4. měření 3:00	6. měření 7:00	7. měření 9:00	8. měření 11:00	9. měření 13:00	10. měření 15:00	11. měření 17:00	12. měření 19:00
SoC3z	0,025	0,005	0,009	0,022	0,035	0,020	0,023	0,051	0,010	0,025	0,021
SoC3b	0,022	0,000	0,007	0,024	0,032	0,022	0,007	0,006	0,000	0,052	-
SoC8z	0,065	0,019	0,032	0,071	0,093	0,015	0,086	0,052	0,016	0,022	0,009
SoC8b	0,010	0,003	0,023	0,025	0,064	0,017	0,090	0,020	0,006	0,011	0,011
SoG3z	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SoG3b	0,008	0,005	0,008	0,032	0,026	0,059	0,003	0,006	0,003	0,006	0,000
SoG8z	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SoG8b	0,045	0,000	0,007	0,017	0,041	0,025	0,001	0,004	0,000	0,000	0,003
DeC3z	0,003	0,000	0,000	0,022	0,036	0,063	-	-	-	-	-
DeC3b	0,013	0,000	0,008	0,056	0,028	0,015	-	-	-	-	-
DeC8z	-	0,072	0,013	0,040	0,036	0,031	-	-	-	-	-
DeC8b	0,026	0,005	0,007	0,036	0,017	0,045	-	-	-	-	-
DeG3z	0,016	0,009	0,000	0,048	0,018	0,019	-	-	-	-	-
DeG3b	0,014	0,009	0,012	0,030	0,013	0,017	-	-	-	-	-
DeG8z	0,012	0,001	0,001	0,087	0,013	0,020	-	-	-	-	-
DeG8b	0,019	0,016	0,004	0,033	0,015	0,080	-	-	-	-	-
BaVpřSt	0,045	0,090	0,101	0,110	0,095	0,075	0,095	0,075	0,082	0,080	0,078
BaVpřZe	0,069	0,090	0,110	0,088	0,135	0,124	0,154	0,108	0,198	0,104	0,109
BaVzSt	0,173	0,109	0,064	0,134	0,154	0,149	0,079	0,087	0,085	0,104	0,083
BaVzZe	0,096	0,073	0,075	0,090	0,111	0,084	0,160	0,201	0,185	0,220	0,073
volná voda	0,001	0,000	0,004	0,019	0,019	0,057	0,016	0,006	0,005	0,001	0,015

Příloha 2: Průměr, medián a Pearsonův korelační koeficient bodů vzorkování na Teplé Vltavě v roce 2021.

	<b>průměr</b>	<b>medián</b>	<b>korelační koeficient</b>
<b>SoC3z</b>	0,022	0,022	0,06489238
<b>SoC3b</b>	0,017	0,015	0,160436081
<b>SoC8z</b>	0,044	0,032	-0,029499021
<b>SoC8b</b>	0,025	0,017	0,208059524
<b>SoG3z</b>	-	-	-
<b>SoG3b</b>	0,014	0,006	0,881324291
<b>SoG8z</b>	-	-	-
<b>SoG8b</b>	0,013	0,004	0,313360593
<b>DeC3z</b>	0,021	0,013	0,968274827
<b>DeC3b</b>	0,020	0,014	0,23538579
<b>DeC8z</b>	0,038	0,036	-0,277895766
<b>DeC8b</b>	0,023	0,021	0,777670752
<b>DeG3z</b>	0,018	0,017	0,300086947
<b>DeG3b</b>	0,016	0,014	0,341682795
<b>DeG8z</b>	0,022	0,013	0,232247779
<b>DeG8b</b>	0,028	0,017	0,926977989
<b>BaVpřSt</b>	0,084	0,082	0,07294905
<b>BaVpřZe</b>	0,117	0,109	0,151254551
<b>BaVzSt</b>	0,111	0,104	0,356229191
<b>BaVzZe</b>	0,124	0,096	-0,307490884
<b>volná voda</b>	0,013	0,006	-

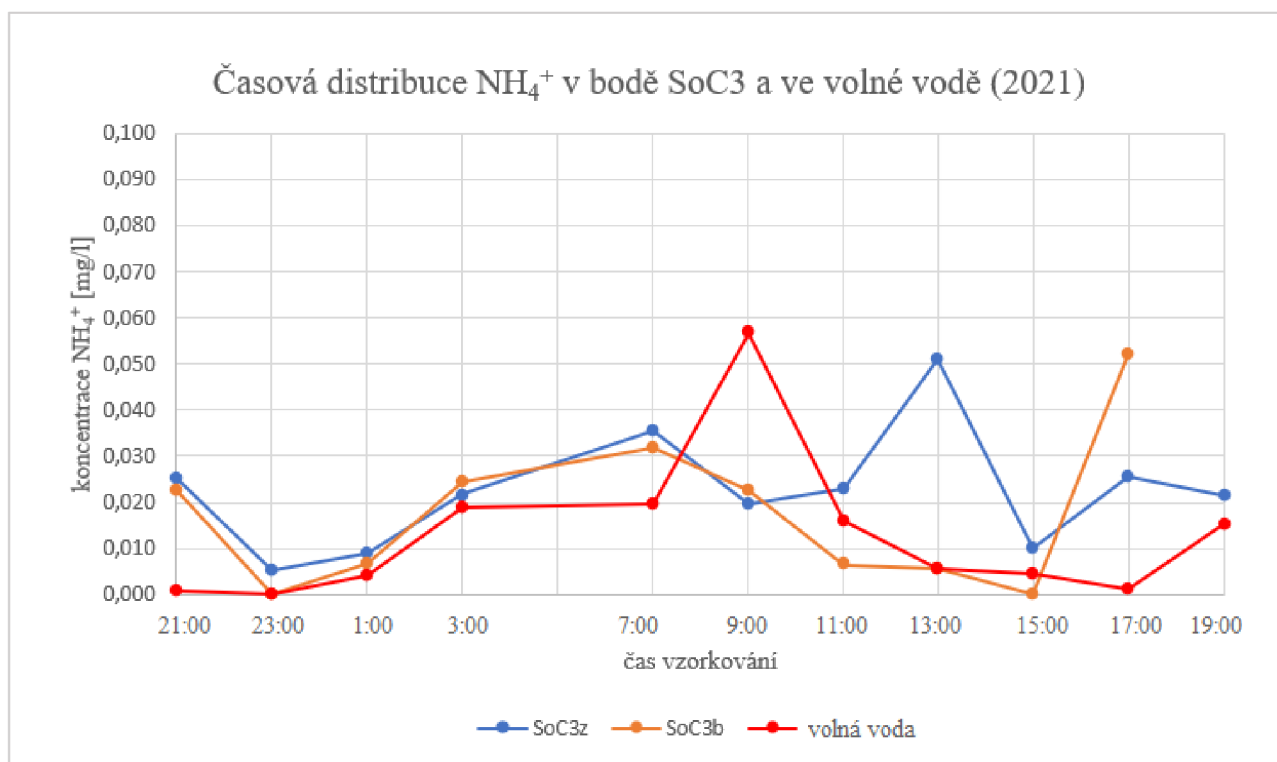
Příloha 3: Koncentrace NH<sub>4</sub><sup>+</sup> v bodech vzorkování na Teplé Vltavě v roce 2022.

měření/čas	1./20:00	2./1:00	3./6:00	4./9:00	5./10:00	6./11:00	7./12:00	8./13:00	9./17:00
<b>A-horní</b>	0,069	0,089	0,081	0,048	0,061	0,020	0,109	0,014	0,000
<b>A-spod</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>B-hor</b>	0,071	0,040	0,077	0,051	0,147	0,015	0,100	0,088	0,000
<b>B-spod</b>	0,199	0,171	0,262	0,168	0,180	0,077	0,209	0,115	0,000
<b>C-hor</b>	0,179	0,130	0,147	0,114	0,218	0,078	0,211	0,107	0,057
<b>C-spod</b>	0,156	0,207	0,195	0,202	0,327	0,208	0,298	0,276	0,202
<b>D-hor</b>	0,069	0,067	0,146	0,147	0,201	0,100	0,220	0,135	0,012
<b>D-spod</b>	0,144	0,177	0,175	0,124	0,212	0,127	0,186	0,117	0,023
<b>E-hor</b>	0,109	0,065	0,129	0,095	0,147	0,011	0,128	0,032	0,065
<b>E-spod</b>	0,186	0,146	0,238	0,228	0,280	0,141	0,203	0,173	0,106
<b>F-hor</b>	0,061	0,054	0,108	0,119	0,193	0,030	0,143	0,066	0,000
<b>F-spod</b>	0,087	-	0,381	-	-	-	-	-	-
<b>G-hor</b>	0,055	-	0,138	0,071	0,118	0,118	0,122	0,029	0,183
<b>G-spod</b>	0,142	0,076	0,248	0,015	0,129	0,074	0,087	0,036	0,000
<b>H-hor</b>	0,079	0,072	0,117	0,028	0,162	0,039	0,134	0,040	-
<b>H-spod</b>	0,036	0,009	0,088	0,027	0,129	0,010	0,167	0,040	0,000
<b>J-hor</b>	0,060	0,071	0,102	0,064	0,141	0,025	0,098	0,053	0,022
<b>J-spod</b>	0,089	0,155	0,185	0,066	0,204	0,395	0,159	0,109	0,034
<b>K-hor</b>	0,378	0,301	0,184	0,244	0,340	0,163	0,324	0,227	0,198
<b>K-spod</b>	0,171	0,185	0,202	0,195	0,237	0,071	0,189	0,102	0,094
<b>L-hor</b>	0,466	0,394	0,492	0,402	0,430	0,435	0,455	0,433	0,408
<b>L-spod</b>	0,214	0,178	0,227	0,206	0,315	0,172	0,276	0,181	0,162
<b>M-hor</b>	0,081	0,112	0,105	0,104	0,190	0,044	0,152	0,103	0,080
<b>M-spod</b>	0,047	0,050	0,041	0,051	0,130	0,017	0,136	0,017	0,043
<b>N-spod</b>	0,699	0,705	0,818	0,968	0,889	0,761	0,795	0,758	0,982
<b>volná voda 1</b>	0,008	0,059	0,099	0,055	0,114	0,011	0,137	0,054	0,000
<b>volná voda 2</b>	-	0,017	0,101	0,052	0,119	0,009	0,110	0,030	0,109
<b>volná voda 3</b>	0,052	0,041	0,052	0,000	0,168	0,004	0,134	0,043	0,002
<b>volná voda 4</b>	0,080	0,037	0,031	0,047	0,153	0,017	0,120	0,028	0,000

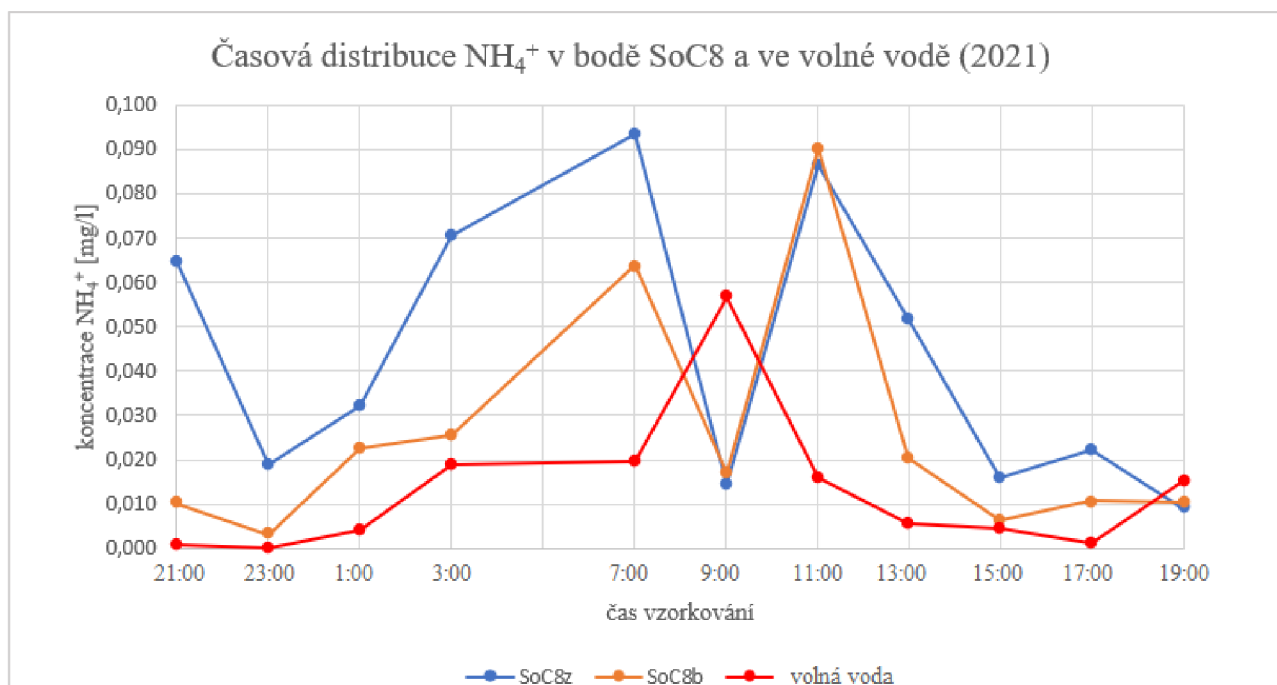
Příloha 4: Průměr, medián a Pearsonův korelační koeficient bodů vzorkování na Teplé Vltavě v roce 2022.

	<b>průměr</b>	<b>medián</b>	<b>korelační koeficient</b>
<b>A-horní</b>	0,055	0,061	0,69853781
<b>A-spod</b>			-
<b>B-hor</b>	0,065	0,071	0,898389356
<b>B-spod</b>	0,154	0,171	0,690893917
<b>C-hor</b>	0,138	0,130	0,934101038
<b>C-spod</b>	0,230	0,207	0,682346372
<b>D-hor</b>	0,122	0,135	0,860185226
<b>D-spod</b>	0,143	0,144	0,799080351
<b>E-hor</b>	0,087	0,095	0,830680501
<b>E-spod</b>	0,189	0,186	0,820158217
<b>F-hor</b>	0,086	0,066	0,938564034
<b>F-spod</b>	0,234	0,234	1
<b>G-hor</b>	0,104	0,118	-0,004334022
<b>G-spod</b>	0,090	0,076	0,461001524
<b>H-hor</b>	0,084	0,076	0,908605965
<b>H-spod</b>	0,056	0,036	0,946835298
<b>J-hor</b>	0,071	0,064	0,937054554
<b>J-spod</b>	0,155	0,155	0,054268867
<b>K-hor</b>	0,262	0,244	0,590475411
<b>K-spod</b>	0,161	0,185	0,801845014
<b>L-hor</b>	0,435	0,433	0,371360544
<b>L-spod</b>	0,214	0,206	0,975027022
<b>M-hor</b>	0,108	0,104	0,901519439
<b>M-spod</b>	0,059	0,047	0,889881445
<b>N-spod</b>	0,819	0,795	0,006960289
<b>Volná voda 1</b>	0,060	0,055	-
<b>Volná voda 2</b>	0,068	0,077	-
<b>Volná voda 3</b>	0,055	0,043	-
<b>Volná voda 4</b>	0,057	0,037	-

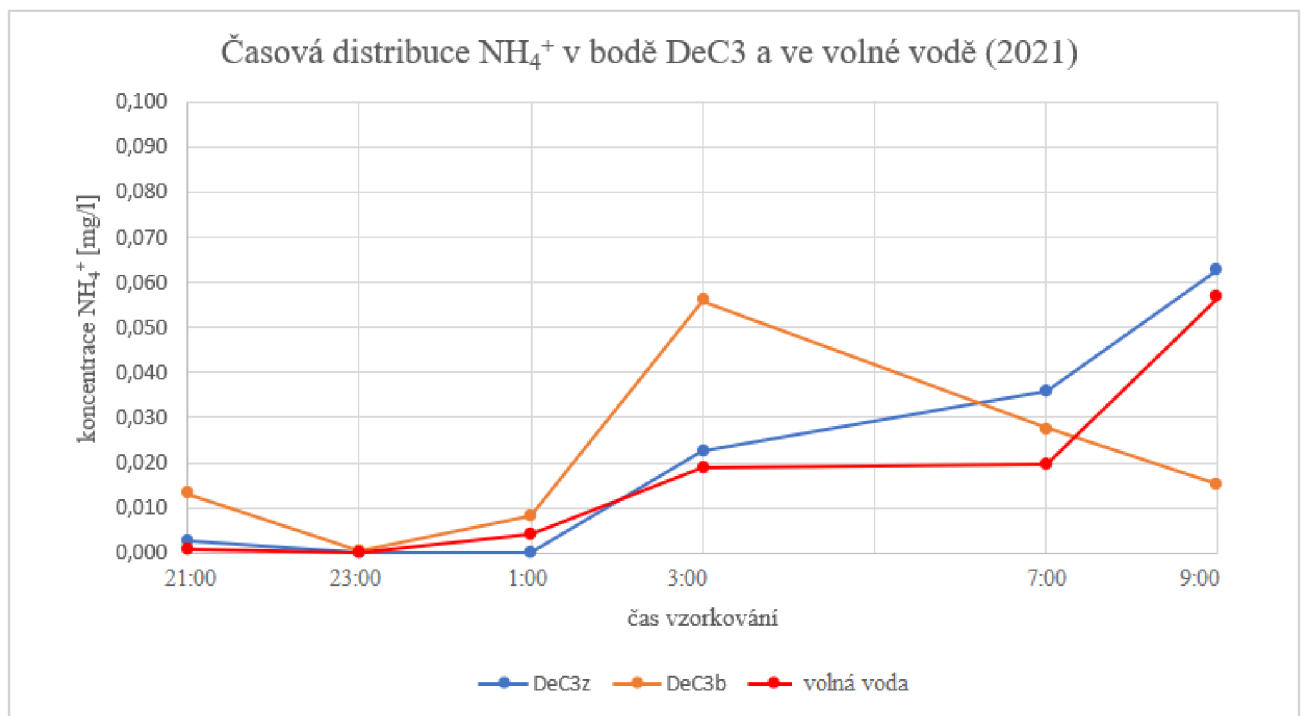
Příloha 5: Časová distribuce  $\text{NH}_4^+$  v bodě SoC3 a ve volné vodě v roce 2021.



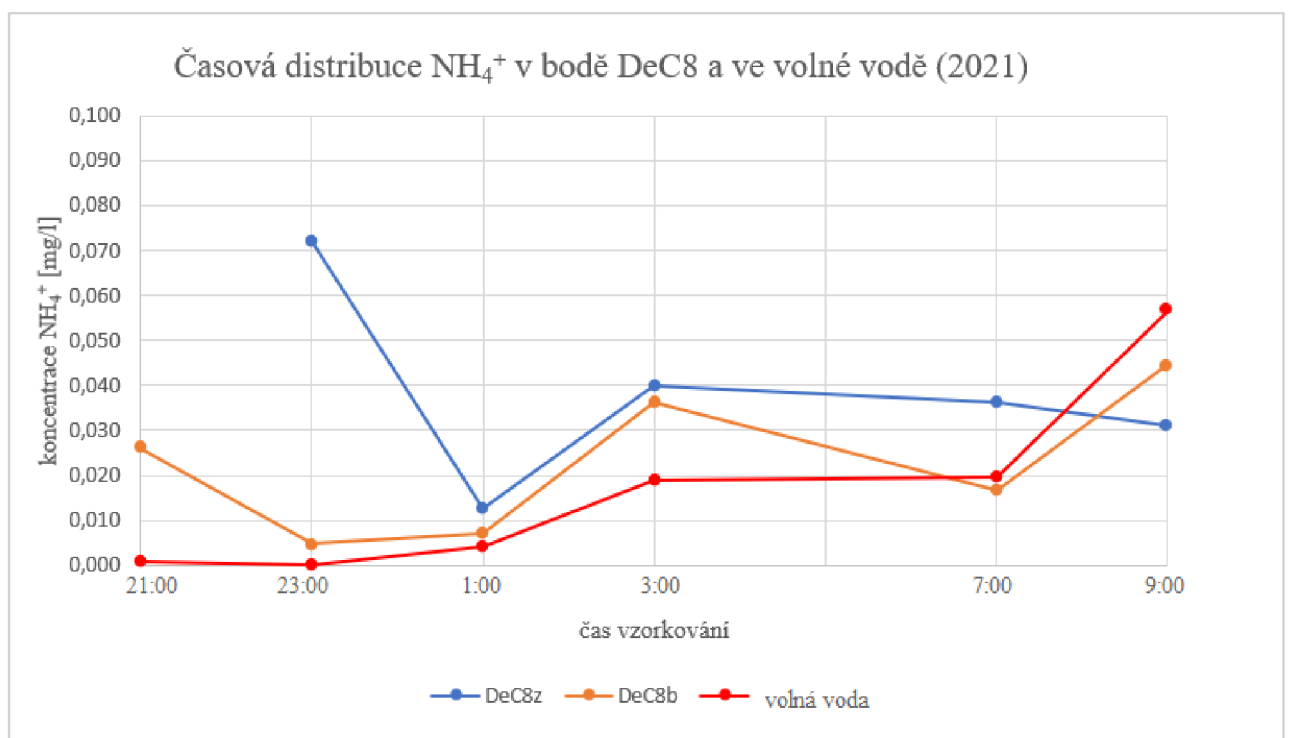
Příloha 6: Časová distribuce  $\text{NH}_4^+$  v bodě SoC8 a ve volné vodě v roce 2021.



Příloha 7: Časová distribuce  $\text{NH}_4^+$  v bodě DeC3 a ve volné vodě v roce 2021.

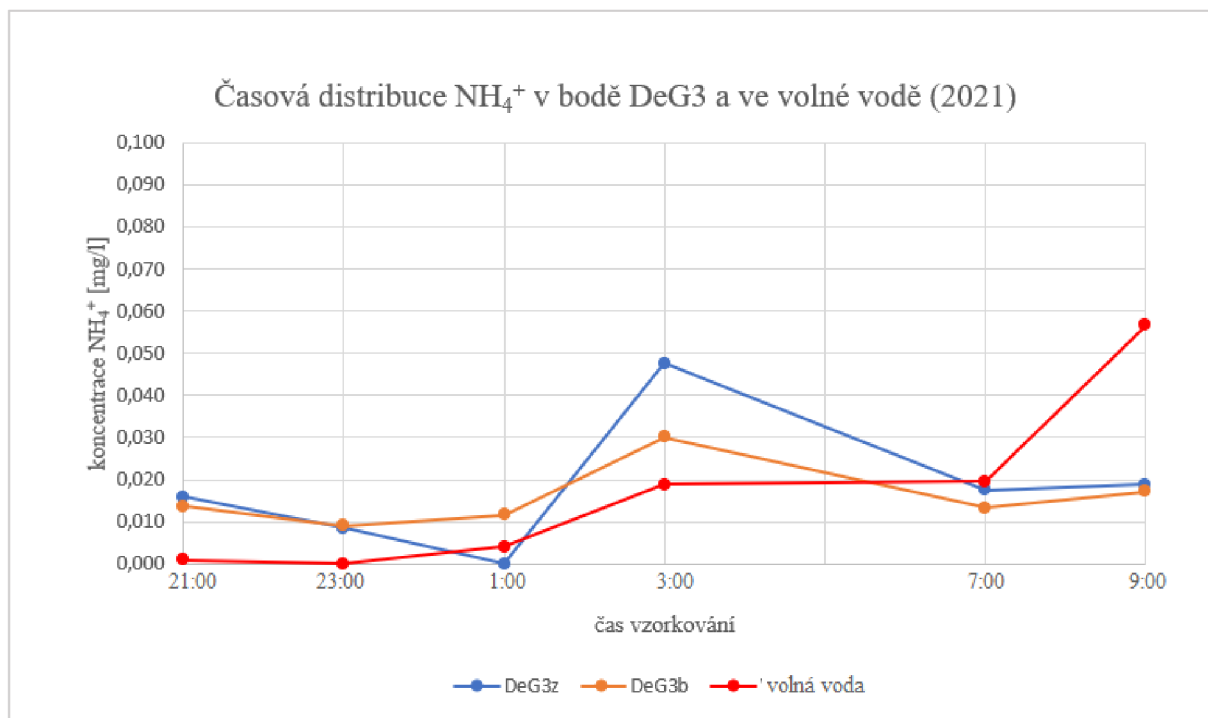


Příloha 8: Časová distribuce  $\text{NH}_4^+$  v bodě DeC8 a ve volné vodě v roce 2021.

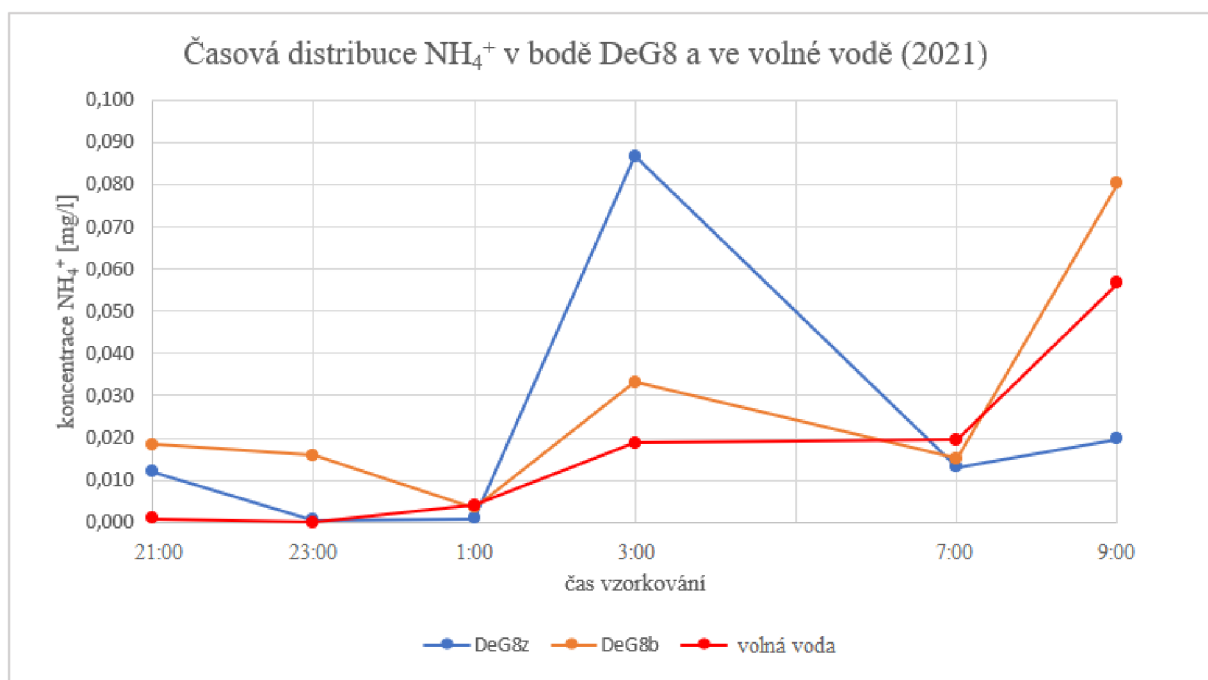




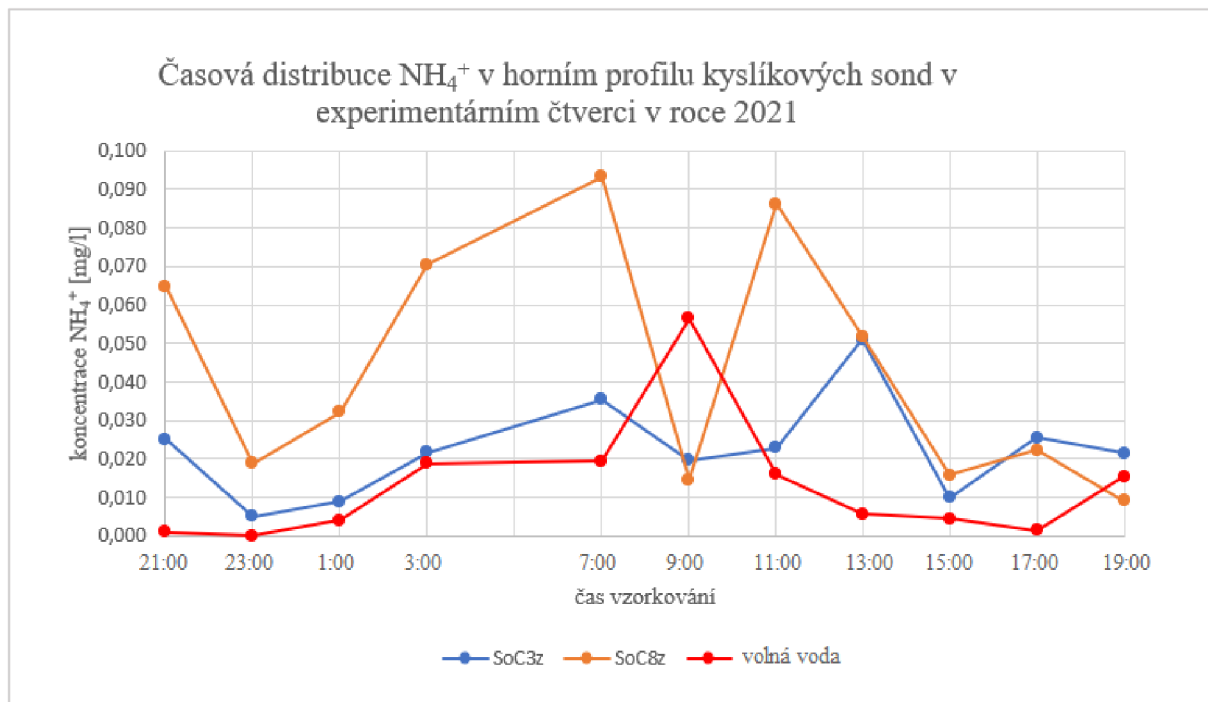
Příloha 9: Časová distribuce  $\text{NH}_4^+$  v bodě DeG3 a ve volné vodě v roce 2021.



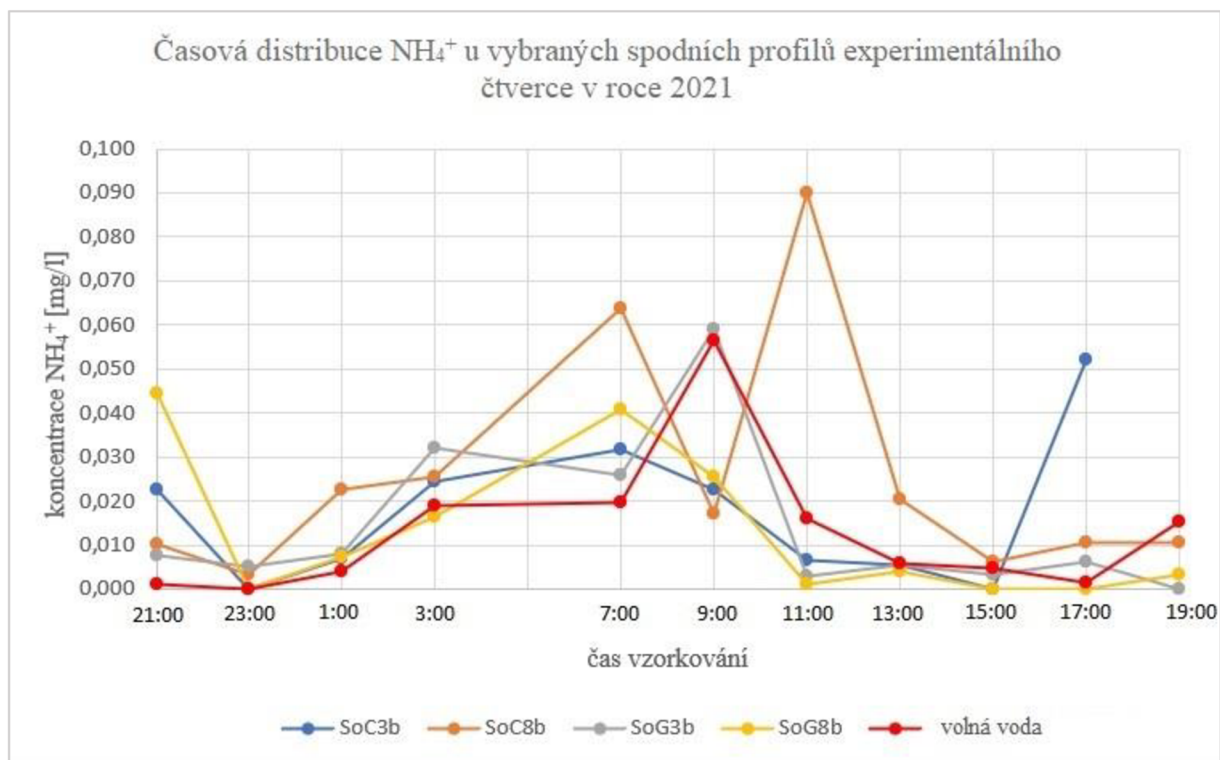
Příloha 10: Časová distribuce  $\text{NH}_4^+$  v bodě DeG8 a ve volné vodě v roce 2021.



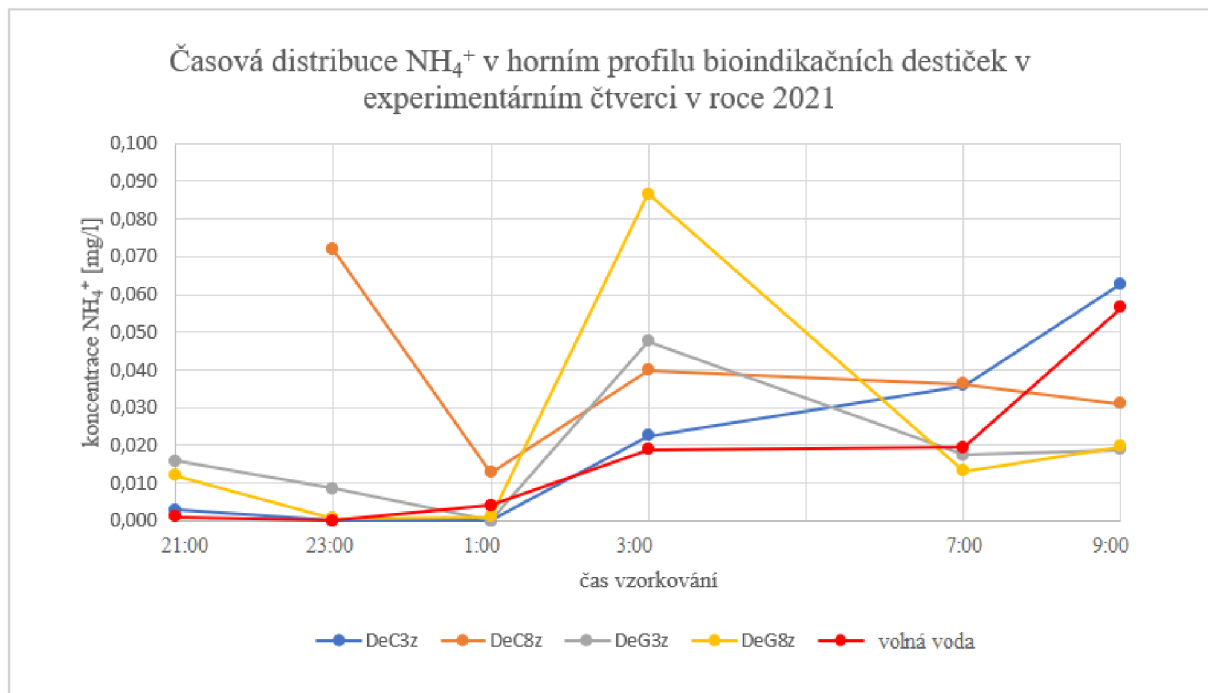
Příloha 11: Časová distribuce  $\text{NH}_4^+$  v horním profilu kyslíkových sond v experimentálním čtverci v roce 2021.



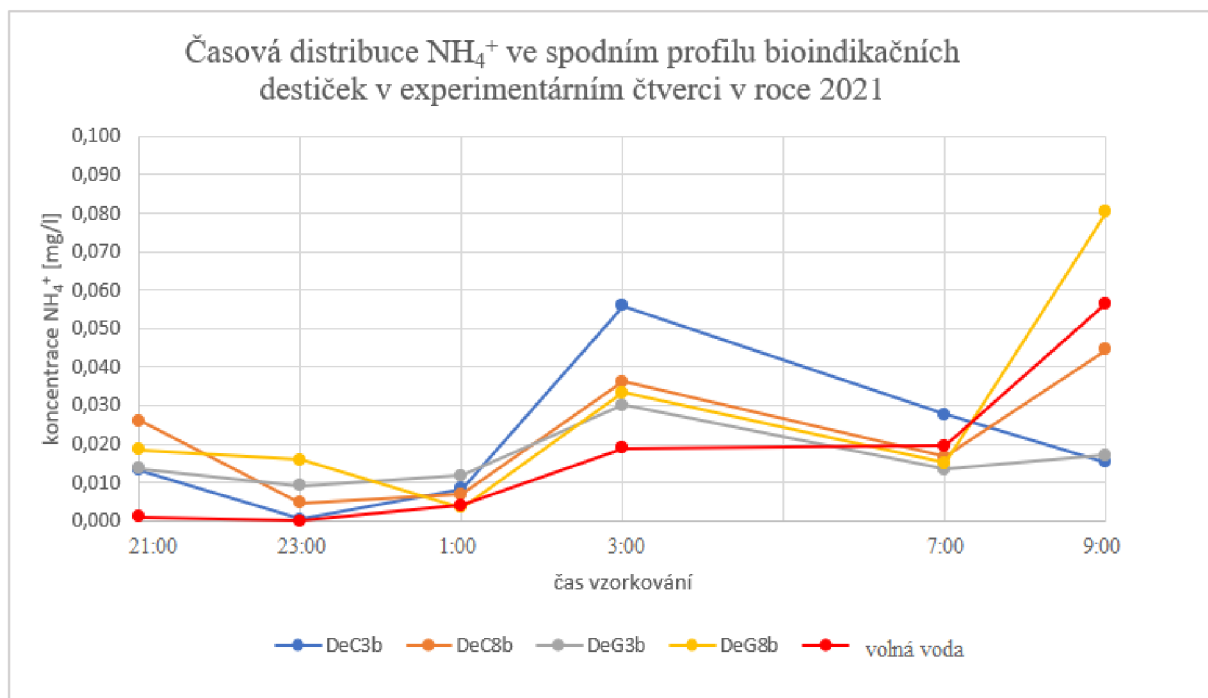
Příloha 12: Graf časové distribuce  $\text{NH}_4^+$  u vybraných spodních profilů v experimentálním čtverci v roce 2021.



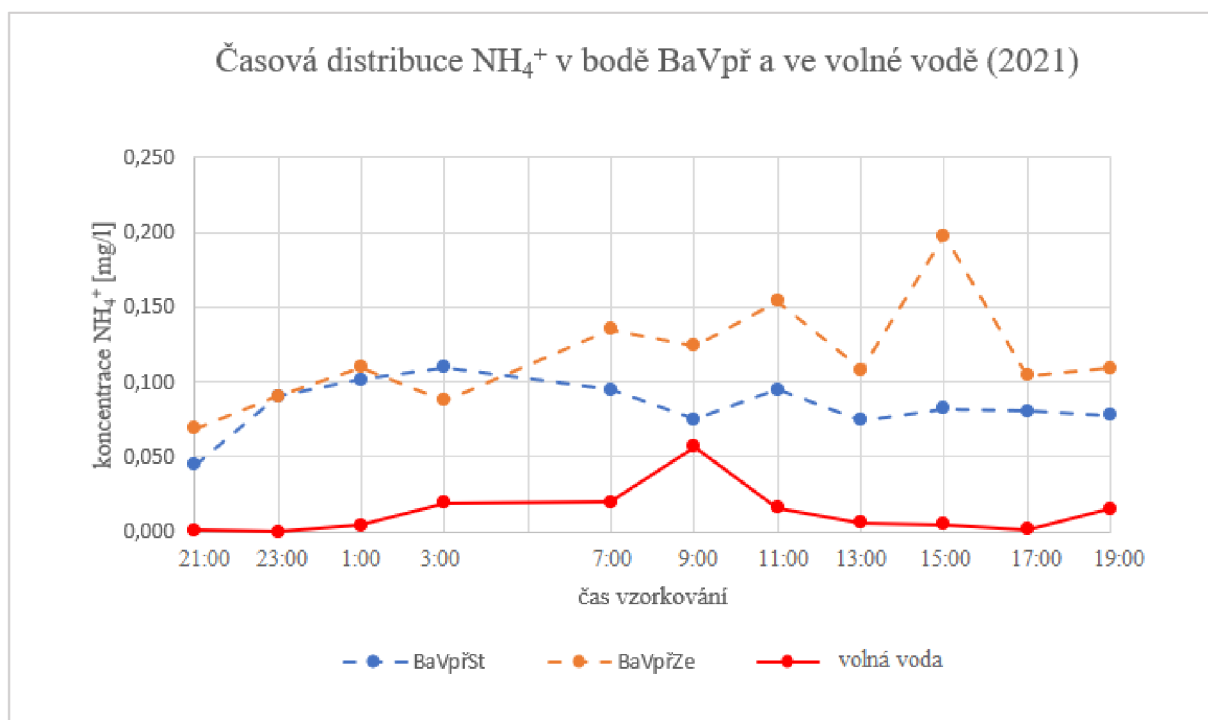
Příloha 13: Časová distribuce  $\text{NH}_4^+$  v horním profilu bioindikačních destiček v experimentálním čtverci v roce 2021.



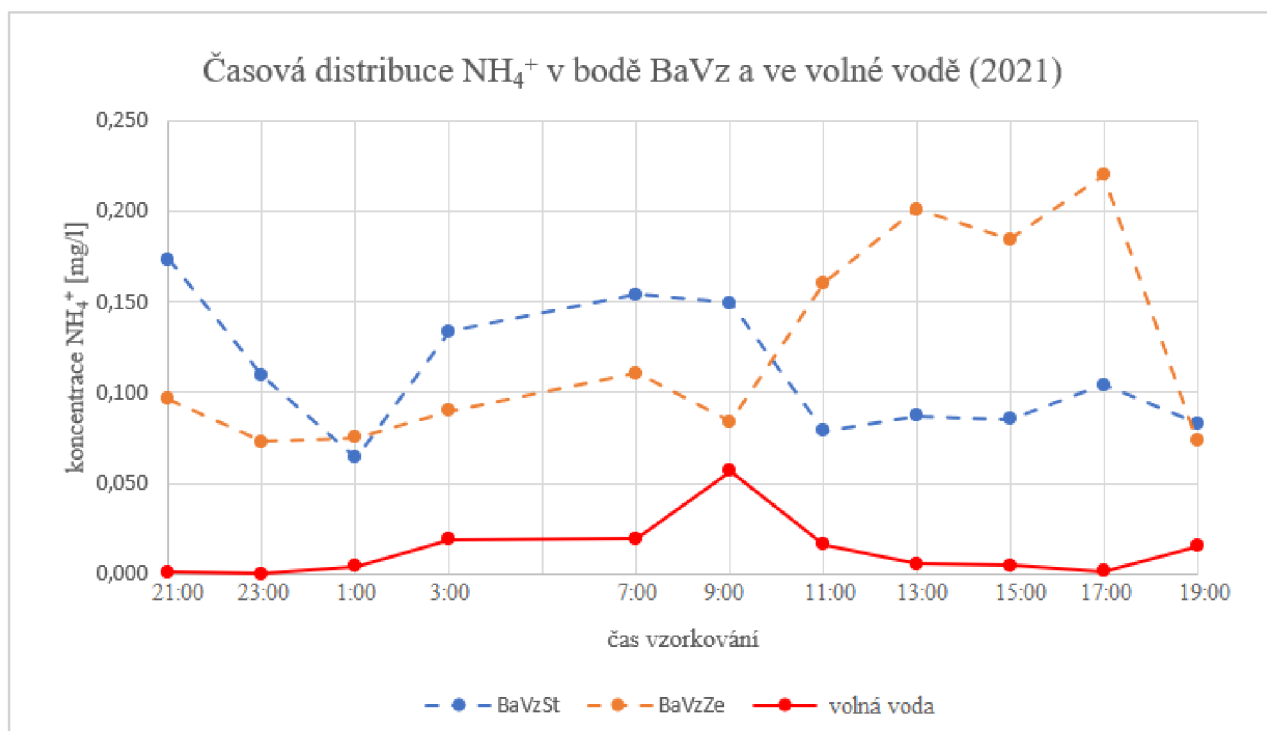
Příloha 14: Časová distribuce  $\text{NH}_4^+$  ve spodním profilu bioindikačních destiček v experimentálním čtverci v roce 2021.



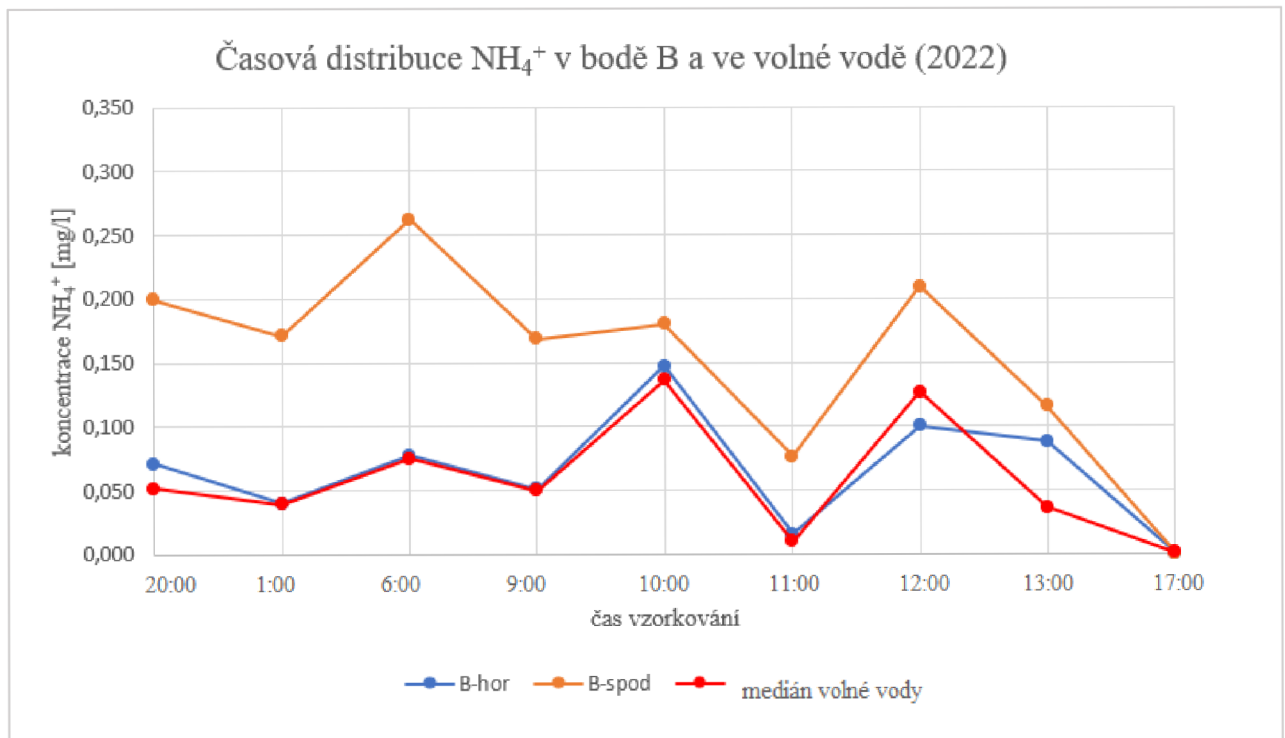
Příloha 15: Časová distribuce  $\text{NH}_4^+$  v bodě BaVpř a ve volné vodě v roce 2021.



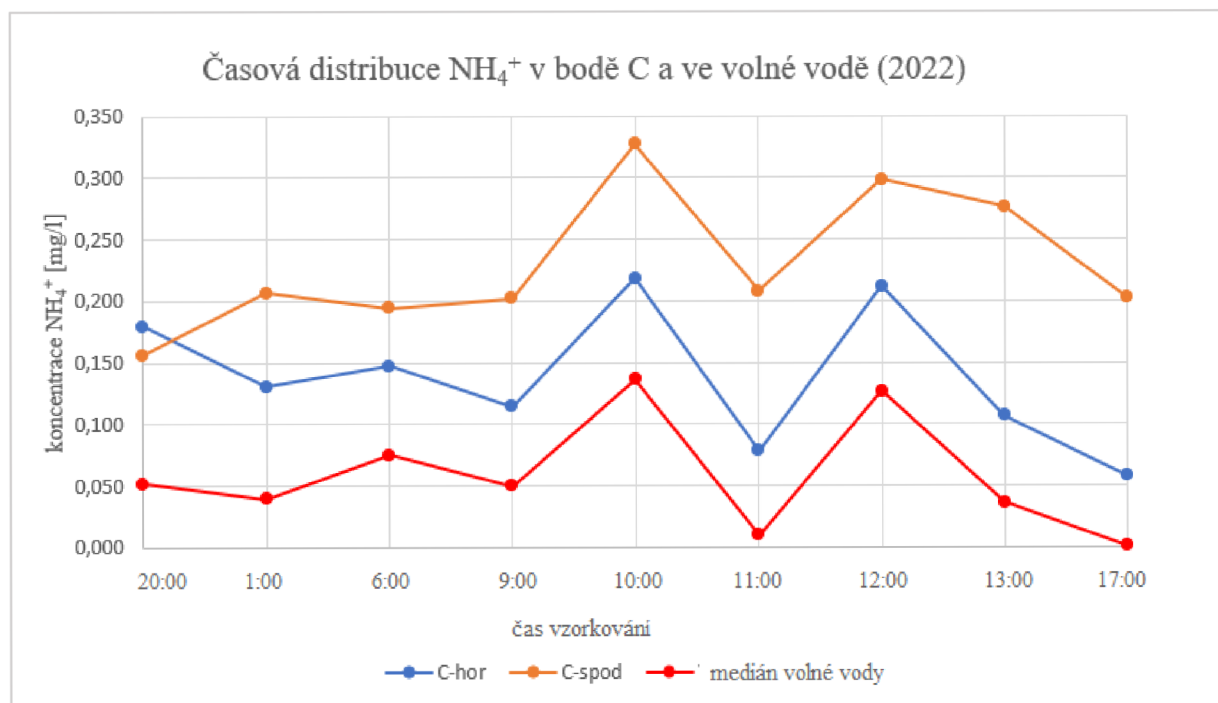
Příloha 16: Časová distribuce  $\text{NH}_4^+$  v bodě BaVz a ve volné vodě v roce 2021



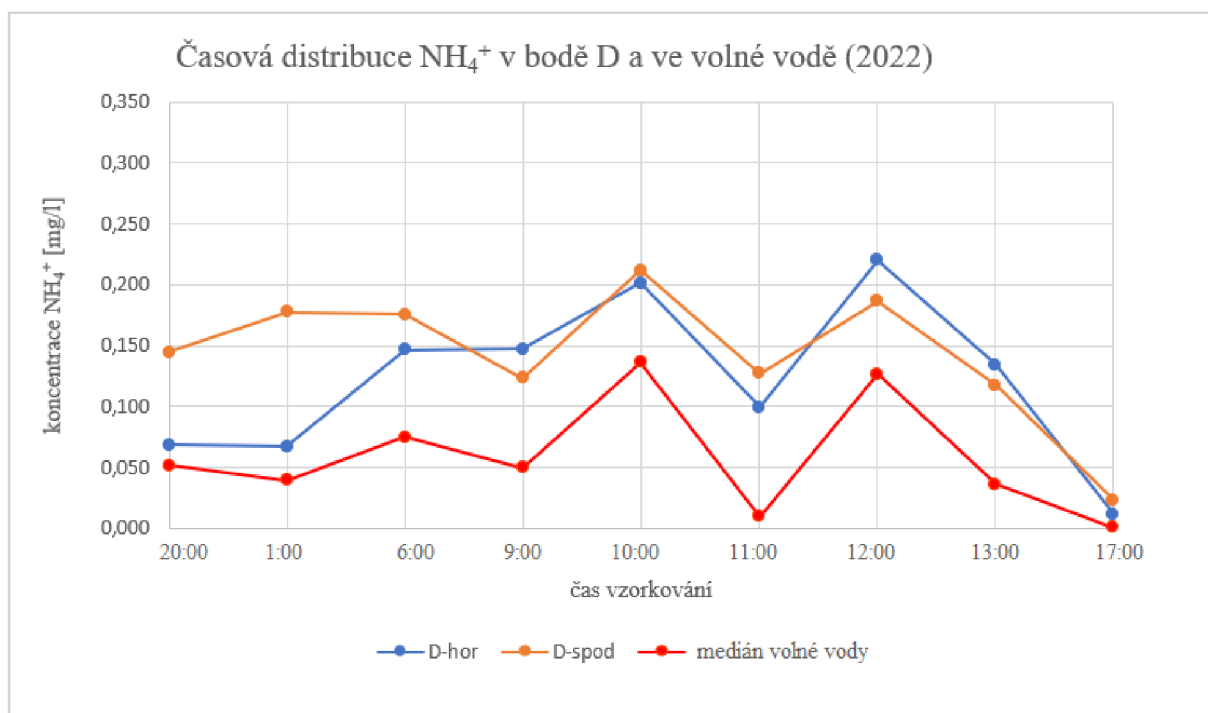
Příloha 17: Časová distribuce  $\text{NH}_4^+$  v bodě B a ve volné vodě v roce 2022.



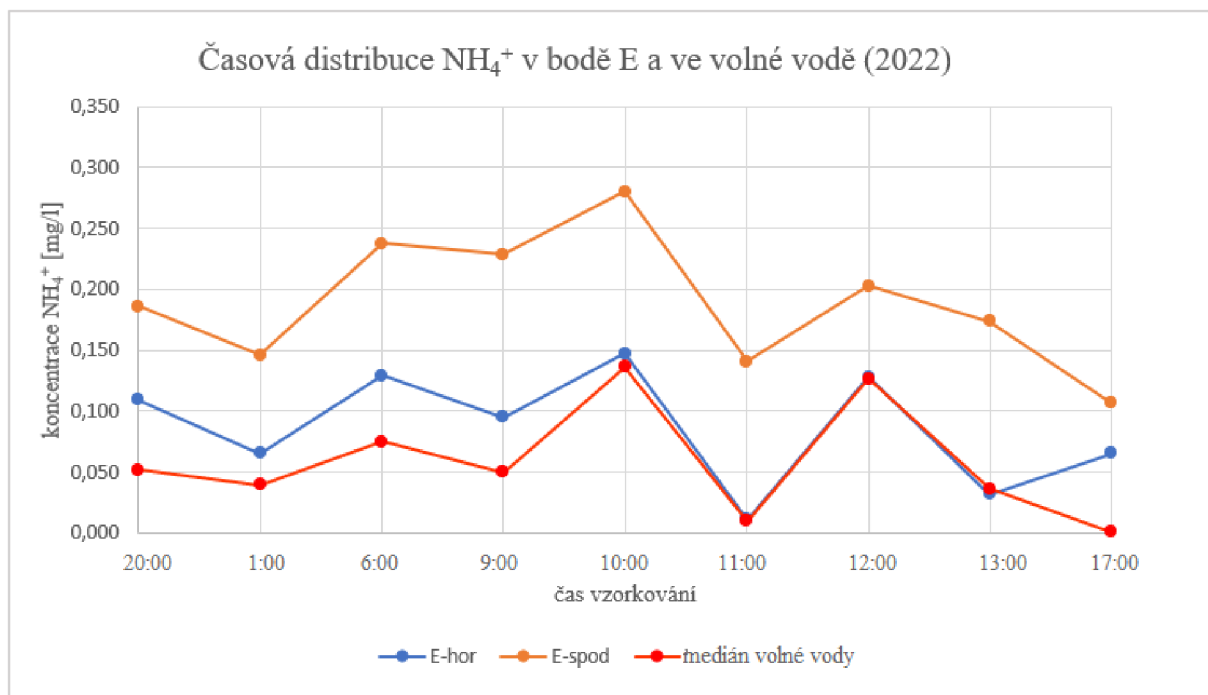
Příloha 18: Časová distribuce  $\text{NH}_4^+$  v bodě C a ve volné vodě v roce 2022.



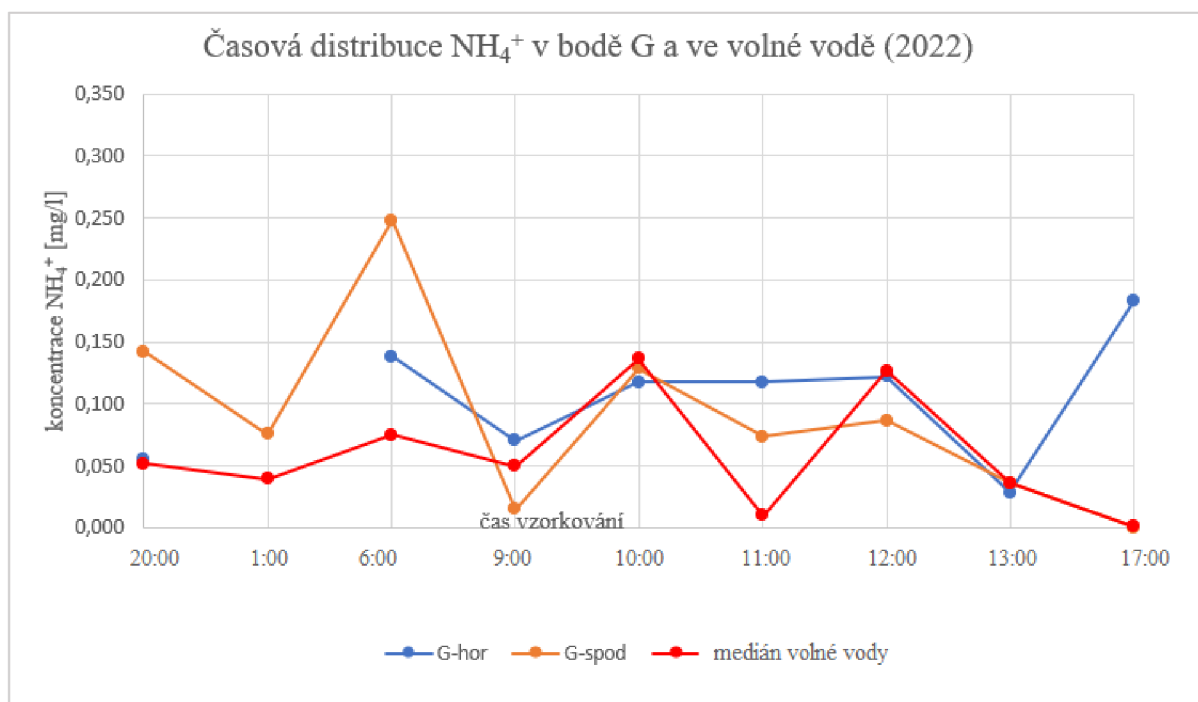
Příloha 19: Časová distribuce  $\text{NH}_4^+$  v bodě D a ve volné vodě v roce 2022.



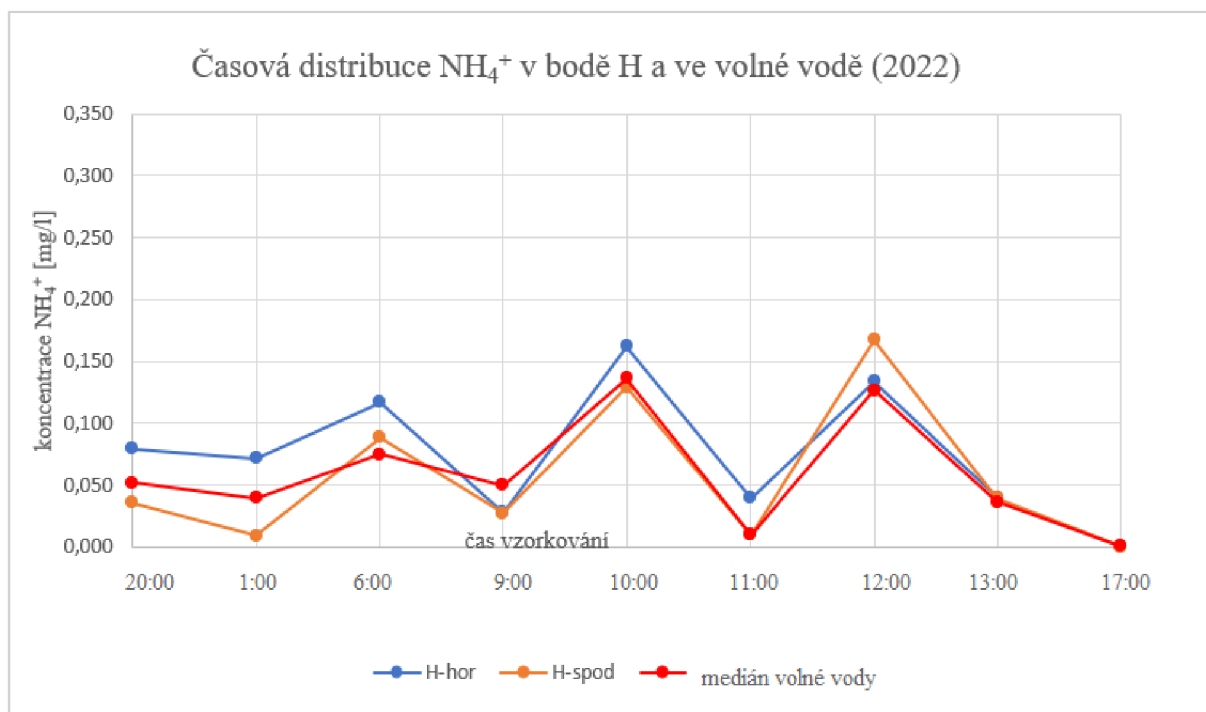
Příloha 20: Časová distribuce  $\text{NH}_4^+$  v bodě E a ve volné vodě v roce 2022.



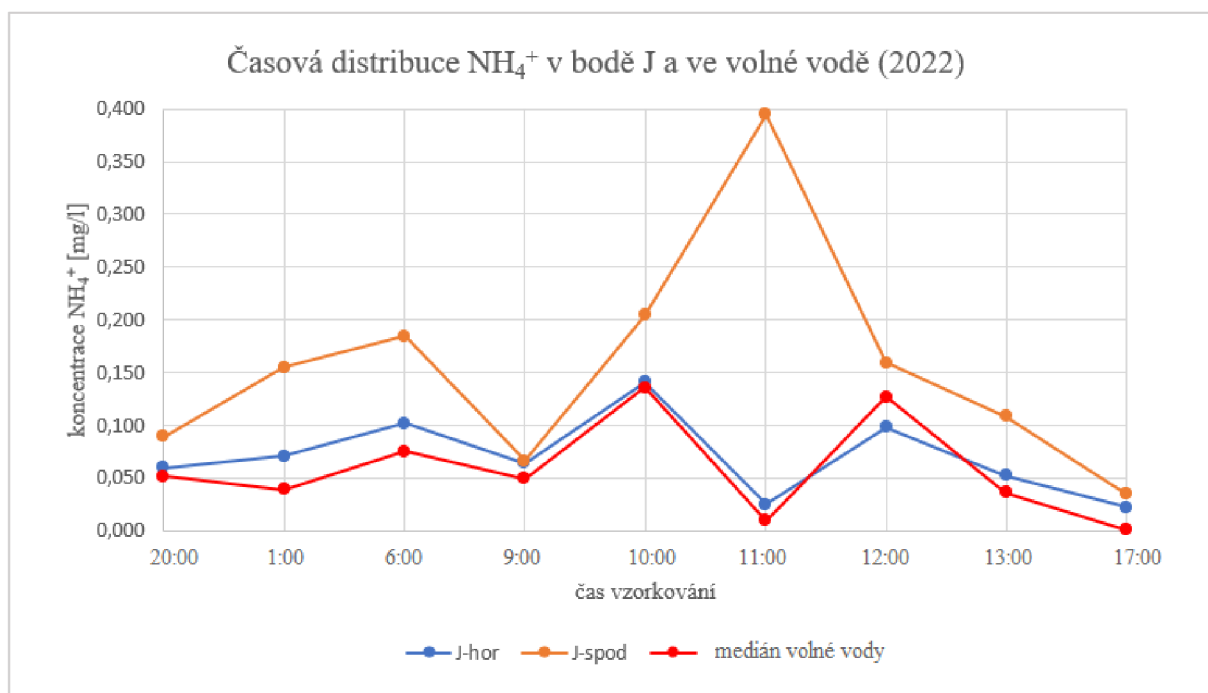
Příloha 21: Časová distribuce  $\text{NH}_4^+$  v bodě G a ve volné vodě v roce 2022.



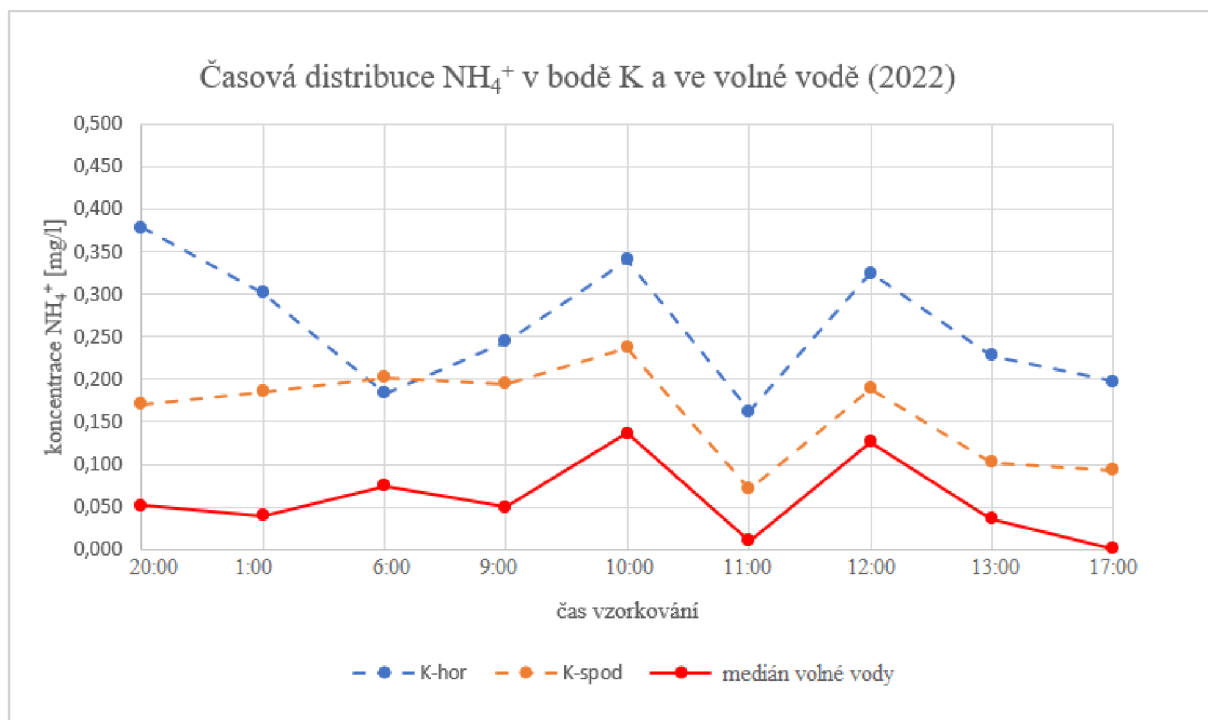
Příloha 22: Časová distribuce  $\text{NH}_4^+$  v bodě H a ve volné vodě v roce 2022.



Příloha 23: Časová distribuce  $\text{NH}_4^+$  v bodě J a ve volné vodě v roce 2022.

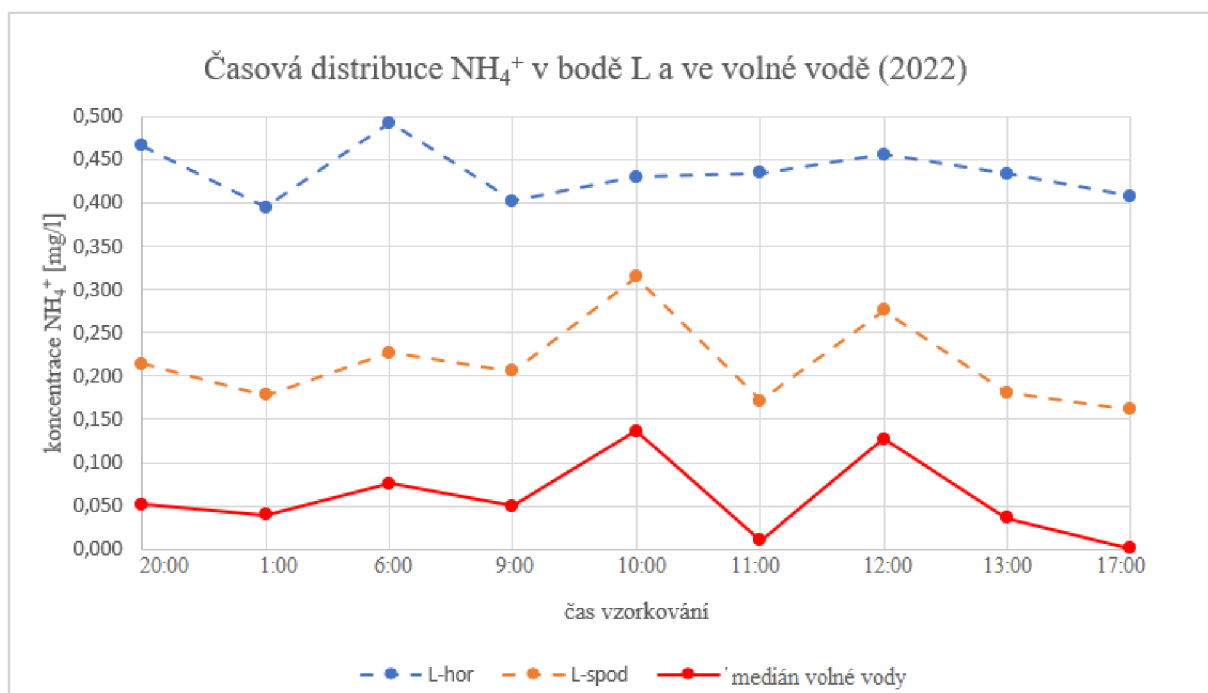


Příloha 24: Časová distribuce  $\text{NH}_4^+$  v bodě K a ve volné vodě v roce 2022.

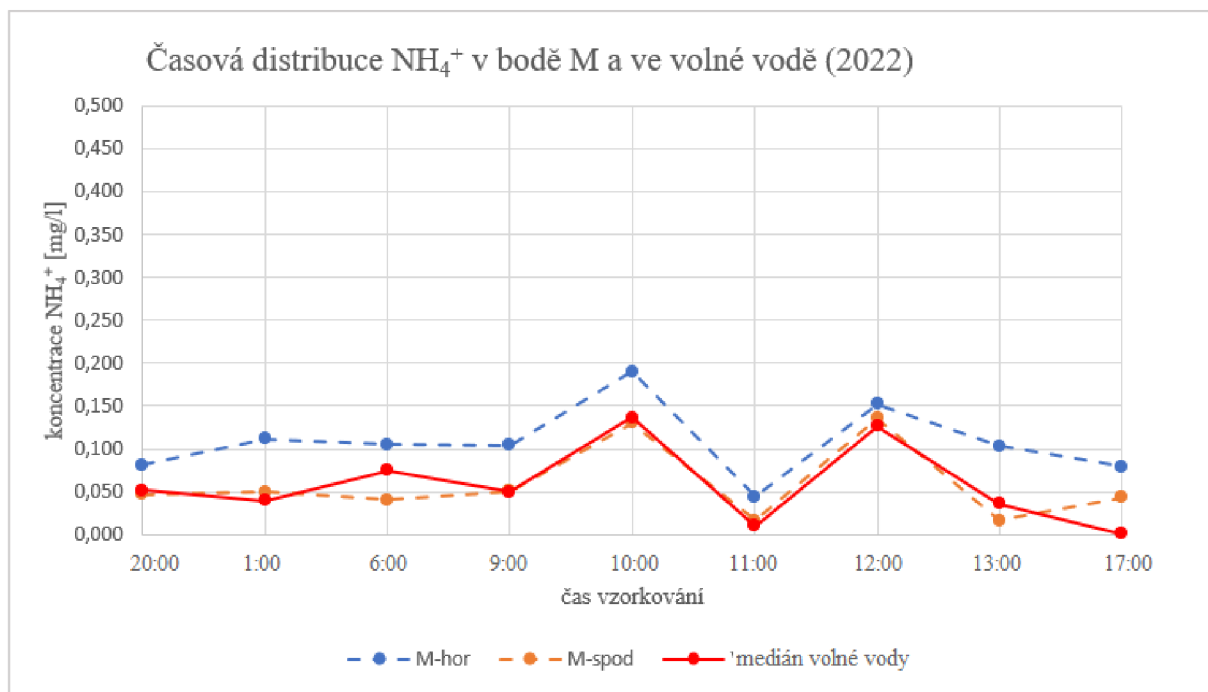




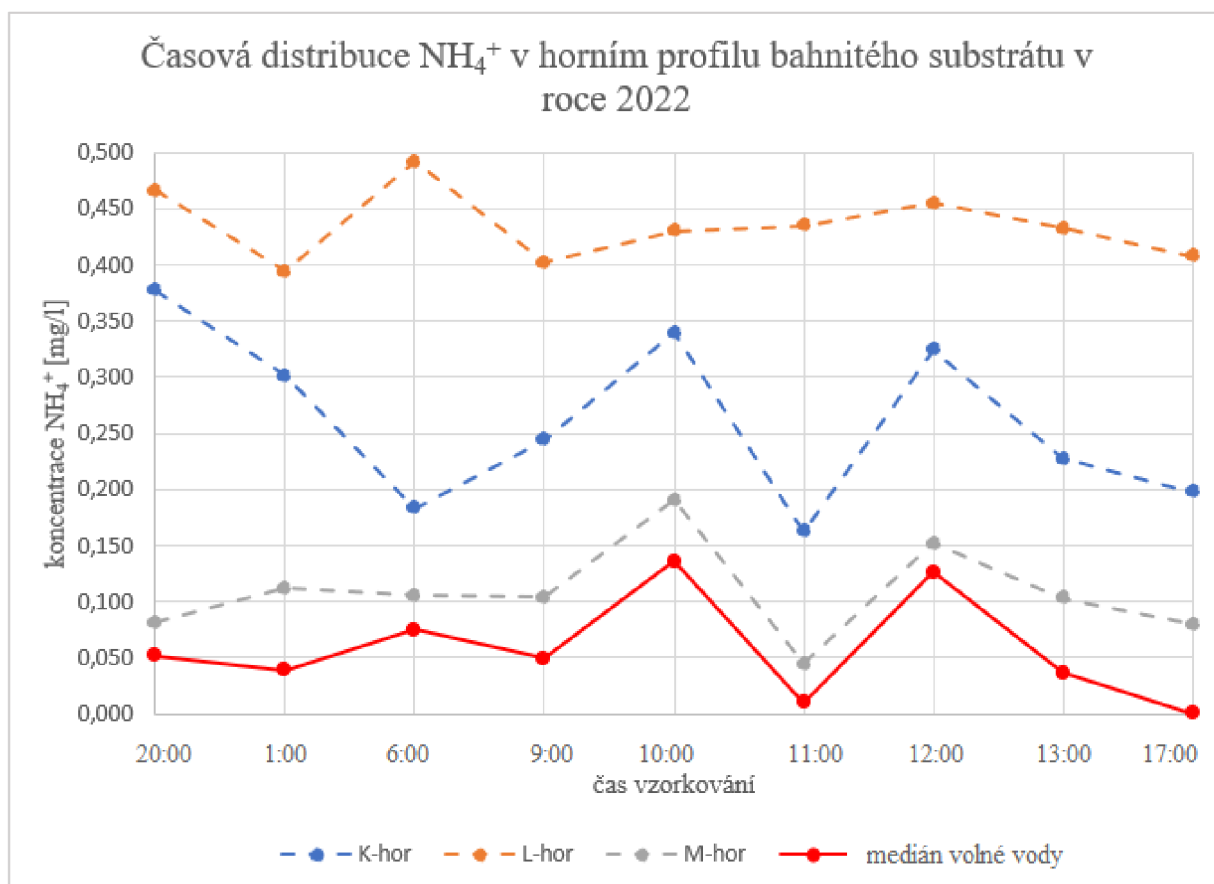
Příloha 25: Časová distribuce  $\text{NH}_4^+$  v bodě L a ve volné vodě v roce 2022.



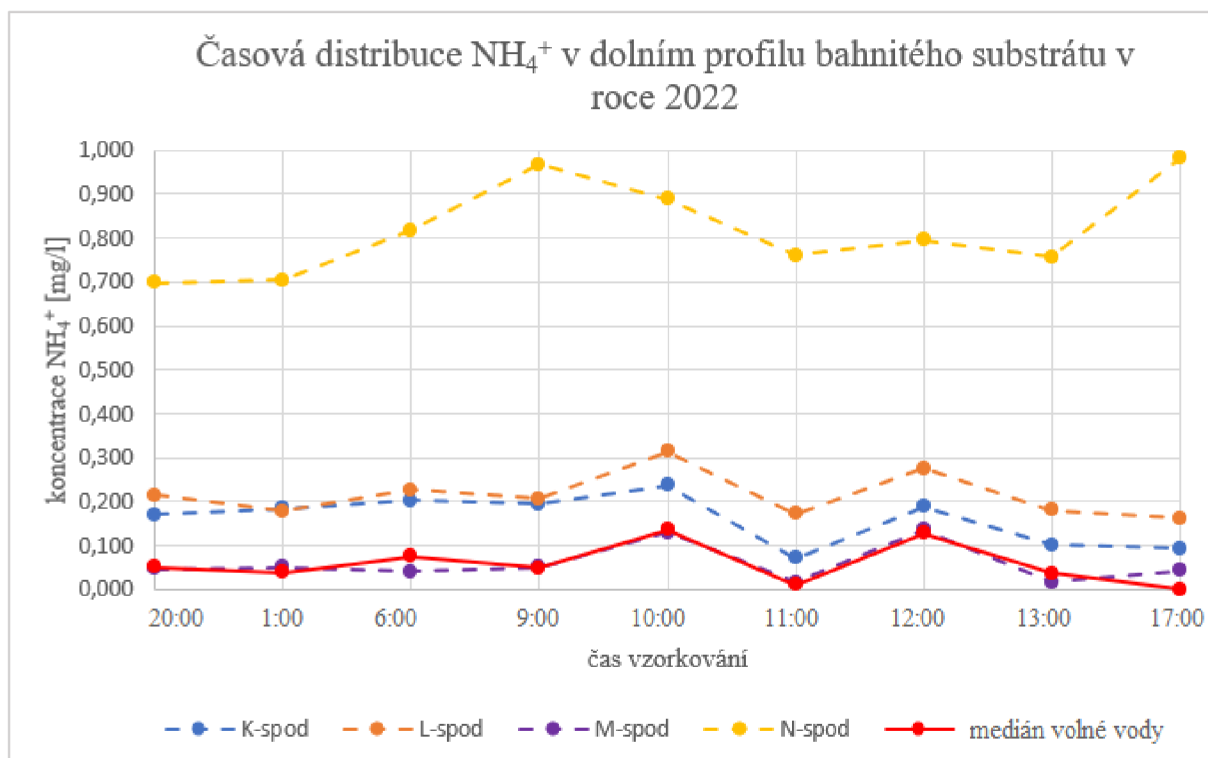
Příloha 26: Časová distribuce  $\text{NH}_4^+$  v bodě M a ve volné vodě v roce 2022.



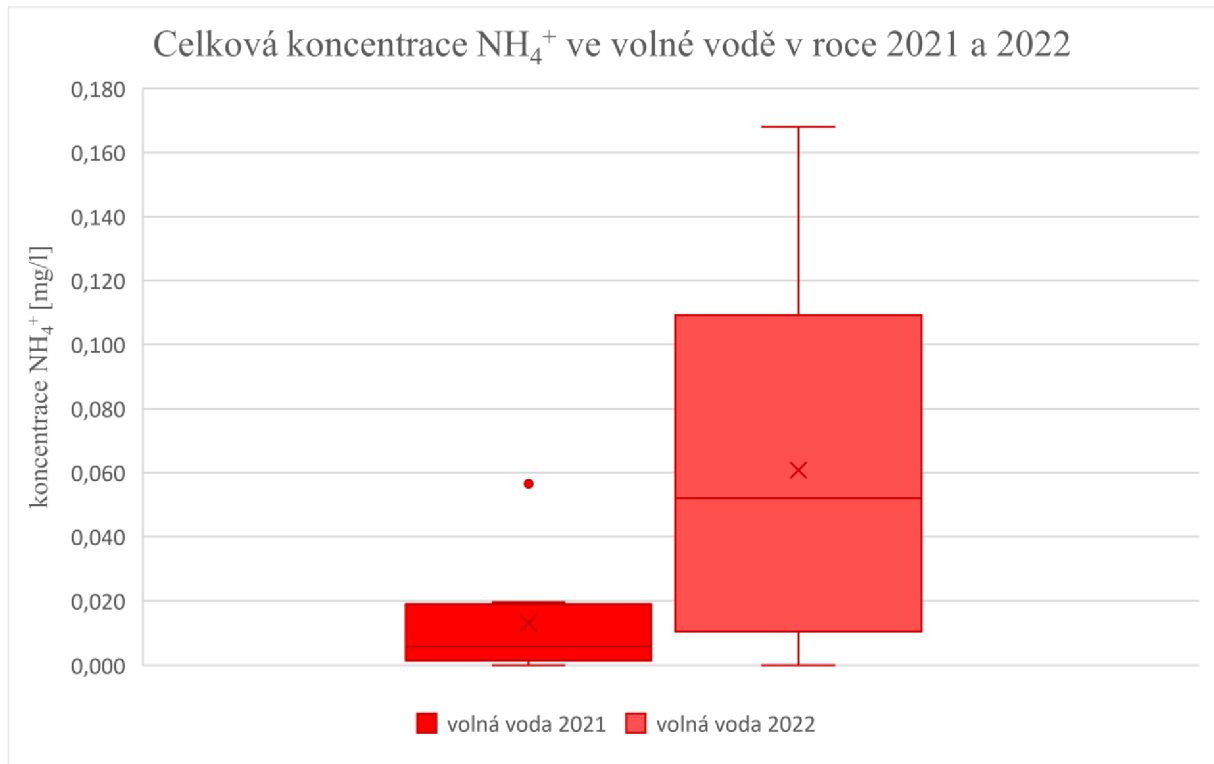
Příloha 27: Časová distribuce  $\text{NH}_4^+$  v horním profilu bahnitého substrátu a ve volné vodě v roce 2022.



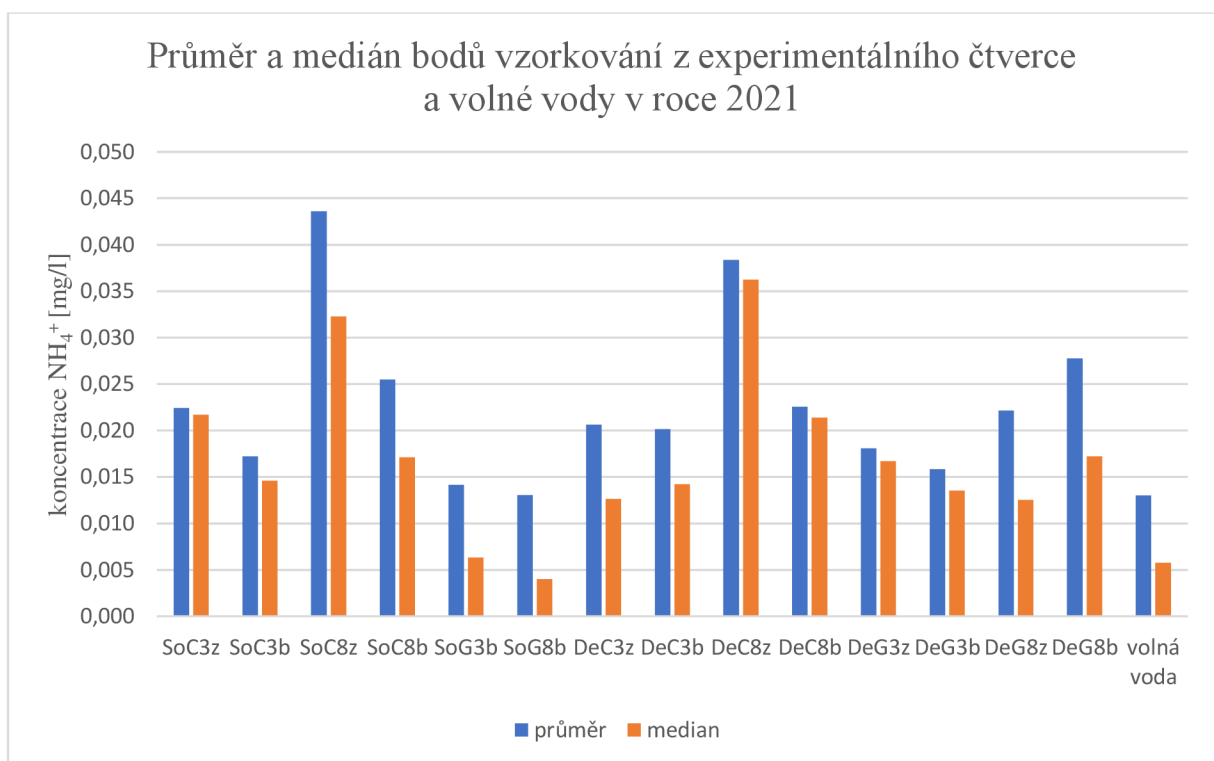
Příloha 28: Časová distribuce  $\text{NH}_4^+$  ve spodním profilu bahnitého substrátu a ve volné vodě v roce 2022.



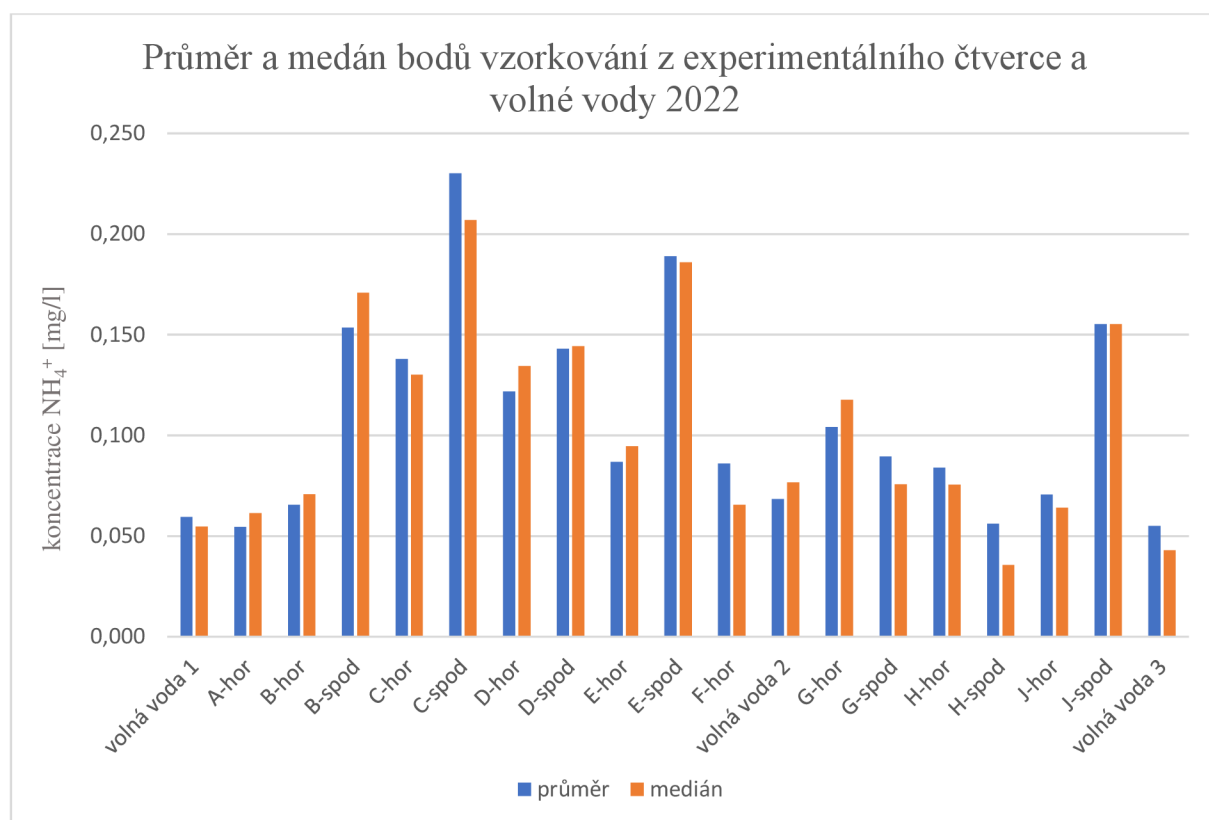
Příloha 29: Celková koncentrace  $\text{NH}_4^+$  ve volné vodě v roce 2021 a 2022. V grafu jsou zobrazeny průměry, mediány a odlehlé hodnoty.



Příloha 30: Průměr a medián bodů odběru vzorků z experimentálního čtverce a volné vody v roce 2021.



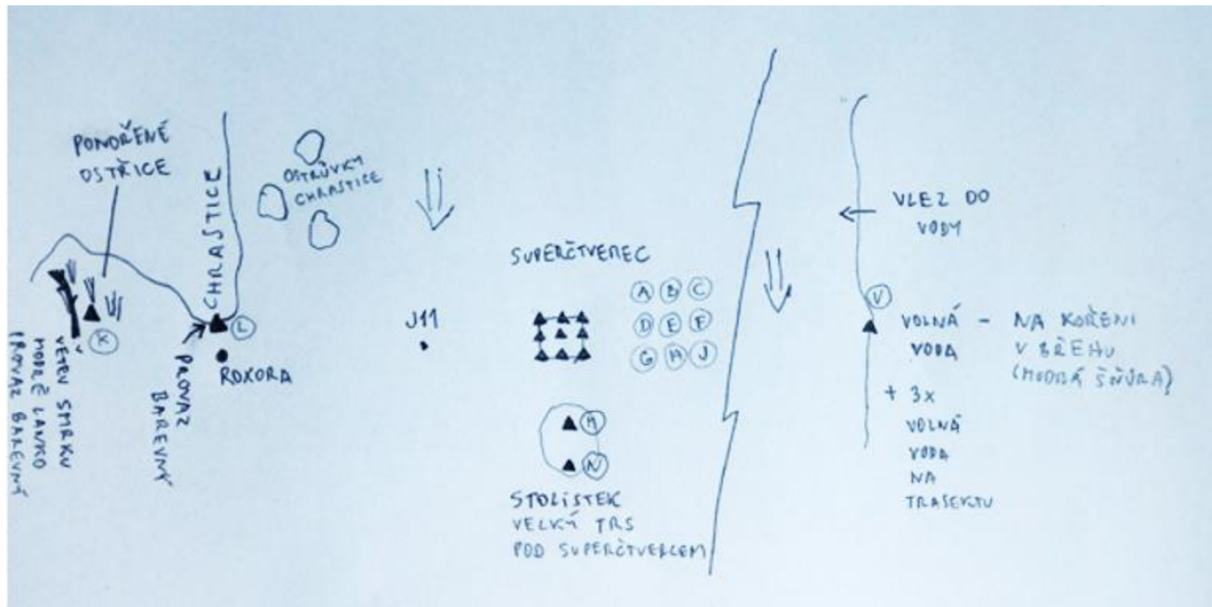
Příloha 31: Průměr a medián bodů odběru vzorků z experimentálního čtverce a volné vody v roce 2022.



Příloha 32: Penetrometrická data o tvrdosti dna v experimentálním čtverci v roce 2021 (modré vodorovné sloupce znázorňují v každém políčku relativní tvrdost oproti ostatním políčkům). Penetrometrický odpor v PSI je zobrazen číselnou hodnotou. Hodnota K (kámen) značí pevný předmět s odporem nad 250 PSI.

		<b>Před instalací</b>										
		Penet	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>3cm</b>	A	0	5	5	1	30	20	0	1	0	0	0
	B	0	40	0	0	45	1	0	1	0	0	0
	C	1	0	1	5	1	0	1	5	10	0	0
	D	10	1	30	0	5	5	1	5	30	30	0
	E	20	1	1	40	1	5	1	5	15	30	0
	F	1	1	5	10	1	1	5	1	10	1	0
	G	1	0	10	0	0	5	0	5	20	1	0
	H	1	0	1	1	0	0	1	30	0	0	0
	J	20	5	1	5	10	20	0	100	5	0	0
	K	20	0	1	30	1	30	5	0	1	0	0
		Penet	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>13cm</b>	A	1	10	60	55	40	90	135	20	K	130	0
	B	40	60	80	50	70	90	200	120	45	100	0
	C	130	30	ND	15	150	50	30	40	210	140	0
	D	90	110	ND	100	120	50	110*	40	150	80	0
	E	60	30	120	50	40	170	60	110	80	70	0
	F	100	80	ND	100	50	40	130	ND	70	90	0
	G	70	40	110	90	50	100	20	30	50	40	0
	H	90	100	80	30	10	50	40	60	30	50	0
	J	90	60	110	50	140	80	50	50	30	20	0
	K	130	110	50	110	90	50	130	30	40	20	0
		*	napíchnuta sonda									
		nd	neměřeno kvůli poloze kyslíkové sondy									

Příloha 33: Pracovní orientační plánec rozmístění odběrných ploch v roce 2022, detail rozmístění bodů v exp. čtverci. Bod K v měkkém bahně zátoky s porostem ponořených ostřic z roku 2021 odpovídá polohou bodu BaVz z roku 2021, bod L v porostu chrastice na okraji proudného úseku řeky odpovídá BaVpř z roku 2021. Bod M leží na začátku (návodní části) trsu stolístku, bod N pak ve spodní části trsu, respektive pod ho převislou částí (náčrtek O.Simon).



Příloha 34: Tabulka naměřené výšky vodního sloupce v experimentálním čtverci v roce 2021 (Jeřábek, 2022).

hloubka [cm]	20. 6.	5. 7.	13. 7.	22. 7.
SoC3	48	61	57	66
SoC8	50	65	63	64
SoG3	50	65	63	64
SoG8	54	64	64	67
DeC3	48	60	57	67
DeC8	50	65	63	68
DeG3	50	61	63	66
DeG8	54	65	64	67

Příloha 35: Tabulka naměřených rychlostí 5 cm nade dnem v experimentálním čtverci v období 14.6.-22.7.2021. NA=rychlost nebyla změřena (Jeřábek, 2022).

rychlost – dno [m/s]	14. 6.	20. 6.	5. 7.	13. 7.	22. 7.
SoC3	0,456	0,407	0,505	0,521	0,39
SoC8	0,415	0,398	0,488	0,48	0,48
SoG3	0,374	0,358	0,407	0,456	0,488
SoG8	0,251	0,235	0,431	0,439	0,505
DeC3	NA	0,382	NA	0,521	0,48
DeC8	NA	0,3	NA	0,48	0,439
DeG3	NA	0,431	NA	0,456	0,415
DeG8	NA	0,259	NA	0,439	0,48

Příloha 36: Tabulka naměřených rychlostí 5 cm pod hladinou v experimentálním čtverci v období 14.6.-22.7.2021. NA=rychlost nebyla změřena (Jeřábek, 2022).

rychlost – hladina [m/s]	14. 6.	20. 6.	5. 7.	13. 7.	22. 7.
SoC3	0,709	0,603	0,726	0,824	0,815
SoC8	0,644	0,529	0,611	0,726	0,726
SoG3	0,652	0,603	0,709	0,685	0,709
SeG8	0,619	0,48	0,676	0,636	0,726
DeC3	NA	0,627	NA	0,824	0,75
DeC8	NA	0,537	NA	0,726	0,717
DeG3	NA	0,611	NA	0,685	0,758
DeG8	NA	0,513	NA	0,636	0,668

Příloha 37: Tabulka naměřené výšky vodního sloupce v experimentálním čtverci a hydrometeorologické stanici Chlum v roce 2022. Výška vodního sloupce měřena v rozích experimentálního čtverce (Audyová & Simon, nepublikovaná data).

hloubka [cm]	13. 6. dopoledne	13. 6. odpoledne	21. 6.	27. 6.	17. 7.
Chlum	59	70	50	58	49
SUP 1	58	65	49	55	47
SUP 2	62	68	50	55	47
SUP 3	62	65	51	57	50
SUP 4	62	70	51	58	48

Příloha 38: Tabulka naměřené výšky vodního sloupce v bodech vzorkování experimentálního čtverce dne 13. 9. 2022 (Audyová & Simon, nepublikovaná data).

<b>bod vzorkování</b>	<b>hloubka [cm]</b>	<b>bod vzorkování</b>	<b>hloubka [cm]</b>
<b>A</b>	43	<b>F</b>	46
<b>B</b>	44	<b>G</b>	45
<b>C</b>	47	<b>H</b>	45
<b>D</b>	46	<b>J</b>	45
<b>E</b>	45		

Příloha 39: Tabulka naměřené výšky vodního sloupce v doplňkových bodech vzorkování (bahnitý substrát, makrofyta) dne 13. 9. 2022 (Audyová & Simon, nepublikovaná data).

<b>bod vzorkování</b>	<b>hloubka [cm]</b>
<b>K</b>	28
<b>L</b>	29
<b>M</b>	30
<b>N</b>	44