ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Katedra zdravotního a ekologického inženýrství

Těžké kovy v sedimentu vodních toků ovlivněných městským odvodněním Peček

Heavy metals in sediments of watercourses impacted by urban drainage of Pečky town

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Vypracovala: Bc. Lenka Langhammerová

Vedoucí práce: doc. Mgr. Jana Nábělková, Ph.D.

Praha, leden, 2023

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
Fakulta stavební
Thákurova 7, 166 29 Praha 6

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Bc. Langhammerová Jméno: Lenka Osobní číslo: 473768

Zadávající katedra: Katedra zdravotního a ekologického inženýrství

Studijní program: Stavební inženýrství

Studijní obor/specializace: Vodní hospodářství a vodní stavby

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Těžké kovy v sedimentu vodních toků ovlivněných městským odvodněním Peček

Název diplomové práce anglicky: Heavy metals in sediments of watercourses impacted by urban drainage of Pečky town

Pokyny pro vypracování:
V diplomové práci budou odebírány a analyzovány vzorky sedimentu z vodních toků ovlivněných odlehčovacími komorami ze stokové sítě a ČOV v Pečkách. Budou analyzovány kovy Cd, Cu, Cr, Hg, Ni, Pb a Zn jak v celkovém vzorku, tak v jednotlivých zrnitostních frakcích a koncentrace budou vyhodnocovány ve vztahu k přepadům odlehčovacích komor na stokové síti a z ČOV během srážkových událostí i ve vztahu k vlastnostem sedimentu (množství organické hmoty a zrnitostní složení).

Seznam doporučené literatury:
Pitter P. (2009): Hydrochemie, vydavatelství VSCHT, Praha
Pokorný J. a kol (2019): Metodika identifikace vlivu bodových a nebodových zdrojů znečištění na drobné vodní toky, ENKI, o.p.s. Třeboň
Nábělková J.(2011): Těžké kovy v sedimentech drobných městských toků, Habilitační práce, Stavební fakulta, ČVUT v Praze

Jméno vedoucího diplomové práce: doc. Mgr. Jana Nábělková, Ph.D.

Datum zadání diplomové práce: 22.9.2022 Termín odevzdání DP v IS KOS: 9.1.2023
Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku

Podpis vedoucího práce Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v diplomové práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce" a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací".

Datum převzetí zadání Podpis studenta(ky)

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou diplomovou práci s názvem „Těžké kovy v sedimentu vodních toků ovlivněných městským odvodněním Peček“ vypracovala samostatně a uvedla veškerou použitou literaturu a zdroje informací v souladu s Metodickým pokynem o etické přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

Nemám závažný důvod proti užití závěrečné práce ve smyslu § 60 zákona č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne 9. 1. 2023 .....

Lenka Langhammerová

Poděkování

Ráda bych poděkovala své vedoucí diplomové práce doc. Mgr. Janě Nábělkové, Ph.D. za odborné vedení, cenné rady a pomoc při práci v laboratoři. Dále děkuji Ing. Lukášovi Novákovi za pomoc při odběrech vzorků v terénu. Za podporu při psaní děkuji své rodině.

Abstrakt

Diplomová práce je zaměřena na výzkum těžkých kovů Cd, Cu, Cr, Hg, Ni, Pb a Zn v sedimentu recipientů ovlivněných městským odvodněním v obci Pečky. Recipienty, do nichž jsou prvky městského odvodnění zaústěny, jsou dva malé vodní toky – Výrovka a Mlýnský náhon. Vliv zatížení recipientů z výustí odlehčovacích komor, či ČOV je zkoumán za různých podmínek v šesti odběrových dnech.

Teoretická část se věnuje popisu městského odvodnění a možnostem vzniku znečištění v jeho prostředí. Zaměřuje se i na způsoby znečištění povrchových vod. Druhá část literární rešerše se věnuje podrobnému popisu těžkých kovů, jejich chování a potenciálním zdrojům. V rámci praktické části probíhala samotná analýza koncentrací těžkých kovů, které předcházely odběry v terénu ve městě Pečky. Byla odebírána tuhá matrice – sediment, která byla následně laboratorně zpracována a analyzována. Výstupy laboratorní analýzy byly upraveny do grafů, z nichž byly vyvozeny závěry.

Výsledky byly vyhodnoceny a porovnány s teoretickými fakty v literatuře či s výstupy jiných výzkumů. Pro lepší interpretaci výsledků a popis chování těžkých kovů byly kromě analýz koncentrací kovů provedeny i rozbory zrnitostního složení a organické hmoty. Bylo zjištěno, že s organickou hmotou nejvíce koreluje Cr a Ni. Vliv odlehčovací komory na Výrovku se prokázal zvýšenými koncentracemi těžkých kovů v profilu pod ní. Byl dokázán vliv čistírny odpadních vod na Mlýnský náhon. Vliv městského odvodnění na recipienty byl výzkumem dokázán.

Klíčová slova

Těžké kovy, městské odvodnění, sediment, vodní tok, odlehčovací komora

Abstract

The diploma thesis is focused on the research of heavy metals Cd, Cu, Cr, Hg, Ni, Pb and Zn in the sediment of recipients affected by urban drainage in the village of Pečky. Recipients into which elements of urban drainage are fed are two small watercourses – Výrovka and Mlýnský náhon. The influence of the load on the recipients from the outlets of combined sewer overflow or WWTPs is investigated under different conditions on six sampling days.

The theoretical part is devoted to the description of urban drainage and the possibilities of pollution in its environment. It also focuses on methods of surface water pollution. The second part of the theoretical part is devoted to a detailed description of heavy metals, their behavior and potential sources. In the practical part, the analysis itself took place within the framework of heavy metals, which preceded the sampling in the field in the town of Pečky. A solid matrix - sediment - was collected, which was subsequently processed and analyzed in the laboratory. The outputs of the laboratory analysis were adjusted into graphs from which conclusions were drawn.

The results were evaluated and compared with theoretical facts in the literature or with the results of other researches. For a better interpretation of the results and a description of the behavior of heavy metals, in addition to the analysis of metals, analyzes of grain size composition and organic matter were also carried out. Cr and Ni were found to be most correlated with organic matter. The influence of combined sewer overflow on Výrovka was demonstrated by increased concentrations of heavy metals in the profile below it. The influence of the wastewater treatment plant on the Mlýnská nahon was proven. The impact of urban drainage on recipients has been proven.

Keywords

Heavy metals, urban drainage, sediment, watercourse, combined sewer overflow

Obsah

1. Úvod 9

2. Cíl práce 10

3. Teoretická část 11

3.1. Vznik znečištění v městském odvodnění 11

3.1.1. Princip městského odvodnění 11

3.1.2. Typy stokových sítí 12

3.1.3. Způsoby znečištění povrchových vod v obcích 15

3.2. Těžké kovy 16

3.2.1. Zdroje těžkých kovů 16

3.2.2. Chování těžkých kovů ve vodním prostředí 17

3.2.3. Podrobný popis zájmových těžkých kovů 19

3.2.4. Limity těžkých kovů ve vodním prostředí 25

4. Praktická část 30

4.1. Charakteristika obce Pečky 30

4.2. Městské odvodnění Peček 32

4.3. Průmysloví producenti znečištění 33

4.4. Popis odběrných míst 35

4.4.1 Tahiti - OK1 35

4.4.2. Výrovka – V1 a V2 36

4.4.3. Třída Jana Švermy – OK2/1, OK2/2 37

4.4.4. Mlýnský náhon u garáží – MN1, MN2 38

4.4.5. Mlýnský náhon za vyústěním ČOV – MN3 40

4.5. Metodika 41

4.5.1. Popis odběrových dnů 41

4.5.2. Metodika předúpravy vzorků *44*

4.5.3. Analýzy vzorků *47*

5. Výsledky **52**

5.1. Výsledky pomocných analýz **52**

5.1.1. Zrnitostní analýza *52*

5.1.2. Množství organické hmoty *55*

5.2. Vyhodnocení vlivu městského odvodnění na recipienty **56**

5.2.1. Vliv OK1 na Výrovku *56*

5.2.2. Shrnutí vlivu na Výrovku *63*

5.2.3. Vliv OK2 a ČOV na Mlýnský náhon *64*

5.2.4. Shrnutí vlivu na Mlýnský náhon *71*

5.2.5. Vyhodnocení vazby kovů do jednotlivých frakcí sedimentu *72*

5.2.6. Shrnutí vazby kovů do jednotlivých frakcí *80*

6. Shrnutí **81**

Závěr **83**

Seznam zkratek **84**

Seznam literatury **86**

Seznam obrázků **91**

Seznam tabulek **93**

Seznam příloh **94**

1. Úvod

S růstem populace a rozvojem průmyslu dochází k neustálému nárůstu aglomerace. V obcích stále přibývají zastavěné plochy, jako jsou obytné zóny, průmyslové oblasti, či dopravní komunikace. Z toho důvodu narůstá i kvantita a různorodost zdrojů znečištění, jimž je i s pokročilými technologiemi těžké obstojně čelit. V dnešní době se na ekologii nových městských či krajinných inženýrských staveb klade větší důraz než dříve, ale i přesto jsou často z finančních důvodů bez ohledu na trvale udržitelný rozvoj obce upřednostněny projekty, které přináší poměrně velkou přítěž pro životní prostředí.

Významnou část územních plánů mnoha obcí tvoří například obnovy veřejné zeleně či revitalizace vodních toků a oblastí s bývalým průmyslovým využitím. To poukazuje na skutečnost, že životní prostředí v obci je pro její obyvatele velmi podstatné a jakýkoliv viditelný krok k jeho zlepšení může přinést popularitu současnému vedení obce. Člověk však ze své podstaty často opomíná řešit ty problémy, jejichž projevy nejsou vidět na první pohled. Tato skrytá ekologická rizika se nacházejí i v nejzákladnějším pilíři pro udržení dobrých hygienických podmínek v obci – v systému městského odvodnění.

Zaměříme se na povrchové vody v urbanizovaném povodí, které jsou velmi výrazně znečišťovány vlivem prvků městského odvodnění. Čistírny odpadních vod i dešťová oddílná soustava vypouští svůj odtok do recipientu. Systém jednotné kanalizace využívá odlehčovací komory, které jsou také zaústěny přímo do nejbližšího městského vodního toku. Průtoky v jednotné a oddílné dešťové stokové síti jsou závislé na intenzitě a době trvání srážky, a tudíž je míra znečištění vznikajícího jejich vyústěním do recipientu proměnlivá.

Diplomová práce se věnuje jedné z nejvýznamnějších složek znečištění městských toků, a tou jsou těžké kovy. Závažnost výskytu těžkých kovů je podpořena jejich toxicitou a faktem, že nepodléhají biologickému rozkladu, a tudíž v prostředí v různých formách zůstávají a tvoří vlastní koloběh. Jelikož mají tendenci ukládat se do pevných matric, je lepší analyzovat jejich koncentrace ve dnovém sedimentu než ve vodě. Práce je zaměřena na chování těžkých kovů ve vodním prostředí a analýzu těžkých kovů v sedimentu vodních toků, které jsou ovlivněny městským odvodněním Peček.

2. Cíl práce

Cílem diplomové práce je zjistit vliv městského odvodnění města Pečky na koncentrace těžkých kovů v sedimentu recipientu. Koncentrace těžkých kovů Cd, Cu, Cr, Hg, Ni, Pb a Zn budou vyhodnocovány jak ve vztahu k přepadům odlehčovacích komor na stokové síti a ČOV, tak k vlastnostem sedimentu (zrnitostní složení a množství organické hmoty).

3. Teoretická část

3.1. Vznik znečištění v městském odvodnění

Následující kapitola se zabývá způsoby a důsledky vzniku znečištění v městském odvodnění. Popisuje druhy stokových soustav a jejich ekologická rizika.

3.1.1. Princip městského odvodnění

Městské odvodnění je inženýrská disciplína vodního hospodářství zabývající se udržením dobrých hygienických podmínek a přispívající k ochraně staveb před záplavami v urbanizovaném povodí. Mezi základní prvky městského odvodnění patří: stoková síť, čistírna odpadních vod, vodní toky i podzemní vody. Dříve koncepce městského odvodnění spočívala v co nejrychlejším a bezpečném odvedení maximálního množství odpadních vod. V dnešní době je prosazována nová koncepce, která má přiblížit proces přirozenému průběhu odvodnění v krajině. Principem je pomalé odvodňování území s maximálním využitím vsakování a recyklace vody. Snahou je také nemísit málo a hodně znečištěné odpadní vody (Krejčí, 2002).

Jak už bylo zmíněno, pro odvodnění urbanizovaných povodí se v současnosti hodně prosazují opatření vedoucí ke snížení a zpomalení povrchového odtoku. V rámci těchto opatření se uplatňuje decentralizovaný přístup, který řeší retenci vody přímo u zdroje použitím prvků jako jsou retenční nádrže, střechy s vegetačním pokryvem, parkoviště s propustným povrchem atd. Veliký význam má zasakování dešťového odtoku, které je proveditelné pomocí různých technických opatření, z nichž jsou nejčastější např. plošná infiltrace, muldy a infiltrační nádrže, štěrková tělesa, či zasakovací příkopy a šachty. Užívání dešťové vody má vliv na úspory ve spotřebě vody pitné. Zasakování dotuje podzemní vody a snižuje dešťový odtok, čímž snižuje i přepady z odlehčovacích komor. Tento současný trend a snaha přiblížit hydrologický cyklus v urbanizovaném povodí přirozeným podmínkám má také vliv na zamezení vzniku povodní. Technická opatření u zdroje společně s opatřeními na stokové síti mohou díky své funkci zachránit území před povodní nebo alespoň přispět ke zmenšení kulminačních průtoků (Slavíková et al., 2007).

3.1.2. Typy stokových sítí

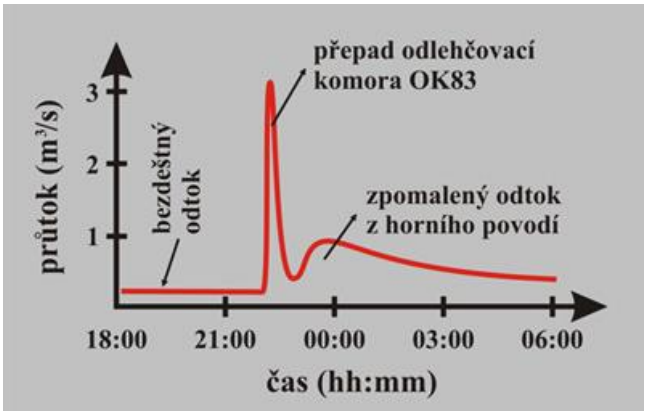
Jednotná stoková soustava

Jednotná soustava stokové sítě odvádí odpadní vody společně s vodami srážkovými. Do jedné stoky jsou tedy zaústěny přípojky z obytných domů, uliční vpusti odvádějící srážkovou vodu, a popřípadě i přípojky průmyslových odpadních vod (Topinka et al., 1967). Za suchého období systémem protékají pouze splaškové odpadní vody, které jsou vedeny na ČOV. Za deště se průtok navýší v důsledku zaústění srážkových vod. Navýšení průtoku za deště je závislé hlavně na intenzitě srážky a také na množství nepropustných ploch v odkanalizovaném území a v extrémních případech může být až stonásobné (Butler and Davies, 2004).

Z důvodu ochrany před přetížením jednotné kanalizace za dešťových průtoků byly v minulosti hojně budovány dešťové oddělovače (odlehčovací komory). Odlehčovací komory (OK) odvádí potřebné množství zředěné odpadní vody přímo do recipientu proto, aby nedošlo k havárii na stokové síti z důvodu překročení její kapacity. K odlehčení dochází bez významnějšího čištění (někdy je možná sedimentace), a proto je tento poměrně častý jev velkým zásahem do ekosystému vodního toku a přináší určité hygienické riziko. (Duras and Marcel, 2022). Následující výčet uvádí nejvýznamnější vlivy odpadních vod na vodní recipient (Hlavínek et al., 2006):

- Zanášení koryta suspendovanými látkami a znečišťování břehů makroskopickými odpady
- Organoleptické závady
- Vyčerpání rozpuštěného kyslíku v důsledku rychlého rozkladu nadmíry organických látek bakteriemi – vede k úhynu vyšších organismů ve vodě
- Epidemiologické závady v důsledku přítomnosti patogenních organismů (virů, bakterií, protozoí aj.)
- Kontaminace toxickými nebo jinak škodlivými látkami (těžké kovy, chlorované organické látky, fenoly aj.)
- Zvýšení obsahu fosforu a dalších látek způsobující eutrofizaci vody
- Zvýšení obsahu solí ve vodě
- Ovlivnění přirozené teploty vody (např. při vypouštění chladících vod)

Míra ekologické závadnosti odlehčovacích komor závisí na stavu stokové sítě, kvalitě konstrukce samotné odlehčovací komory, přítomnosti retenčních nádrží, které by zachytily nejznečištěnější první splach a v neposlední řadě na množství vody vypouštěné do recipientu. Na obrázku 1 je znázorněna extrémní situace, kdy v důsledku letní dešťové události nastal přepad z OK do recipientu malého vodního toku (Botiče) a způsobil nárůst průtoku ze 105 l/s na více než 3 000 l/s. Takové události mají radikální dopady na vodní tok (vnos nečistot, hydraulický stres, eroze koryta toku) i jeho okolí (Slavíková et al., 2007). Při snaze maximalizovat retenci vody na území obce (např. pomocí zasakování, výstavbou zelených střech či jímáním vody k dalšímu využití), dostatečné dimenzaci stokové sítě a ČOV a při důkladném promyšlení konstrukce OK, by při každé větší srážce nemuselo docházet k velkému zatížení vodního toku. Bohužel z ekonomických či jiných důvodů často není hlavním předmětem zájmu obcí řešit ekologii městského odvodnění a není výjimkou, že k odlehčení do recipientu dochází už při malé srážce s úhrnem 1-2 mm (Duras and Marcel, 2022).



Obrázek 1- Přepad OK na Botiči během dešťové události 8.7.2004 (Slavíková et al., 2007)

Oddílná stoková soustava

Oddílná soustava odvádí různé druhy odpadních vod odděleně. Vody jsou vedeny v samostatných soustavách a nesměšují se. Nejčastěji se oddílná stoková soustava skládá ze splaškové soustavy, dešťové soustavy a popřípadě soustavy průmyslové (u velkých průmyslových podniků). Splaškové stoky odvádí odpadní vodu přímo na čistírnu odpadních vod a musí být zatrubněny. Nedochází zde k znečištění recipientu odpady z domácností (fekální znečištění, prací prostředky aj.). Dešťová oddílná soustava odvádí dešťovou vodu v zatrubněných stokách nebo v povrchových rigolech. Na dešťové stoce

se mohou navrhovat retenční nádrže, které pomáhají k úspoře při návrhu dimenze soustavy. Další význam mají retenční nádrže před ústím dešťové kanalizace do málo kapacitního recipientu. K čištění jsou stavěny dešťové nádrže (Hánková, 2005).

I přesto, že se oddílná soustava zdá být pokrokovějším systémem stokování, nevyhýbá se ekologickým rizikům. Problémem této koncepce je znečištění srážkových vod, které jsou vyústěny mnohdy bez jakéhokoliv čištění do recipientu. Voda vtékající do dešťové kanalizace obsahuje nejvíce kontaminace při smyvu usazených nečistot z povrchu po delším suchém období. Na začátku deště při tzv. prvním splachu může obsahovat voda v dešťové stoce podobné množství nečistot jako voda ve splaškové kanalizaci (Hlavínek et al., 2006). V některých případech se také může stát, že se nezáměrně či záměrně napojí splašková větev do stoky dešťové či naopak a systém se poté míjí účinkem.

Modifikovaná stoková soustava

Modifikovaná neboli kombinovaná stoková soustava je založena na principu odvodu odpadních vod systémem dvou propojených stok. Splašky jsou vedeny hluboko uloženým potrubím a méně znečištěné dešťové vody mělčí stokou. Splašková stoka je přivedena na ČOV a dešťová stoka ústí do recipientu. Při dešti se nejprve plní splašková stoka a až při dosažení její kapacity dojde k plnění stoky dešťové. Díky tomu je možné zachytit první splach do splaškové stoky a přivést ho tak na ČOV. Kombinovaná soustava v České republice nachází využití zejména u odvodnění menších obcí, nebo v případě, že se na odvodnění určitých částí obce nehodí jednotná kanalizace (Hánková, 2005, Hlavínek et al., 2006).

3.1.3. Způsoby znečištění povrchových vod v obcích

Bodové a nebodové zdroje znečištění

Zdroje znečištění se obecně dělí na bodové a nebodové. Nebodové zdroje se dále dělí na zdroje difuzní (rozptýlené) a plošné. Bodový zdroj je místo, ve kterém dochází k vyústění znečišťující látky přímo do vodního toku. Jedná se například o zaústění odpadních vod z průmyslových podniků nebo kanalizačních stok obcí či odlehčovacích komor a odtoků z čistíren odpadních vod. Bodové znečištění zapříčiní skokovou změnu kvality vody v podélném profilu toku. Jelikož jsou bodové zdroje evidovány a každý zdroj má přiřazeného znečišťovatele, je snazší vypátrat příčinu vniku nežádoucí kontaminace, než u zdrojů nebodových (Langhammer, 2002, Pokorný et al., 2019).

Difuzní zdroje znečištění jsou tvořeny více drobnými bodovými zdroji, které jsou rozptýlené. Jde například o průmyslové, zemědělské či komunální znečištění, dále znečištění z odvodnění dopravních komunikací či výluhy ze skládek aj. Je obtížné vyjádřit přesnou míru znečištění pocházejícího z nebodových zdrojů, proto se zde nabízí použití matematických modelů (Langhammer, 2002).

Mezi plošné zdroje patří hlavně splach ze zemědělských a zastavěných ploch a také atmosférická depozice. V zemědělství je potenciálním polutantem užívání hnojiv a pesticidů (Langhammer, 2002). Při splachu ze zastavěných ploch se do vody dostávají částice usazené na silnicích nebo látky uvolněné při styku vody s různými stavebními materiály či nátěry. Nenápadným, avšak nezanedbatelným zdrojem polutantů v povrchových vodách je atmosférická depozice. V tomto procesu probíhají dva mechanismy, z nichž první nese název „rainout“ neboli „vypršení“. K „vypršení“ dochází při vzniku srážkových částic v atmosféře, pro něž slouží nečistoty jako kondenzační jádra. Druhý mechanismus se nazývá „washout“ neboli „vymývání“ a spočívá v zachycení nečistot srážkami padajícími na zemský povrch (Kajino and Aikawa, 2015).

3.2. Těžké kovy

Pitter, (2009) definuje těžké kovy jako prvky, jejichž soli se srážejí sulfidem sodným za vzniku málo rozpustných sulfidů. Dále dodává, že chemicky jsou těžké kovy definovány jako prvky s minimální hustotou 5000 kg/m^3 (pětkrát větší než hustota vody). Druhá zmíněná definice se shoduje i se zahraniční literaturou (Järup, 2003, Al Osman et al., 2019).

Ve srovnání s ostatními polutanty se těžké kovy řadí k těm nejzávadnějším hlavně z důvodu jejich nerozložitelnosti a z toho plynoucí perzistence v prostředí, biologické dostupnosti pro živé organismy a toxicitě. Míra projevu těchto vlastností je u každého kovu odlišná a závisí i na formě výskytu těžkého kovu (speciaci) a podmínkách v prostředí (Kumar and Khan, 2020).

Z těžkých kovů sledovaných pro diplomovou práci vykazují největší toxicitu: Pb, Hg a Cd, současně nejsou ani ve stopových koncentracích nezbytné pro biologické funkce živých organismů (esenciální). V určité míře esenciální a ve vyšších koncentracích toxické jsou ostatní sledované těžké kovy: Ni, Zn, Cu, Cr. Zajímavá vlastnost některých kovů je zesílení jejich účinku při výskytu speciálních kombinací (tzv. synergismus). Příkladem může být výskyt kadmia se zinkem, rtuti s mědí, či kombinace niklu a zinku (Pitter, 2009).

3.2.1. Zdroje těžkých kovů

Těžké kovy mají jak přírodní, tak antropogenní zdroje. Mezi přírodní zdroje patří především zvětrávání hornin či vulkanická činnost. K obohacení vody kovy pak snadno dochází právě díky jejímu styku s přirozeným horninovým prostředím či půdou. V okolí rudných nalezišť se tak do vodního prostředí může dostávat poměrně vysoké množství těžkých kovů. Přirozeně se vyskytující koncentrace těžkých kovů ve vodním prostředí jsou dány geologickými podmínkami a tvoří tzv. geogenní pozadí. Pozaďové koncentrace se zjišťují v neznečištěné (často pramenné) oblasti toku a jsou směrodatné pro nezkreslené posouzení nárůstu znečištění vlivem antropogenní činnosti (Pitter, 2009, Vareda et al., 2019).

Antropogenní zdroje těžkých kovů v dnešní době převažují nad zdroji přírodními a jsou úzce spjaty s globální i lokální mírou industrializace a urbanizace. Produkují větší množství kovů ve více toxických a mobilních formách než zdroje přírodní, proto je zapotřebí se jimi zabývat a řešit možnosti minimalizace jejich zátěže pro životní prostředí. Mezi antropogenní zdroje produkující těžké kovy přímo do vodního prostředí patří například odpadní průmyslové vody z těžby, zpracování a povrchové úpravy kovů, textilního či kožedělného průmyslu, nebo splachy ze zastavěných ploch s usazenými nečistotami a ploch zemědělských s potenciálním výskytem pesticidů. Nepřímo mohou být do vod produkovány kovy vlivem atmosférické depozice (viz kapitola 3.1.3.) a to v důsledku znečištění atmosféry spalováním fosilních paliv, uhlí či komunálního odpadu. (Vareda et al., 2019, Kumar and Khan, 2020).

Tato práce se zabývá jedním specifickým zprostředkovatelem znečištění vodních toků – městským odvodněním. Jako jednotlivé zdroje polutantů ze systému městského odvodnění můžeme považovat odlehčovací komory na jednotné stokové síti, výusti oddílné dešťové kanalizace přivádějící do povrchových vod splachy z urbanizovaných ploch, odtok z ČOV, nebo černé výusti (viz kapitola 3.1.)

3.2.2. Chování těžkých kovů ve vodním prostředí

Těžké kovy ve vodním prostředí mají především tendenci vázat se do pevné matrice. V případě většiny vodních ekosystémů se jako nejvhodnější pevná matrice pro adsorpci kovů nabízí dnový sediment. Většina těžkých kovů se po vstupu do vodního prostředí do sedimentu ukládá velmi rychle a jejich koncentrace je zde mnohem vyšší než v kapalné fázi. Sediment pak v rámci vodního systému slouží jako úložiště, ale i druhotný zdroj těžkých kovů. V případě změny hydrologických nebo fyzikálně-chemických podmínek může totiž dojít k desorpci či resuspendaci kovů, které tak způsobují sekundární znečištění ve vodě (Huang et al., 2020).

Kovy po vstupu do vodního prostředí mohou v určité míře v závislosti na okolních chemických a fyzikálních podmínkách zůstat i v rozpuštěné formě buď jako jednoduché ionty nebo komplexní sloučeniny (Pitter, 2009). Jejich chování je velmi složité právě z důvodu nestálých podmínek v přirozeném prostředí vodního toku. Dochází zde často k

obtížně definovatelným interakcím kovů s rozpuštěnými a partikulárními komponenty ve vodě. Při změně podmínek ve vodě (pH, redoxní potenciál, přítomnost komplexotvorných látek, koncentrace plynů aj.) dochází k určité reakci přítomných chemických forem kovů (Salomons and Förstner, 1984).

Obecně se změny formy výskytu těžkých kovů ve vodním systému dělí na imobilizační a remobilizační procesy. Imobilizace je proces vazby do tuhých fází zahrnující adsorpci v sedimentech a na nerozpuštěných látkách, inkorporaci do biomasy, srážení kovů jako uhličitanů, sulfidů, nebo hydratovaných oxidů při vzrůstu pH a produkci méně rozpustných sloučenin kovů při oxidaci. Remobilizační proces je opakem imobilizace, tudíž se jedná o uvolňování těžkých kovů z tuhých matric. Remobilizace zahrnuje především rozpuštění málo rozpustných forem kovů při poklesu pH nebo za redukčních podmínek ve vodě, uvolňování těžkých kovů z odumřelé biomasy, desorpci a komplexaci s látkami, které zabraňují vylučování málo rozpustných sloučenin (Pitter, 2009).

Faktory ovlivňující distribuci těžkých kovů jsou i samotné vlastnosti sedimentu jako podíl organické hmoty, či velikost zrna. Huang et al. (2020) uvádí, že sediment je více obohacen těžkými kovy při vyšším obsahu organické hmoty a při menší zrnitostní frakci sedimentu. Z důvodu rozmanitosti různých faktorů se tento předpoklad nemusí vždy naplnit a mohou nastat výjimky. Podle výzkumu Qu and Kelderman (2001) korelovaly se zvýšeným obsahem organické hmoty v sedimentu koncentrace Cu, Zn a Cd. Bungala (2021) uvádí, že s množstvím organické hmoty v sedimentu měly nejvýznamnější vazbu kovy Hg, Cr, Pb a Zn. I přesto, že těžké kovy mají tendenci vázat se spíše do jemnějších frakcí sedimentu, může například při nedostatku jemné frakce nebo její rychlé obměně dojí k uložení větší koncentrace do hrubozrnných frakcí (Nábělková, 2011).

Mimo ukládání těžkých kovů do sedimentu může dojít k jejich vazbě do biofilmu nebo do živé organické hmoty, kde mohou působit toxicky. Akumulované těžké kovy v sedimentu přímo zasahují bentické bezobratlé živočichy, pro které je sediment habitatem i potravou. Inkorporace do biomasy vyšších organismů přichází pak v úvahu přes kapalnou fázi nebo přes potravinový řetězec (Huang et al., 2020). Mnoho přírodních vod má do jisté míry určitou schopnost redukovat potenciální toxicitu přítomných těžkých kovů pro vodní organismy. Tato schopnost se přisuzuje přítomnosti ligandů, které tvoří komplexy s ionty těžkých kovů a snižují tak jejich biologickou dostupnost pro organismy (Salomons and Förstner, 1984).

Těžké kovy, jak už bylo zmíněno, mají velkou schopnost akumulace v tuhé matrici. Kvalita kapalné fáze se z důvodu proměnlivosti hydrologických a chemických podmínek obzvlášť v malých vodních tocích rychle mění. Proto je vhodné pro zjištění zatížení vodního prostředí těžkými kovy analyzovat koncentrace právě v pevné fázi – sedimentu. Ten lépe vypovídá o dlouhodobém ekologickém stavu prostředí a konstantních vlivech znečištění.

V mnoha výzkumných pracích, např. Bungala et al., 2021, Liu et al., 2018, Nábělková, 2011, byla pro výstižný popis chování těžkých kovů ve vodním prostředí prováděna analýza tzv. geochemických frakcí pomocí sekvenční extrakce. Procentuální zastoupení jednotlivých frakcí (od výměnné po reziduální) v celkovém vzorku ukazuje bližší chování kovu ve vodním prostředí (např. schopnost vazby do karbonátů či tvorby oxidů Fe a Mg). Sekvenční analýzou lze blíže určit nejen mobilitu a dostupnost kovu či probíhající chemické reakce, ale je také možné lépe predikovat potenciální zdroj těžkých kovů. Převaha výměnné frakce indikuje antropogenní zdroj, zatímco vysoké zastoupení frakce reziduální, kde je kov vázán na krystalické mřížky primárních a sekundárních minerálů, naznačuje zdroj přírodního původu (Zhang et al., 2017, Nábělková, 2011). Analýza geochemických frakcí je poměrně časově i metodicky náročná a v diplomové práci nebyla aplikována.

3.2.3. Podrobný popis zájmových těžkých kovů

Nadcházející kapitola popisuje stěžejní vlastnosti jednotlivých kovů, které byly analyzovány v rámci výzkumu. Jedná se o chování těžkých kovů ve vodním prostředí a jejich přípustné formy výskytu. Také jsou zde uvedeny nejvýznamnější zdroje kovů, které jsou důležité pro posouzení problematiky v praktické části diplomové práce.

Chrom

V přírodě se chrom vyskytuje ve formě minerálů krokoitu a chromitu. Vlivem přírodních zdrojů se chrom do vodního prostředí produkuje málo, naopak výrazným zdrojem je antropogenní činnost. Chrom může být obsažen v odpadních vodách (OV) z textilního a kožedělného průmyslu a také ve vodách z galvanického pokovování. Dalším antropogenním zdrojem chromu jsou OV z barevné metalurgie. Může být součástí některých inhibitorů koroze.

Většina chromu ve vodním prostředí je depozitována v sedimentu. Sloučeniny chromu jsou netěkavé, a tudíž za normálních podmínek nepřechází z vody do atmosféry (Sharma, 2015). Ve vodách mohou být přítomny dva oxidační stupně prvku – Cr^{III} a Cr^{IV} . Nejstabilnější forma výskytu je Cr^{III}, která má poměrně velkou komplexační schopnost. Jako ligandy mohou být vázány například: fluoridy, sírany, aminokyseliny, NH_3 či huminové látky. Rozpustnost oxidačního stupně III ve vodě je závislá na rozpustnosti hydratovaného oxidu, zatímco většina sloučenin Cr^{IV} je ve vodě rozpustná dobře. V závislosti na podmínkách ve vodě může docházet k oxidaci či redukci chromu v daném oxidačním stupni. Chrom může být organicky vázán. V případě Cr^{III} dochází ve velké míře zejména v alkalickém prostředí k sorbci na hydratovaných oxidech Fe, Mn, Al aj. Proto je významný podíl chromu ve vodním prostředí vázán na nerozpuštěné látky a sedimenty. Adsorpce Cr^{IV} přichází v úvahu v kyselém prostředí, ale je málo častá (Sýkora et al., 2016).

Kadmium

Kadmium je chemicky příbuzné zinku a v rudách se často vyskytují společně. Kadmium je pro všechny organismy značně toxické, po rtuti je nejsilnějším jedem. Vzájemné působení kadmia se zinkem nebo mědí zesiluje jejich účinky, což se nazývá synergismus (Pitter, 2009).

Znečištění atmosféry kadmiem nastává při zpracování jeho rud, spalování fosilních paliv, topných olejů, nafty a odpadů. Kadmium se používá jako stabilizátor některých termoplastů (např. PVC) a při jejich spalování přechází do atmosféry. Z důvodu neekologické likvidace PVC se v dnešní době přistupuje k jeho užití s rozmyslem. Kontaminaci vodního prostředí způsobují OV z průmyslové výroby jako je galvanické pokovování, při němž se prvek používá jako protikorozní ochrana. Významným zdrojem kadmia jsou i odpadní vody z výroby Ni-Cd baterií, černé skládky, kde se mohou vyskytovat produkty obsahující kadmium společně s ostatním odpadem, nebo některé barevné pigmenty. V dřívější době se mezi potenciální zdroje znečištění řadilo užívání fosforečnanových hnojiv, či aplikace čistírenských kalů v zemědělství (Sýkora et al., 2016, Bradl, 2005, Järup, 2003).

Měď

Nejčastějšími měďnatými minerály jsou malachit, azurit, tenorit, kuprit, chalkosin a chalkopyrit. Měď se v přírodě přirozeně vyskytuje i jako čistý kov. Jedním z největších přírodních zdrojů mědi ve vodách je rozklad sulfidických rud (Sýkora et al., 2016, Pitter, 2009). Antropogenními zdroji jsou odpadní vody z povrchové úpravy kovů, použití algicidních či fungicidních preparátů s mědí (často pentahydrát síranu měďnatého), či splach povrchů obsahující tento kov (střešní krytiny a okapy). V případě výskytu měděného potrubí může dojít k uvolňování mědi do vody z důvodu agresivního působení vody (Sýkora et al., 2016, Nábělková, 2011).

Měď má velmi dobré komplexační schopnosti, proto je její speciace ve vodách poměrně rozmanitá. V rozpuštěné formě tvoří hydroxokomplexy, uhličitanové komplexy či amminokomplexy, ale vyskytuje se i jako jednoduchý ion Cu^{2+}. Jelikož měď působí toxicky na vodní organismy je její nejvyšší mezní koncentrace v povrchových vodách nižší než ve vodě pitné (Sýkora et al., 2016).

Nikl

Přírodním zdrojem tohoto prvku je řada minerálů, kde se nikl vyskytuje nejčastěji společně se sírou, arsenem či antimonem. Z antropogenních zdrojů jsou významné odpadní průmyslové vody z povrchové úpravy kovů a barevné metalurgie. Nikl se využívá ve sklářském a keramickém průmyslu a při výrobě nikl-kadmiových baterií a elektronických součástek. K uvolnění niklu do vody může dojít ve vodovodních sítích, kde se používají poniklované materiály (Pitter, 2009, Bencko et al., 1995).

Nikl se ve vodách vyskytuje v oxidačním stupni II a převažují anorganické formy (s výjimkou vod s vysokým obsahem humínových látek). Kromě formy Ni^{2+} může nikl v alkalickém prostředí tvořit komplexy (hydroxokomplexy, karbonatokomplexy a sulfatokomplexy). V odpadních vodách z galvanického pokovování může být nikl obsažen ve formě amminokomplexů či kyanokomplexů (Pitter, 2009).

Olovo

Nejrozšířenějším minerálem obsahující olovo je galenit. S nižší četností se v přírodě vyskytují olověné rudy anglesit a cerusit. Výskyt olova ve vodním prostředí je z důvodu vysoké toxicity a perzistence velkou hrozbou pro živé organismy. Z toho důvodu se v dnešní době striktně reguluje využití tohoto toxického kovu v mnoha odvětvích. V minulosti byly potenciálními antropogenními zdroji olova například olověné vodovodní trubky či armatury, konzervové plechovky letované pájením, zubní ordinace používající olovo v plombách, nebo emise pohonných hmot motorových vozidel, kde je použit tetraethylplumban jako antidetonační prostředek. Dnes mohou být zdrojem olova průmyslové odpadní vody ze zpracování rud, barevné metalurgie či výroby akumulátorů. Kromě výroby akumulátorů se v automobilovém průmyslu dříve olovo využívalo jako závaží na disky kol a bylo obsaženo v některých nátěrových hmotách karoserií. Použití vrchních laků s obsahem olova je dnes v mnoha zemích zakázáno. Doposud se olovo využívá při výrobě glazur a smaltovacích barev pro sklářský a keramický průmysl (Sharma, 2015, Pitter, 2009).

Olovo má vysoký akumulační koeficient, proto snadno dochází k hromadění kovu v sedimentech, kalech i v organické hmotě. Nejběžnější formou výskytu v přírodních vodách je ion Pb^{2+} (kyselé prostředí) nebo karbonatokomplex (neutrální a slabě alkalické prostředí) (Pitter, 2009). Sloučeniny s nízkou rozpustností vznikají komplexací s anorganickými (Cl^-, CO_3^{2-}, SO_4^{2-}, PO_4^{2-}) či organickými ligandy (aminokyseliny) (Sharma, 2015).

Rtuť

Přírodním zdrojem rtuti jsou naleziště rumělky neboli cinabaritu a dalších sulfidických rud. Rtuť je nejnebezpečnějším těžkým kovem. Je známá svými vysoce toxickými účinky na veškeré živé organismy i přes to existují dodnes antropogenní zdroje, které produkují rtuť do okolního prostředí. Významným zdrojem rtuti v atmosféře je spalování fosilních paliv. Emise z atmosféry mohou být pomocí srážek následně vypláchnuty do povrchových vod. Dalším zdrojem rtuti jsou průmyslové odpadní vody z organických syntéz, rudných úpraven či z elektrolýzy NaCl, nebo odpadní vody ze zemědělství obsahující rtuťnaté pesticidy a mořidla (Pitter, 2009). Jedním z největších současných

zdrojů je také spalování uhlí v elektrárnách. V minulosti se tento nebezpečný kov používal i v běžných komponentech v domácnosti (elektronika, teploměry, baterie, nátěry) a v zubních ordinacích. V současné době je používání rtuti velice omezeno (Selin and Selin, 2022).

Rtuť se ve vodě může vyskytovat v rozpuštěné formě jako elementární Hg^0, Hg^{2+}, nebo může tvořit anorganické i organické sloučeniny. Z anorganických sloučenin jsou známé $[HgOH]^+$, $[Hg(OH)_2(aq)]^0$, $[Hg(OH)Cl]^0$ a chlorokomplexy. Odpadní vody s vysokým obsahem chloridů obsahují převážnou koncentraci rtuti ve formě tri- nebo tetrachlorortuťnanu a obsah Hg^{2+} je zanedbatelný. Významnou organickou formou výskytu jsou methylderiváty např. methylhydrargyriumchlorid a dimethylrtuť. Rtuť je schopna tvořit velmi stabilní komplexy s humínovými látkami, vzniklé komplexy ovlivňují mobilitu kovu v prostředí (methylaci a bioakumulaci). Tento těžký kov má velmi vysoký akumulační koeficient a lehce se hromadí v organismech. Procesy změny formy rtuti probíhají často v sedimentu. Zaprvé zde mohou být přítomny mikroorganismy (bakterie) schopné methylovat Hg^{II} na methylrtuť a následně dimethylrtuť, která je těkavá, a může dojít k přechodu z vodního prostředí do atmosféry. Zadruhé v sedimentu dochází k imobilizaci špatně rozpustných tuhých fází (např. HgS) za anaerobních podmínek (Pitter, 2009).

Zinek

Zinek se v přírodě nachází běžně jako součást hornin, půd a sedimentů. Nejrozšířenější sulfidické rudy obsahující zinek jsou sfalerit (ZnS) a smithsonit ($ZnCO_3$). Antropogenním zdrojem v atmosféře je spalování fosilních paliv. Z atmosférické depozice je zinek srážkami vyprodukován zpět na povrch a do vodních ploch. Společně s mědí je součástí mosazi, která je díky svým vlastnostem dodnes poměrně využívaná. Zinek je zastoupen v průmyslových vodách z povrchové úpravy kovů a mořiren mosazi či zpracování zinkových rud (Sýkora et al., 2016). V gumárenském průmyslu a při výrobě barev může být použit oxid zinečnatý (Bencko et al., 1995). K produkci zinku do vodního prostředí dochází i při samotném omývání pozinkovaných materiálů, jako jsou například některé okapy, plechy či střešní krytiny. Zinkem pokovované ocele se používají v automobilovém průmyslu a byly v minulosti poměrně využívaným materiálem vodovodních trubek.

Zinek se v rozpuštěné formě může vyskytovat jako jednoduchý ion Zn^{2+}, nebo tvoří komplexy (hydroxokomplexy, sulfatokomplexy, chlorokomplexy a fosfatokomplexy). Průmyslové vody z galvanického pokovování mohou obsahovat zinek ve formě kyanokomplexů a amminokomplexů. Komplexační schopnosti zinečnatého kationtu jsou však nižší než např. u mědi. V organicky málo znečištěných a málo mineralizovaných vodách v neutrální či kyselé oblasti může obsah Zn^{2+} převyšovat obsah ostatních forem výskytu (Pitter, 2009).

3.2.4. Limity těžkých kovů ve vodním prostředí

Hodnocení přípustného znečištění povrchových a odpadních vod

V České republice se kvalita vody a míra přípustného znečištění povrchových a odpadních vod stanovuje dle Nařízení vlády č. 401/2015 Sb. Nařízení vlády o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových vod a odpadních vod, náležitostech povolení k vypouštění OV do vod povrchových a do kanalizací a o citlivých oblastech. Nařízení udává limitní hodnoty koncentrací znečišťujících látek jak ve vodě povrchové – normy environmentální kvality (NEK), tak i emisní standardy pro vypouštění odpadních vod do vod povrchových.

Emisní standardy se liší pro vody vypouštěné z komunálních čistíren odpadních vod, různé typy průmyslových odpadních vod a odpadní vody s obsahem uvedených zvlášť nebezpečných látek. Znečištění OV jdoucích z domácností do stokové sítě není limitováno a emisní standardy se v tomto případě řeší až centrálně na čistírně odpadních vod. Tabulka 1 uvádí emisní standardy v podobě koncentrací ukazatelů znečištění vypouštěných odpadních vod z ČOV v závislosti na počtu ekvivalentních obyvatel dané obce.

Tabulka 1: Emisní standardy: přípustné hodnoty (p), maximální hodnoty (m) a hodnoty průměru (x) koncentrace ukazatelů znečištění vypouštěných odpadních vod v mg/l (Nařízení vlády č. 401/2015 Sb.)

Kategorie ČOV (EO) nebo velikost aglomerace	**$CHSK_{Cr}$**		**BSK_5**		**NL**		**$N\text{-}NH_4^+$**		**N_{celk}**		**P_{celk}**	
	p	**m**	**p**	**m**	**p**	**m**	**x**	**m**	**x**	**m**	**x**	**m**
<500	150	220	40	80	50	80	-	-	-	-	-	-
500-2000	125	180	30	60	40	70	20	40	-	-	-	-
2001-10000	120	170	25	50	30	60	15	30	-	-	3	8
10001-100000	90	130	20	40	25	50	-	-	15	30	2	6
>100000	75	125	15	30	20	40	-	-	10	20	1	3

Míra čištění odpadních vod na ČOV je stanovena pomocí šesti obecných ukazatelů: $CHSK_{Cr}$, BSK_5, NL, $N\text{-}NH_4^+$, N_{celk}, P_{celk} a nelimituje tedy obsahy těžkých kovů jako takových. Obecně by se ale dala předpokládat vazba těžkých kovů do pevných částic a následná odstranitelnost korelující s odstranitelností nerozpuštěných látek v primární sedimentaci, (maximální koncentrace NL vypouštěných odpadních vod limitována je).

Některé těžké kovy se ochotně vážou do organické hmoty a mohou být odstraněny v biologické části ČOV. V případě potřeby více efektivního způsobu odstranění těžkých kovů (např. z odpadních vod určitých průmyslových podniků) se využívají speciální technologie (membránová filtrace, elektrochemické metody čištění aj.) (Sylwan and Thorin, 2021, Vareda et al., 2019).

Emisní standardy pro průmyslové odpadní vody, které jsou uvedeny v příloze č. 1 nařízení vlády č. 401/2015 Sb., stanovují v určitých průmyslových či zemědělských odvětvích krom ostatních ukazatelů kvality i přípustné koncentrace některých těžkých kovů. Příklad z výčtu průmyslových a zemědělských odvětví s hodnotami přípustných koncentrací vybraných zájmových těžkých kovů je uveden v tabulce 2. Dva z nejzávadnějších těžkých kovů se stanovují také jako emisní standardy v odpadních vodách s obsahem uvedených zvlášť nebezpečných látek. Jde o kadmium a rtuť.

Tabulka 2: Emisní standardy – výčet: přípustné hodnoty znečištění pro odpadní vody vypouštěné z vybraných průmyslových a zemědělských odvětví (Nařízení vlády č. 401/2015 Sb.)

Průmyslový obor:	**Ukazatel (vybrány jen TK) [mg/l]**						
	Zn	**Pb**	**Cu**	**Ni**	**Cr**	**Cd**	**Hg**
Těžba a úprava železných a ostatních neželezných rud	3	0,5	1	-	-	-	-
Úprava a spřádání textilních vláken a příze, tkaní, úprava a výroba textilií	3	-	0,5	0,5	0,5	-	-
Výroba rafinovaných ropných produktů	-	0,03	-	0,1	-	0,008	0,001
Výroba skla a skleněných výrobků	0,5	1	0,3	0,5	0,3	0,05	-
Výroba a hutní zpracování drahých a neželezných kovů	2	0,5	0,5	0,5	0,5	-	-
Povrchová úprava kovů	2	0,5	0,5	0,8	0,5	-	0,05
Smaltování/lakování	2	0,5	0,5	-	0,5	0,2	-
Výroba elektrických strojů a zařízení (elektrotechnická výroba)	2	0,5	0,5	0,5	0,5	0,2	0,05
Spalování odpadů a spoluspalování odpadů	1,5	0,2	0,5	0,5	0,5	0,05	0,03

Normy environmentální kvality popisují přípustné množství nečistot ve vodě povrchové. Tyto limitní hodnoty jsou různé pro hodnocení dlouhodobých koncentrací znečišťujících látek a pro hodnocení znečištění z náhlé a rychlé srážkové události. Dvě rozdílné škály jsou důležité pro rozlišení možnosti vzniku chronické zátěže vlivem dlouhodobého znečištění a akutní toxicity vzniklé náhlými srážkovými či havarijními událostmi. Odlišné NEK u některých ukazatelů mají také vody užívané pro vodárenské účely. NEK stanovují limitní hodnoty pro koncentrace zájmových těžkých kovů ve vodě (popřípadě v biotě), nikoli však v sedimentu vodních toků (Nábělková, 2011, Nařízení vlády č. 401/2015 Sb.) V tabulce 3 jsou uvedeny hodnoty NEK pro povrchové vody a popsána potenciální toxicita pro vodní organismy, která hrozí při překročení těchto limitů.

Tabulka 3: Zájmové těžké kovy a jejich vliv na vodní organismy (Pitter, 2009, Nařízení vlády č. 401/2015 Sb.)

Těžký kov	Toxicita pro vodní organismy	jednotka	NEK	
			NEK-RP[1]	NEK-NPK[2]
Rtuť	velmi vysoká toxicita i schopnost akumulace organických sloučenin rtuti v organismech	µg/l	_	0,07
Kadmium (NEK v závislosti na třídách tvrdosti vody)	toxické již při nízkých koncentracích	µg/l	≤0,08 (třída 1)	≤0,45 (třída 1)
			0,08 (třída 2)	0,45 (třída 2)
			0,09 (třída 3)	0,6 (třída 3)
			0,15 (třída 4)	0,9 (třída 4)
			0,25 (třída 5)	1,5 (třída 5)
Měď	značně toxická - algicidní preparáty	µg/l	14	_
Chrom	pro ryby toxický Cr^{III}, pro ostatní vodní organismy, bakterie a rostliny především Cr^{VI}	µg/l	18	_
Nikl	toxický (pro chov ryb je doporučená koncentrace < 0,1 mg/l)	µg/l	4	34
Olovo	toxické	µg/l	1,2	14
Zinek	značně toxický i při nízkých koncentracích (desetiny mg/l), citlivé jsou lososovité ryby	µg/l	92	_

[1] „NEK-RP: norma environmentální kvality vyjádřená jako celoroční průměrná hodnota.

[2] „NEK-NPK: norma environmentální kvality vyjádřená jako nejvyšší přípustná koncentrace je nepřekročitelná.“ (Nařízení vlády č. 401/2015 Sb.).

Limitní koncentrace těžkých kovů v sedimentu

Jak již bylo výše uvedeno, těžké kovy (TK) mají tendenci se ve vodním prostředí akumulovat do sedimentu, ten pak slouží jako úložiště ale i druhotný zdroj kovů uvolňovaných do vody díky probíhajícím remobilizačním procesům. Koncentrace těžkých kovů v sedimentu vodních toků je z ekologického hlediska velmi významná, bohužel v České republice v současné době nejsou zavedeny žádné limitní hodnoty omezující přípustné množství jakýchkoliv polutantů usazených v této pevné fázi. Částečné NEK pro sediment měla Česká republika v období platnosti Nařízení vlády č. 23/2011 Sb. (17. 2. 2011-1. 1. 2016). Z těžkých kovů zde byly uvedeny normy pro rtuť, olovo, kadmium a nikl, ale pouze pro frakce sedimentu <20 μm. Získat takto jemnou frakci je obzvlášť v prostředí tekoucích vod značně obtížné, možná právě z tohoto důvodu se normy pro sediment neuchytily a v aktuálně platném Nařízení vlády č. 401/2015 Sb. se nestanovují.

Tabulka 4: Bývalé NEK pro TK v sedimentu (Nařízení vlády č. 23/2011 Sb.)

Těžký kov	Cd	Pb	Hg	Ni
NEK-RP[1] [μg/l]	2300	53000	470	3000

[1] „NEK-RP: norma environmentální kvality vyjádřená jako celoroční průměrná hodnota pro sušinu, týká se zrnitostní frakce pod 2 mm pro stanovení organických látek a pod 20 μm pro stanovení kovů.“ (Nařízení vlády č. 23/2011 Sb.)

Jelikož v České republice nejsou aktuálně předepsané normy pro posouzení koncentrací těžkých kovů v sedimentu (kromě limitů v sedimentu použitém na zemědělské půdě), je vhodné se inspirovat limitními hodnotami v zahraničí. Tabulka č. 5 uvádí české limity koncentrací těžkých kovů v sedimentu pro zemědělské účely z vyhlášky MZem a MŽP č. 257/2009 Sb. a toxikologická kritéria z USA pro těžké kovy ve sladkovodním sedimentu, které jsou v tomto případě více vhodná. PEC (Probable effect concentration) udává hodnoty koncentrace pravděpodobného účinku a TEC (Treshold effect concentration) je prahová koncentrace účinku. Pro Hg jsou uvedeny kanadské limity PEL (Probable effect level) a TEL (threshold effect level) (ES/ER/TM-96/R2, 1996, Canadian Sediment quality guidelines, 2001).

Tabulka 5: Limity dle vyhlášky MZem a MŽP č. 257/2009 Sb.; Environmental quality standards – US EPA kritéria PEC a TEC a pro Hg kanadská kritéria PEL a TEL (ES/ER/TM-96/R2, 1996, Canadian Sediment quality guidelines, 2001)

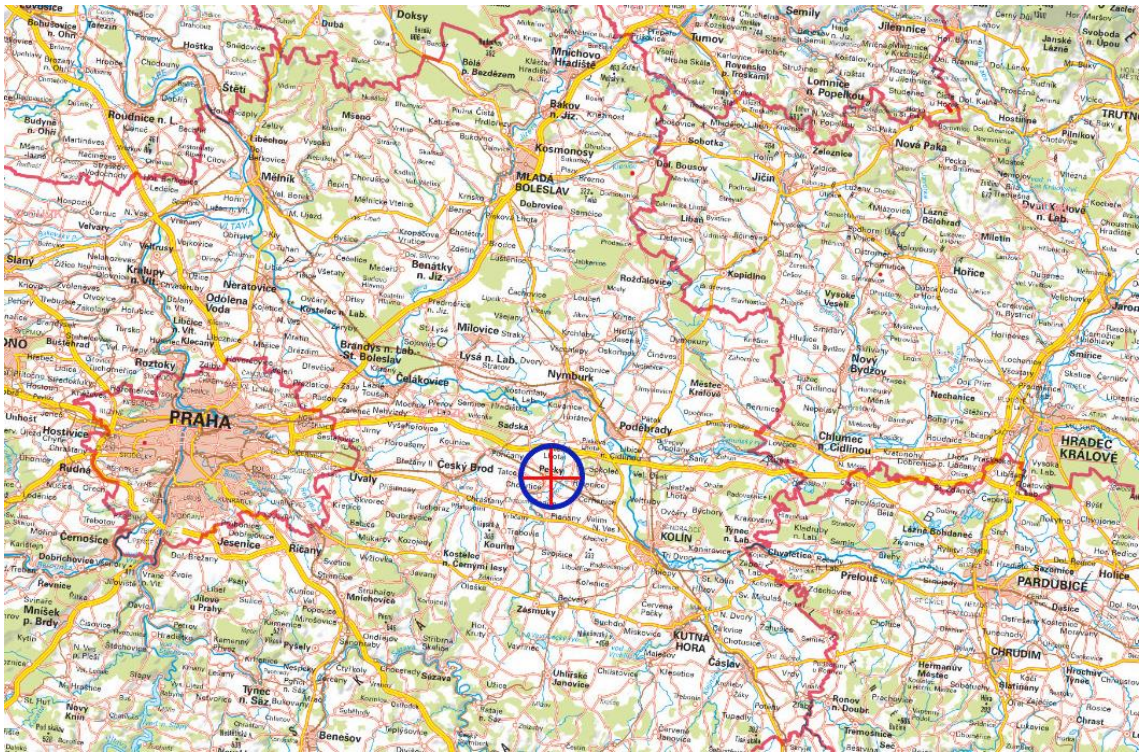
	Cu	**Ni**	**Pb**	**Zn**	**Cr**	**Cd**	**Hg**
ČR - Vyhl. č. 257/2009 Sb. (mg/kg)	100	80	100	300	200	1	0,8
PEC (PEL) (mg/kg)	77,7	38,5	396	1532	159	11,7	0,7
TEC (TEL) (mg/kg)	28	39,6	39,2	159	56	0,592	0,13

4. Praktická část

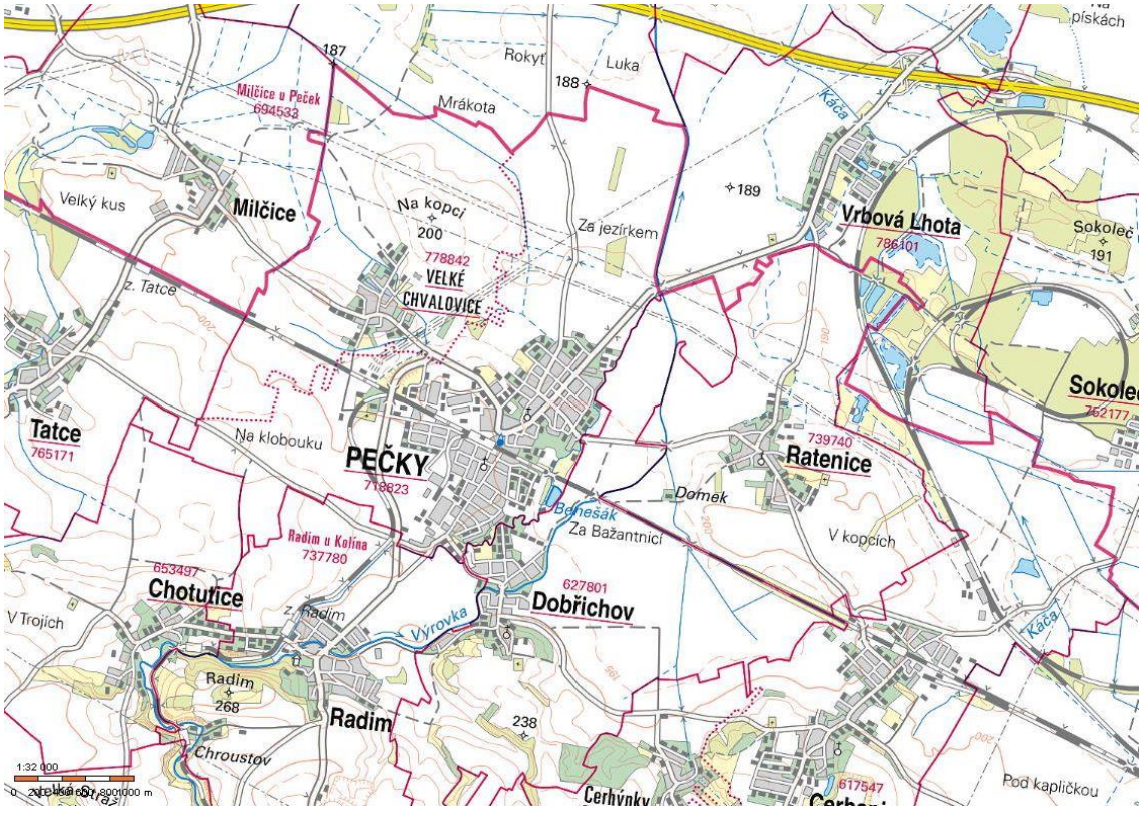
4.1. Charakteristika obce Pečky

Město Pečky bylo k vodohospodářským výzkumům vybráno Katedrou zdravotního a ekologického inženýrství ČVUT již v předchozích letech při zapojení do projektu Technologické agentury České republiky nazvaného CENTRUM VODA s dobou řešení 2020-2026. Koncepce městského odvodnění v Pečkách je podobná mnohým obcím v ČR. Proto lze předpokládat, že Pečky nejsou jediným městem, které se s problematikou rozebíranou v diplomové práci potýká.

Obec Pečky leží ve Středočeském kraji v okrese Kolín asi 10 km jihozápadně od Poděbrad. Území obce, které zahrnuje také vesnici Velké Chvalovice, má rozlohu 1075 ha. Pečky byly původně založeny jako zemědělská osada a díky příznivým klimatickým a půdním podmínkám se zde zemědělské výrobě dařilo. Až ve druhé polovině 19. století došlo díky výstavbě železniční trati Praha-Kolín-Pardubice-Česká Třebová k rozvoji dnešního města. V Pečkách byly vybudovány průmyslové podniky jako cukrovary, chemické továrny, slévárna, nebo továrna na zemědělské stroje (Oficiální stránky města Pečky, 2022). Průmyslové areály zaujímají i v současnosti poměrně velkou část města. Český statistický úřad (ČSÚ, 2022) uvádí, že k datu 1. 1. 2022 žilo v Pečkách 4771 obyvatel.



Obrázek 2: Poloha obce Pečky, ČÚZK [online], [cit. 2022-11-12], Základní mapa ČR, 1:250 000



Obrázek 3: Pečky a přilehlé obce, ČÚZK [online], [cit. 2022-11-12], Základní mapa ČR, 1:30 000

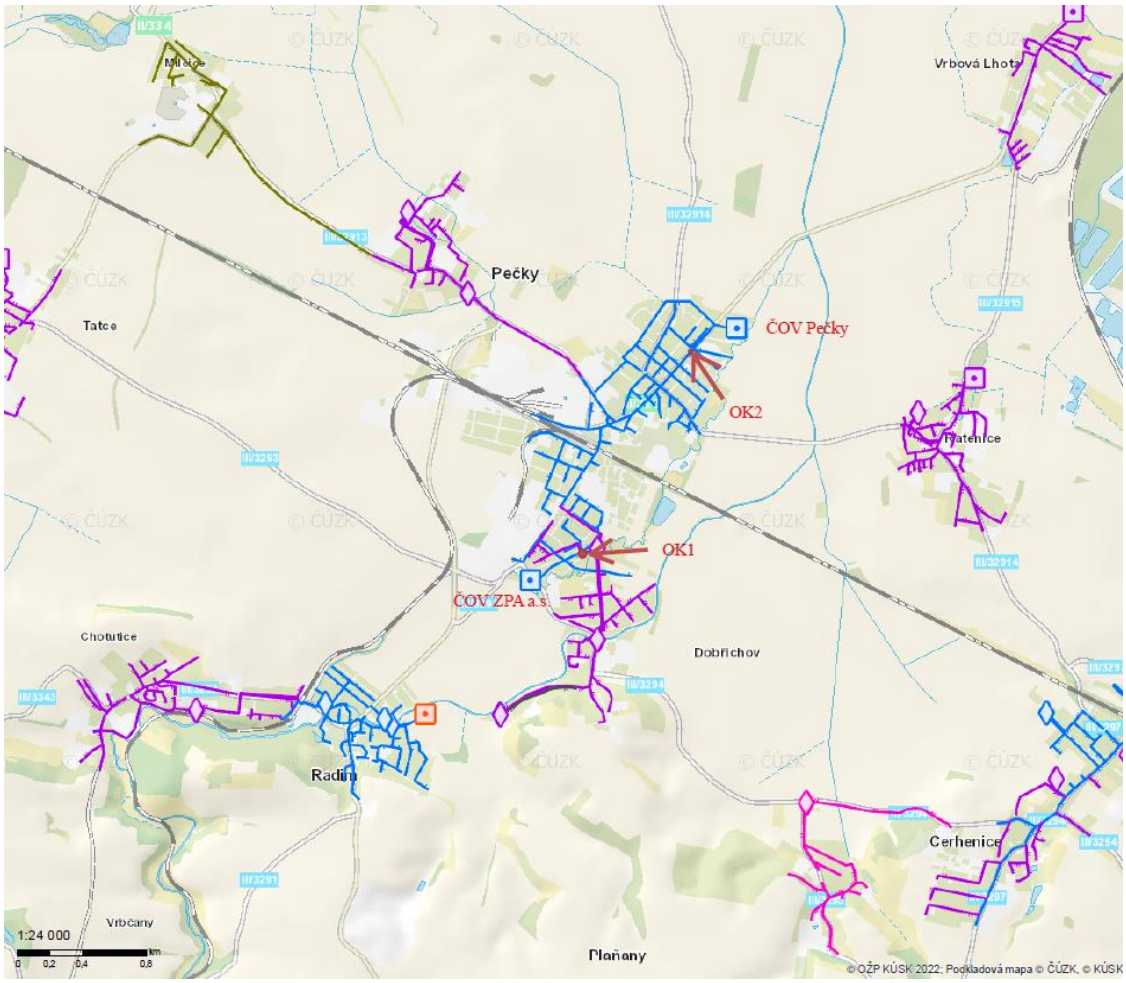
Zdroj Oficiální stránky města Pečky (2022) uvádí souhrn aktuálních i minulých projektů, do kterých se obec zapojila. Projekty často přispívají ke zlepšení kvality městského odvodnění, mimo různé obnovy zeleně, jde například o revitalizaci Mlýnského náhonu, či zapojení do projektu Dešťovka 2021, jež přineslo nápad využití akumulované srážkové vody ze střech kulturního objektu na zálivku městské zeleně. V současnosti je město zapojené do projektu „Hospodaření s dešťovou vodou – Město Pečky“, který je spolufinancován Evropskou unií z fondu Next Generation EU. Projekt je zaměřen na řešení hospodaření se srážkovými vodami a z toho plynoucí zlepšení odtokových poměrů v území za pomoci vybudování podzemních akumulačních nádrží na zachytávání srážkových vod a jejich opětovné využití. V srpnu 2022 byla v Pečkách také zahájena rekonstrukce ČOV za účelem jejího zkapacitnění.

4.2. Městské odvodnění Peček

Výše zmiňované prvky modrozelené infrastruktury zajisté mohou přispět k lepšímu odvodnění obce, které je ovšem primárně řešeno systémem jednotné stokové kanalizace a navazující čistírnou odpadních vod. Povodí ČOV Pečky zahrnuje mimo Pečky samotné i sídelní oblast Velké Chvalovice a tři menší přilehlé obce, jimiž jsou Ratenice, Milčice a Dobřichov. Čistírna odpadních vod, disponující jak mechanickým, tak biologickým stupněm čištění, je situována na severovýchodním okraji Peček a má kapacitu 1050 m^3/d. Bohužel při zvýšených průtocích za deště často dochází z důvodu nedostatečné kapacity k přečerpávání odpadní vody, obtoku ČOV a přepadu přímo do recipientu – Mlýnského náhonu (obr. Příloha 7.). Do stejného recipientu je zaústěn i odtok přečištěné vody z ČOV. Kromě městské čistírny odpadních vod je do recipientu zaústěna ještě jedna podniková mechanicko-biologická ČOV, která se nachází na jihozápadě Peček a má kapacitní průtok 115 m^3/d. Do této čistírny jsou vedeny průmyslové odpadní vody z podniku ZPA a.s., který se mimo jiné zabývá výrobou servomotorů a zpracovává plech na CNC strojích (Novotná, 2022).

Stokový systém samotných Peček je tvořen jednotnou kanalizací, která je vedena gravitačně. Převládajícími materiály stok jsou beton a PVC. Obce Milčice, Dobřichov a Ratenice přivádějí do systému výtlakem odpadní vody z oddílné splaškové kanalizace a Velké Chvalovice z kanalizace jednotné (Novotná, 2022). Z bezpečnostních důvodů, aby nedošlo k haváriím v důsledku překročení kapacity stokové sítě, jsou v jednotné

kanalizaci Peček situovány dvě odlehčovací komory. První odlehčovací komora (OK1) se nachází v jižní části Peček před připojením výtlaku z Dobřichova. OK1 odlehčuje smíšené OV za dešťových průtoků do vodního toku Výrovka. Druhá odlehčovací komora (OK2) je umístěna v severní části stokové sítě před vtokem na ČOV. Recipientem OK2 je již výše zmiňovaný Mlýnský náhon.



Obrázek 4: Situace OK a ČOV na stokové síti Peček, Mapová aplikace OŽP PRVKÚK (2023). Podkladová mapa ČÚZK. [online], [cit. 2023-1-4].

4.3. Průmysloví producenti znečištění

Primárními producenty odpadních vod jsou domácnosti. Ty ale nepředstavují tak velké riziko spojené s problematikou produkce těžkých kovů, proto se v našem případě zaměříme na potenciálně více nebezpečné producenty OV – průmyslové podniky.

V jižní části Peček se nachází dominantní průmyslový areál, kde sídlí již zmiňovaný podnik ZPA Pečky a.s. Firma podniká v oboru strojírenství a elektrotechniky, konkrétně vyrábí servomotory, komplety servopohonů a armatury. Mimo jiné provádí i zpracování plechů na CNC strojích (ZPA Pečky, a.s., 2022). Podnik má vlastní ČOV jejíž odtok je vyústěn do Výrovky společně s odlehčením z OK1. Ostatní průmyslové podniky většinou odpadní vodu jímají a vyváží k přečištění na ČOV Pečky. V blízkosti ZPA Pečky, a.s. se nachází společnost Yuncheng, plate-making CZ, s.r.o., která se věnuje výrobě hlubotiskových gravírovaných válců k potisku různých obalových materiálů. Ve střední části Peček se nachází firma Manver s.r.o., která se zabývá výrobou komponentů průmyslové hydrauliky. Bertrams Pečky, s.r.o. vyrábí nerezové komínové systémy a Saker Pečky, s.r.o. zpracovává a recykluje neželezné kovy. Dále zde sídlí firma KOBRA formy CZ, s.r.o., která je dodavatelem forem pro lisy na výrobu zámkových dlažeb, obrubníků a jiných betonových výrobků. Na severozápadě města se nachází podnik Komet, s.r.o. provádějící opravy a modernizaci požární techniky. Potenciálním zdrojem specifického znečištění by mohlo být i kamenictví s názvem Kámen Pečky, s.r.o. nacházející se v blízkosti OK2 (Novotná, 2022).

4.4. Popis odběrných míst

Obrázek 5: Mapa umístění odběrových profilů, ČÚZK [online], [cit. 2022-10-18], Základní mapa ČR, 1:15 000

4.4.1 Tahiti - OK1

První odběrové místo se nachází na jihu Peček v ulici s názvem Tahiti. Jde o odlehčovací komoru, která je situována na jednotné kanalizační síti blízko místa napojení oddílné podtlakové kanalizace vedoucí z Dobřichova. V místě napojení podtlakové splaškové kanalizace se nachází přečerpávací stanice odpadních vod. Odlehčovací komora slouží mimo jiné pro ochranu tohoto objektu. Ve své práci označuji dané odběrové místo OK1. Zde byl při kampaních odebírán jeden vzorek sedimentu před přepadovou hranou odlehčovací komory.

Odběrové místo OK1 je situováno v části města s převládající zástavbou rodinných domů. V blízkosti se ale také nachází průmyslový areál s dominantním podnikem ZPA

Pečky a.s. zabývající se výrobou servomotorů a zpracováním plechu. Podnik ZPA disponuje vlastní čistírnou odpadních vod, nepředpokládá se tedy zatížení OK1 nečistotami z průmyslových odpadních vod.

Obrázek 6 a 7: OK1 dne 25.8. (vlevo) a 8.9. (vpravo), foto: Lenka Langhammerová (25.8.2022, 8.9.2022)

4.4.2. Výrovka – V1 a V2

Odběrové místo se nachází na jihovýchodním okraji města ve vodním toku Výrovka. V tomto profilu je do toku zaústěn přepad z odlehčovací komory na Tahiti. Ve Výrovce byly pro posouzení vlivu OK odebírány dva vzorky. Vzorek V1 odebírán v profilu přibližně 2 m nad vtokem přepadu z OK a vzorek V2 odebírán 2 m pod zaústěním OK. V tomto místě protéká Výrovka částí města se zástavbou rodinných domů. Na pravém břehu je tok lemován zemědělskými plochami, které by na výskyt TK v tomto profilu mohly mít vliv.

Výrovka je řeka pramenící v severní části Českomoravské vrchoviny v Kochánově ve Středočeském kraji. Její délka je 61,89 km a plocha povodí činí 542,49 km^2. Pečky jsou situovány v koncové části toku (jako předposlední obec před ústím do Labe). Před Pečkami protéká Výrovka několika obcemi včetně Plaňan, kde se nachází hlásný profil

toku. Evidenční list hlásného profilu č.60, (2022) uvádí průměrný roční průtok 0.688 m^3/s a průměrný roční stav hladiny 49 cm. Stoletý průtok je stanoven na 75 m^3/s a byl překročen naposledy v roce 2013 (https://www.edpp.cz/pla_hydrologicke-udaje/) [cit.2022-11-4].

Tabulka 6: N-leté průtoky Výrovky (https://www.edpp.cz/pla_hydrologicke-udaje/)

Q1	Q5	Q10	Q50	Q100
[m³/s]				
7	21.2	30.2	58.9	75

Obrázek 8 a 9: Odběrová profil V2 a ústí OK1 (vlevo), V2 (vpravo), foto: Lenka Langhammerová (22.11.2022)

4.4.3. Třída Jana Švermy – OK2/1, OK2/2

Další dva odběrové profily se nachází v severní části Peček na Třídě Jana Švermy. Pod poměrně frekventovanou dopravní komunikací je zde uložena odlehčovací komora jednotné stokové sítě značena OK2. Odlehčení v této části slouží k zajištění bezpečného provozu ČOV. V zájmovém úseku stokové sítě byly odebírány vzorky z profilu před přelivnou hranou odlehčovací komory – OK2/1 a za přepadem – OK2/2.

Profily jsou situovány v trase dopravní komunikace místního významu, která je vytížena i tranzitní dopravou. V okolí se nachází zástavba rodinných i bytových domů, která je

doplněna minimem zelených ploch. Dále se v blízkosti nachází autoopravna a výrobna prvků z přírodního kamene – Kámen Pečky s.r.o. Mimo eventuální zatížení stokové sítě plynoucí z přítomnosti průmyslových podniků zde předpokládám významný splach znečištěné vody ze zpevněných ploch.

Obrázek 10: OK2 na Třídě Jana Švermy, foto: Lenka Langhammerová (25.8.2022)

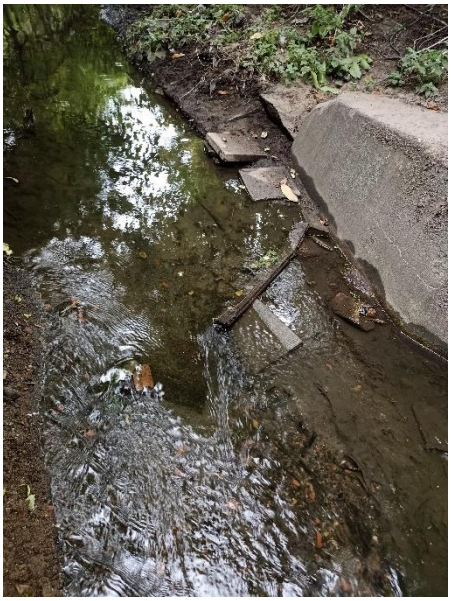
4.4.4. Mlýnský náhon u garáží – MN1, MN2

Mlýnský náhon je umělý vodní tok oddělující se z řeky Výrovky na jejím 16,7. říčním kilometru v obci Radim. Je dlouhý 6,39 km a ve své délce protéká především zemědělskými oblastmi. Tok s několika historickými vzdouvacími objekty a nesčetnou řadou propustků končí opět ústím do Výrovky. Historicky se náhon používal hlavně k přivádění vody k mlýnům. V současné době slouží zahrádkářům k odběru vody pro zálivku zeleně a jako krajinný prvek. Povodně na Mlýnském náhonu nejsou časté a nastávají pouze za extrémních průtoků na Výrovce (např. v roce 2013). Za zvýšených průtoků dochází k vybřežení vody z koryta a povrchovému odtoku ze zemědělsky obhospodařovaných pozemků (ENVICONS s.r.o., 2020).

Odběrné místo v Mlýnském náhonu bylo zvoleno přesně v bodě vyústění odlehčovací komory OK2 do toku. Profily s názvem MN1 a MN2 sledují právě vliv vtoku z odlehčení na kvalitu sedimentu ve vodním toku. Vzorek MN1 byl odebírán v toku 3-5 m před výustí OK2 a vzorek MN2 byl odebírán přibližně 3 m za výustí. Koryto Mlýnského náhonu je

v odběrném místě přirozené tzn. není opevněno kamennou rovnaninou ani betonem. Je také vhodné podotknout, že Mlýnský náhon je velmi malý vodní tok (viz obr. 11 a 12) a odlehčení z kanalizace v něm může vyvolat prudší a více závažné kvalitativní i kvantitativní změny než ve velkých tocích.

Jelikož se profily MN1 a MN2 nachází přibližně 300 metrů od OK2, mohou zde potenciálně působit stejné vlivy zatížení. Případný zdroj těžkých kovů by mohla představovat řada garáží vedoucí od odlehčovací komory k Mlýnskému náhonu. Několik garáží má plechové střešní krytiny, což by mohlo zapříčinit zvýšený obsah zinku nebo mědi v sedimentu. Nesmíme opomenout ani samotný splach z ploch zemědělských vyskytujících se v okolí Mlýnského náhonu.



Obrázek 11 a 12: Odběrový profil Mlýnský náhon – MN1 (vlevo), MN2 (vpravo), foto: Lenka Langhammerová (8.9.2022)

4.4.5. Mlýnský náhon za vyústěním ČOV – MN3

Poslední odběrové místo se nachází v Mlýnském náhonu za vyústěním odtoku z ČOV. Profil byl vybrán pro pozorování vlivu odtoku z ČOV na prostředí ve vodním toku. Předpokládají se zde výsledky závislé na meteorologických podmínkách. Za bezdeštného období odtéká z ČOV pouze vyčištěná voda, ale při srážce (bohužel i s nízkou intenzitou) dochází k čerpání znečištěné vody před vtokem na ČOV a jejímu odlehčení přímo do Mlýnského náhonu.

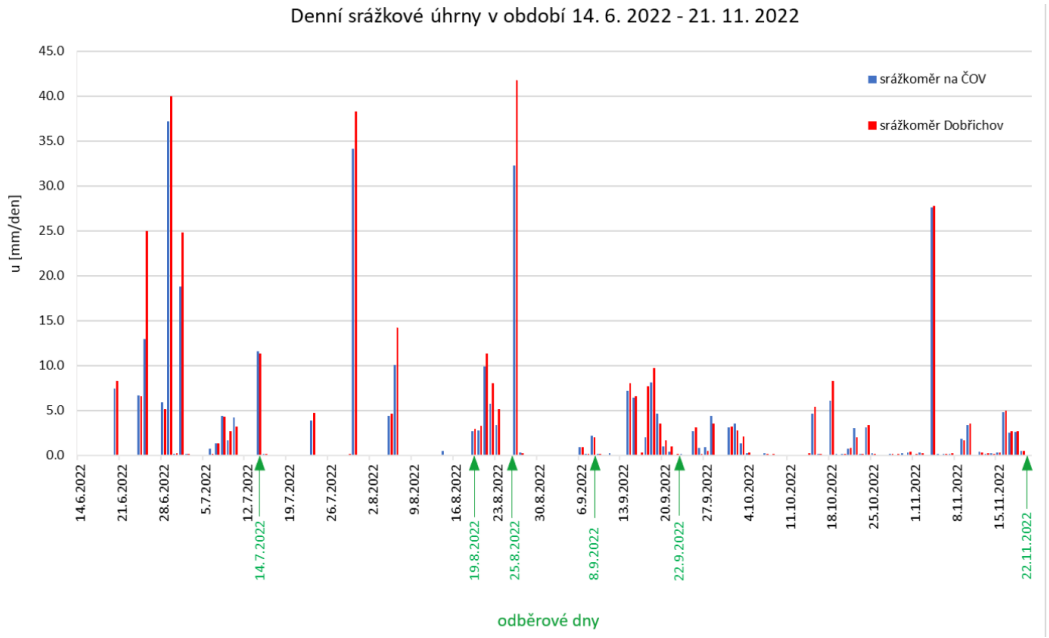
Obrázek 13: Mlýnský náhon za vyústěním ČOV, foto: Lenka Langhammerová (25.8.2022)

4.5. Metodika

4.5.1. Popis odběrových dnů

Odběr vzorků sedimentu pro analýzu těžkých kovů proběhl v Pečkách během šesti odběrových dnů v období od 14.7. 2022 do 22.11.2022. Dny byly voleny s ohledem na počasí se snahou charakterizovat míru znečištění putujícího z odlehčovacích komor do recipientu za různých podmínek (přívalový déšť po suchém období, sucho, srážka s nízkou intenzitou). Intenzita srážky a srážkový úhrn jsou faktory, které ovlivňují hodnotu průtoku v jednotné stokové síti, a tudíž i velikost odlehčení. Z enviromentálního hlediska jsou hrozbou i delší období sucha, po kterých při přívalovém dešti nastává „první splach“ obsahující velké množství nečistot usazených během bezdeštného období. Koncentraci těžkých kovů v recipientu ovlivňují i samotné hydrologické podmínky v toku. Rychlost proudění a velikost průtoku působí jako fyzikální faktory, na kterých závisí mobilizační procesy kovů.

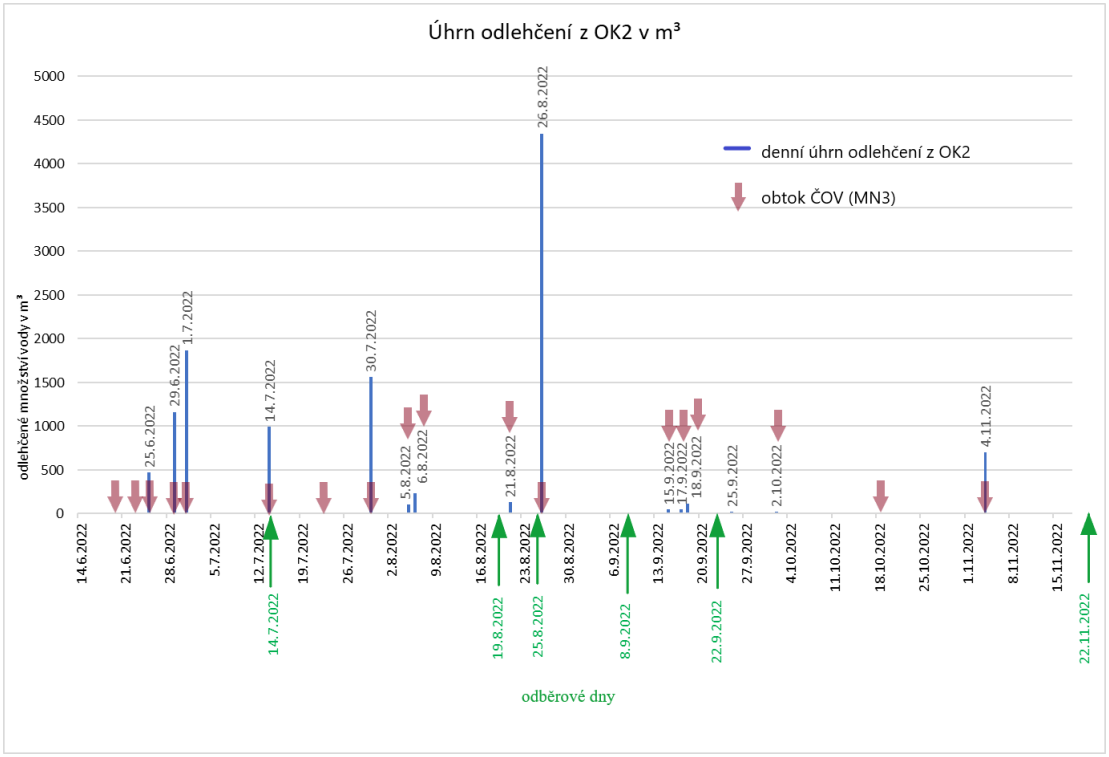
Na obrázku č. 14 jsou graficky zpracovány denní srážkové úhrny z dvou srážkoměrů v Pečkách za období 14.6.2022 – 21.6. 2022. První srážkoměr se nachází na severu Peček u čistírny odpadních vod a druhý naopak na jihu sledované oblasti v přilehlé obci Dobřichov. Záznam srážkových událostí pomáhá lépe charakterizovat období předcházející jednotlivým odběrovým dnům (vyznačeny zeleně).



Obrázek 14: Denní srážkové úhrny ze srážkoměrů na ČOV a v Dobřichově

Na obrázku 15 můžeme vidět graficky zobrazené množství přepadající směsné vody z OK2 v jednotlivých dnech (denní úhrn odlehčení v m^3). Současně s přepady z OK docházelo i k odlehčení na ČOV, jejímu obtoku a vyústění odpadní vody do recipientu Mlýnského náhonu. Tyto případy jsou na grafu znázorněny červenou šipkou. Pro přehlednost jsou opět zeleně vyznačeny odběrové dny.

K přepadům na OK1- Tahiti docházelo ve stejné dny jako na OK2. Graf přepadových výšek na OK1 je přiložen v příloze č 1.



Obrázek 15: Denní úhrn z odlehčení na OK2 a přepady z ČOV

Následující tabulka shrnuje podmínky během odběrových dnů. Popisuje počasí a upozorňuje na přepady z OK a ČOV předcházející odběrovým dnům. Vnější podmínky mohou ovlivňovat koncentrace těžkých kovů v sedimentu. Tento přehled může pomoci vyvodit některé souvislosti ve výsledkové části.

Tabulka 6: Souhrnná tabulka podmínek a okolností odběrů vzorků

Odběrový den	Popis podmínek
14.7.2022	V den odběru pršelo (u=11 mm/den) a docházelo k přepadu na ČOV, OK1 i OK2. Během dvou týdnů před odběrem převažovaly srážky s nízkým úhrnem. K poslednímu přepadu (na všech sledovaných objektech) před odběrem došlo 1.7.2022.
19.8.2022	Odběr po delším (13denním) bezdeštném období. Nedochází k přepadům ani obtoku ČOV. Poslední přepad před odběrem nastal 6.8.2022 na všech sledovaných objektech.
25.8.2022	Odběru předcházely deštivé dny s velmi nízkým srážkovým úhrnem. Mohlo docházet ke splachu nečistot nahromaděných za výše zmíněného suchého období. Poslední přepad z obou OK i ČOV před odběrem nastal dne 21.8.2022. (V příloze č. 7 foto rozvodněné Výrovky)
8.9.2022	První odběrový den po význačné srážce z 26.8. Událost způsobila extrémní přepady na všech objektech (v OK1 vystoupila hladina nad hladinoměrnou sondu, tzn. cca 0.95–1.0 m nade dno odlehčovací stoky). Ve dnech těsně před odběrem docházelo pouze k malým srážkám bez přepadů.
22.9.2022	Odběru předcházelo asi desetidenní období srážek se střední intenzitou. Denní srážkové úhrny se pohybovaly do 10 mm/den. Před odběrem nastaly ve dnech 15.9,17.9. a 18.9. přepady z OK2 a ČOV. Úhrn odlehčení z OK2 nebyl vysoký.
22.11.2022	Poslední odběrový den nastal po předchozích srážkách s nízkou intenzitou, během kterých nedocházelo k přepadům z odlehčení. Poslední přepad z obou OK i ČOV před odběrem nastal dne 4.11.2022 při srážce s úhrnem přes 25 mm/den.

Odběr sedimentu

Odběr vzorků probíhal v odběrových profilech popsaných v předešlé kapitole. Vzorky byly odebírány jak ze dna malých vodních toků (Mlýnský potok, Výrovka), tak i ze dna jednotné stokové sítě v blízkosti odlehčovacích komor, nebo přímo v těchto objektech (OK 1- Tahiti). Zaznamenán byl fakt, že v některých místech vodního toku (místa s hladkým korytem, vyšší rychlostí proudění) se nevyskytuje taková kvantita sedimentu jako v místech s pomalejším prouděním nebo ve stokové síti. I přes to se ve všech odběrových dnech na všech zájmových profilech vyskytovalo dostatečné množství sedimentu pro odběr. Vzorky sedimentu byly odebírány plastovou naběračkou do plastových vzorkovnic proto, aby nedošlo k ovlivnění koncentrací kovů případným stykem s kovovým materiálem. Riziko této metody je možné odplavení nejjemnějších částeček z odebíraného vzorku, jelikož svrchní vrstva sedimentu je zvodnělá. Při samotném odběru bylo snahou předejít nabrání větších anorganických či organických splavenin tak, aby byl získán vzorek sedimentu reprezentativní pro daný profil.

4.5.2. Metodika předúpravy vzorků

Vzorky sedimentu byly zamraženy na teplotu -20 °C a následně sušeny vakuovým vymrazováním v lyofilizátoru Christ Alpha 1-4. Vzorky byly nejprve zbaveny nežádoucích větších částic pomocí hrubého nekovového síta a poté za sucha přesítovány na analytických sítech s nylonovou tkaninou. Velikost ok jednotlivých sít byla volena s ohledem na potřebné zrnitostní frakce sedimentu:

1. celková frakce <600 μm
2. 200-600 μm
3. 63-200 μm
4. <63 μm

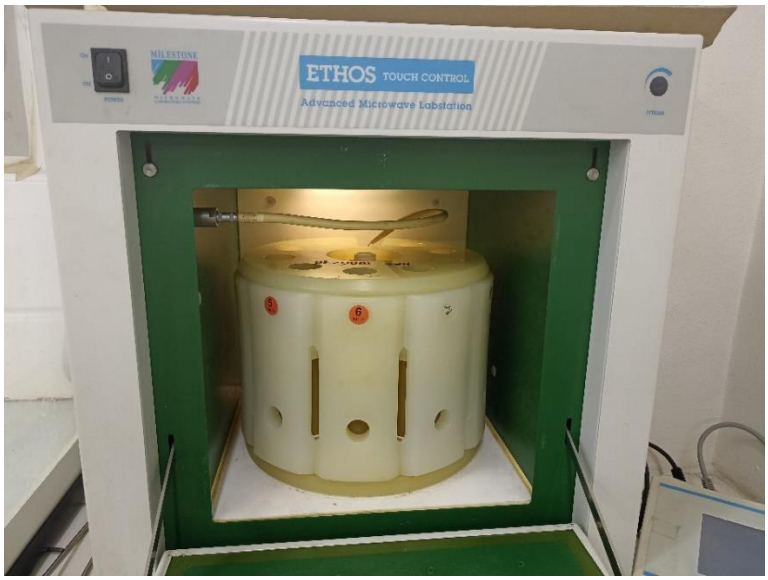
V příloze 8 jsou pro porovnání ukázány dva různé vzorky sedimentů frakce <600 μm. Vzniklé frakce z každého vzorku byly přesypány do plastových nádobek a řádně označeny. Následovala extrakce kovů pro možnost analýzy atomovou absorpční spektrometrií.

Obrázek 16: Sítování vzorku na analytických sítech s nylonovou tkaninou, foto: Lenka Langhammerová (10.10.2022)

Extrakce kovů z pevné matrice

Metoda analýzy koncentrací těžkých kovů (atomová absorpční spektrometrie) vyžaduje použití kapalných vzorků, proto se v rámci předúpravy vzorků uplatňuje extrakce těžkých kovů z pevné fáze do formy roztoku. Extrakce probíhala pomocí metody mikrovlnného tlakového rozkladu EPA 3051 (US EPA, 1994) vyvinuté v USA. Pro správný průběh extrakce je do teflonové nádobky k základní navážce vzorku (1-2 g) přidáno 10 ml kyseliny dusičné (67% HNO_3) a 1 ml peroxidu vodíku (30% H_2O_2). Pomocí této metody se do roztoku uvolňují těžké kovy dostupné pro vodní organismy, které se vážou na méně stabilní struktury sedimentu (oxyhydroxidy Fe/Mn a organická hmota). Aby se zmenšila pravděpodobnost chyby měření, byly pro každý odběrový profil vytvořeny dva vzorky pro rozklad. Teflonové nádobky uzavřené v krycích blocích byly umístěny do mikrovlnné trouby MILESTONE Ethos TOUCH CONTROL, kde probíhal samotný rozklad. Jeden z bloků je vybaven snímačem teploty a tlaku, proto lze průběh celého rozkladného procesu sledovat na displeji přístroje. Po vychlazení a přefiltrování vzorků pro odstranění nerozloženého podílu, byly roztoky přelity do padesátimililitrových baněk a doplněny

deionizovanou vodou do příslušného objemu (50 ml). Vzorky připravené k analýze byly uchovávány v PE vzorkovnicích (Langhammerová, 2021, Hnaťuková, 2007).



Obrázek 17: MILESTONE Ethos TC se vzorky v krycích blocích, foto: Lenka Langhammerová (2022)

Obrázek 18: Průběh rozkladného procesu, foto: Lenka Langhammerová (2022)

Obrázek 19: Filtrace vzorků v baňkách, foto: Lenka Langhammerová (1.11.2022)

4.5.3. Analýzy vzorků

Atomová absorpční spektrometrie s plamennou atomizací

Vzorek ve formě roztoku je nasán kapilárou a rozprašován do plamene, k jehož pohonu se jako palivo používá směs různých plynů s ohledem na analyzovaný kov. Pro prvky, které se snadno atomizují (v našem případě Cu, Ni, Pb, Zn) se používá kombinace vzduchu a acetylenu. Pro prvky s horší schopností atomizace (Cr) je vhodná kombinace plynů oxidu dusného a acetylenu. V plamenu dochází k žíhání vzorku při teplotě 2100-2800 °C (nižší teploty pro vzduch a acetylen, vyšší pro oxid dusný a acetylen). Skrz plamen prochází paprsek světla určité vlnové délky do mřížkového monochromátoru, který vyčleňuje úzký obor vlnových délek, a dále do detektoru. Paprsek je vyzařován lampou s dutou katodou, která je vyrobena ze stejného kovu, k jehož identifikaci je určena (Jiráková, 2014).

Principem detekce kovů pomocí AAS je absorpce záření z lampy volnými excitovanými atomy vzorku. Excitované atomy vznikají přeskokem elektronů na vyšší energetickou hladinu v atomizátoru a vydávají energii ve formě světelného záření. Jednotlivé atomy mají snahu vyrovnat svou vnitřní energii, a tak absorbují světelné záření z lampy. Záření, které nebylo absorbováno, prochází již zmíněným monochromátorem a dopadá na fotonásobič (detektor). Úbytek energie (záření) na dané vlnové délce je registrován jako

výsledná absorbance a odpovídá množství kovu v analyzovaném vzorku (Hnaťuková, 2007).

Mezi výhody FAAS bychom mohli zařadit rychlost analýzy, možnost opakovatelného měření a poměrně nenákladný provoz přístroje. Nevýhodou by mohlo být, že přístroj dokáže analyzovat pouze vzorky s vyššími koncentracemi. Pro koncentrace v řádech µg/l je vhodnější metoda měření s elektrotermickou atomizací.

Obrázek 20 a 21: FAAS, s pohonem směsi oxidu dusného a acetylenu, vlevo – bez vzorku, vpravo – se vzorkem, foto: Lenka Langhammerová (9.11.2022)

Atomová absorpční spektrometrie s elektrotermickou atomizací

Elektrotermická atomizace (ET AAS), zde použita pro analýzu Cd, umožňuje analyzovat o tři řády nižší koncentrace (tzn. koncentrace v řádu µg/l) než FAAS. Principem této metody je rozrušení chemických vazeb v molekulách přítomných sloučenin a tvorba volných atomů v atomizátoru, jímž je grafitová kyveta. Za pomoci autosampleru se do malé odporově vyhřívané grafitové kyvety elektrotermického rozprašovače dávkuje velmi malé množství vzorku (10-40 µl). Postupným ohřevem kyvety probíhajícím v několika krocích dochází k atomizaci vzorku a přechodu prvku do plynného stavu. Kyveta je zahřívána v atmosféře tvořené čistým argonem a zamezuje se vstupu kyslíku.

Teplotní program v atomizátoru zahrnuje různé teplotně odlišné kroky a musí být pro analyzovaný prvek a daný přístroj optimalizován (Jiráková, 2014).

Průběh teploty při analýze (https://old.fch.upol.cz/vyuka/zaklady-fyzikalne-chemickych-metod-zfcm/), [cit.-2022-12-4]:

1. Ohřev nad teplotu varu rozpouštědla – vysušení vzorku, do 120°C
2. Ohřev na teplotu pyrolýzy–odstranění co největší části matrice vzorku, 500 °C
3. Ohřev na teplotu atomizace–vytvoření oblaku plynných atomů, 2 000-3 000 °C
4. Krátkodobé zahřátí kyvety nad teplotu atomizace – vyčištění kyvety
5. Ochlazení kyvety na počáteční teplotu

Výhoda ET AAS je účast kompletního množství vzorku na absorpci elektromagnetického záření, vysoká citlivost měření (nízký detekční limit) a dostačující malé množství vzorku (Jiráková, 2014).

Obrázek 22: ET AAS, foto: Lenka Langhammerová (4.5.2021)

Analýza rtuti

Rtuť byla analyzována z pevné matrice, bez nutnosti její extrakce ze sedimentu, na přístroji AMA 254 (Altec, ČR). Postup analýzy zahrnuje navážení vzorků do malých niklových spalovacích lodiček, v nichž probíhá detekce TK. Navážka se řídí předpokládaným obsahem rtuti a pohybuje se v hodnotách cca 500 µl kapalného vzorku nebo hmotnost cca 300 mg pevného vzorku. Následně nastává řízený proces vysušování a pálení vzorku ve spalovací peci (v případě nehořlavého vzorku je rtuť uvolněna ohřevem). Rozkladné produkty jsou poté vedeny do amalgamátoru, kde se selektivně zachytí rtuť (Komínková, 2010) .

Altec s.r.o., 2010 v Návodu na obsluhu AMA 254 uvádí:

„*Advanced Mercury Analyser AMA 254 je jednoúčelový atomový absorpční spektrometr pro stanovení rtuti. Je určen pro přímé stanovení obsahu rtuti v pevných či kapalných vzorcích bez potřeby chemické předúpravy vzorků (mineralizace ap.). Využitím techniky generování par kovové rtuti s následným zachycením a nabohacením na zlatém amalgamátoru se dosahuje mimořádně vysoké citlivosti stanovení a nezávislosti výsledku stanovení na matrici vzorku.*“

Obrázek 23: AMA 254, foto: Lenka Langhammerová (21.12.2022)

Analýza obsahu organických látek

Pro stanovení obsahu organických látek ve vzorcích byla použita metoda stanovení ztráty žíháním podle normy ČSN EN 15935 (838126).

Obsah organické hmoty (OM) byl analyzován jako doprovodný ukazatel kvality a vlastností sedimentu pro možnost lepší interpretace výsledků koncentrací s předpokladem vyšší vazby kovů do sedimentu s vyšším obsahem organické hmoty.

Z každého celkového vzorku sedimentu byl navážen jeden vzorek do keramického žíhacího kelímku. Hmotnosti prázdných kelímků a kelímků se vzorky byly zapsány do tabulky. Kelímky se vzorky byly vloženy na 5-6 hodin do muflové pece s teplotou žíhání 550°C. Během žíhání v peci se ze vzorků sedimentu vypálí organická hmota. Následně se vzorky vytemperují na pokojovou teplotu v exikátoru a po vychladnutí je zaznamenána jejich hmotnost. Hmotnostní úbytek vyjádřený dle uvedeného vztahu, stanovuje ztrátu žíháním v %.

Stanovení ztráty žíháním (ČSN EN 15935):

$$LOI = \frac{m_1 - m_2}{m_1} . 100\ (\%)$$

m_1 ..... hmotnost vzorku vysušeného do konstantní hmotnosti
m_2 ..... hmotnost vzorku po vyžíhání

Zrnitostní analýza

Zrnitostní složení vzorků bylo analyzováno na laserovém analyzátoru velikostní distribuce částic Malvern Mastersizer 3000 s mokrou dispergací.

Oficiální distributor ANAMET s.r.o., 2023 uvádí:
„Principem měření je světelná difrakce laserového paprsku, který proměnně pracuje na vlnové délce 633nm Helium Neon (červený laser) spolu s 20 mW, 470nm modrým LED zdrojem světla a poskytuje tak v této kombinaci mimořádné rozlišení v sub-mikronové oblasti. Širokoúhlý detekční systém (0.015-144 stupňů) zajišťuje konzistentní rozlišení. Integrovaný procesor pracuje se vzorkovací frekvencí 10 000 odečtů za vteřinu. Analyzátor poskytuje stanovení distribuce velikosti částic v rozsahu 0.01 – 3500 mikronů za použití pevně nastaveného systému optických čoček.“

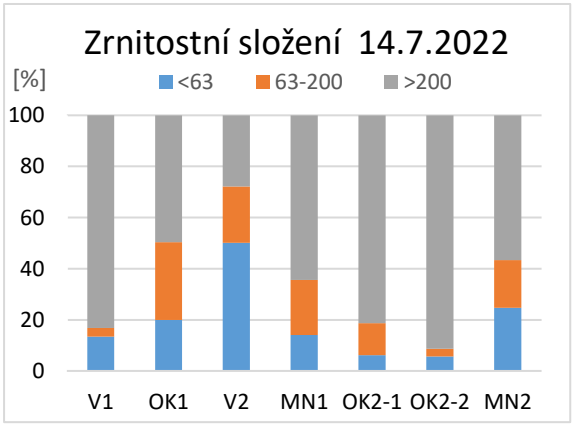
5. Výsledky

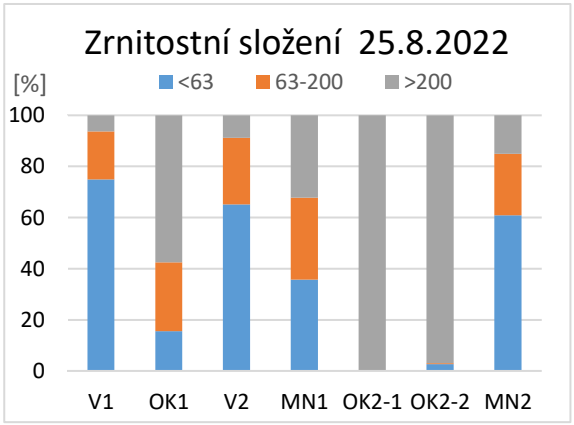
5.1. Výsledky pomocných analýz

5.1.1. Zrnitostní analýza

V následujících grafech je vyjádřeno procentuální zastoupení tří zrnitostních frakcí o velikosti zrn <60 µm, 63-200 µm, >200 µm v každém jednotlivém vzorku sedimentu ve všech odběrových dnech.

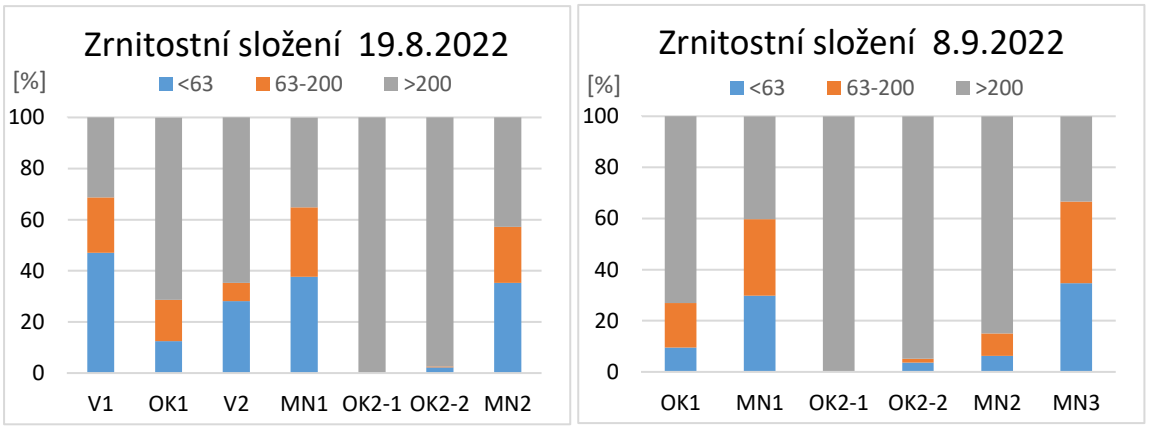
Při vzájemném porovnání všech odběrových dnů si můžeme všimnout zajímavých faktů. Největší zastoupení hrubozrnné frakce mají vzorky z odlehčovacích komor, a to zejména z OK2. Obsahují minimum frakcí jemnějších a jejich složení se během odběrových dnů výrazně neměnilo. Stabilní zrnitostní složení v různých dnech vykázaly i vzorky z odběrového profilu MN1. Jejich rozložení do frakcí je téměř rovnoměrné (tzn. 1:1:1) s výjimkou dnů 14.7.2022 a 22.11.2022, kdy obsahují převahu hrubozrnné frakce. Výrazně proměnlivé jsou vzorky z Výrovky (více V1), což by mohlo mít souvislost s hydrologickou situací (vymývání jemné frakce za vyšších průtoků). V1 a V2 stejně tak jako MN3 často obsahují velké množství nejjemnější frakce, do které by se mohly lépe vázat určité těžké kovy.





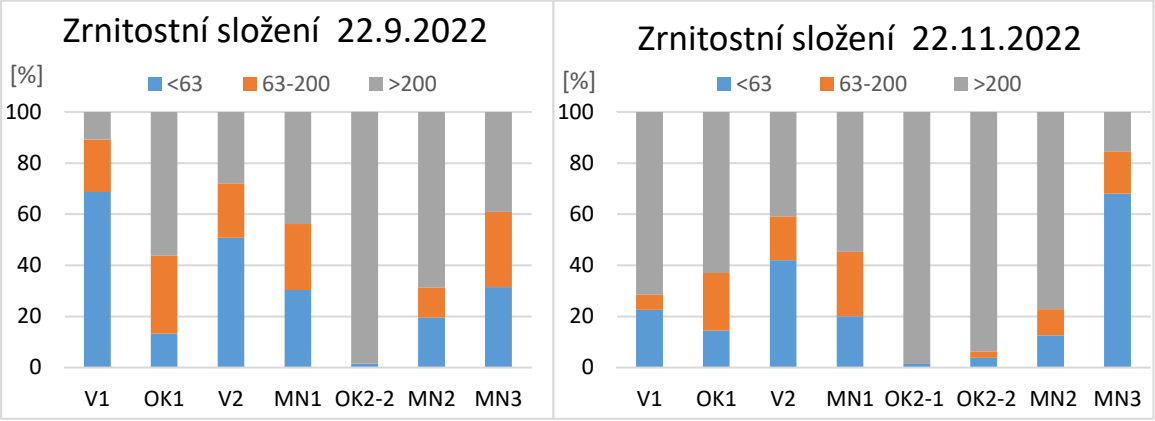
Obrázek 24 a, 24 b: Zrnitostní složení vzorků z 14.7. a 25.8.

Zrnitostní složení ze dne 14.7.2022 (obr. 24 a) je specifické v tom, že vzorky z míst za odlehčovacími komorami (V2, MN2) mají vyšší obsah nejjemnější frakce, než vzorky z míst nad nimi (V1, MN1). Vzhledem k probíhajícímu deštivému období by mohlo jít o jemné částice vyplavené z OK. Vyšší obsah nejjemnější frakce by dle Huang et al. (2020) mohl vést k vyšší vazbě těžkých kovů. OK 2 v tento den obsahovala asi 15 % frakce 63-200 µm a cca 5% frakce jemnější. V dalších dnech se stejné složení nepotvrdilo a vzorky z OK2 byly tvořeny z 90-100 % hrubozrnnou frakcí. Ve vzorcích ze dne 25.8.2022 kromě OK2 obsahoval nejvíce hrubozrnné frakce sediment OK1 (cca 60%). U ostatních vzorků byl podíl hrubozrnné frakce velmi nízký a množství středně hrubé frakce se pohybovalo od 20 do 30 %. Jemná frakce převažovala velmi výrazně u vzorků V1, V2, MN2.



Obrázek 25 a, 25 b: Zrnitostní složení vzorků z 19.8. a 8.9.

Vzorky ze dne 19.8.2022 jsou zrnitostně rozmanité. U V1 a MN1 převažuje frakce nejjemnější nad tou hrubozrnnou. V2 a OK1 naopak obsahují větší množství frakce hrubé. Sediment z MN2 má zhruba stejný obsah hrubé i jemné frakce. Střední frakce tvoří asi 20 % vzorku. Ve vzorcích z data 8.9.2022 převažuje hrubá frakce. Výjimkou jsou MN1 a MN3, kde je rozložení všech frakcí rovnoměrné.

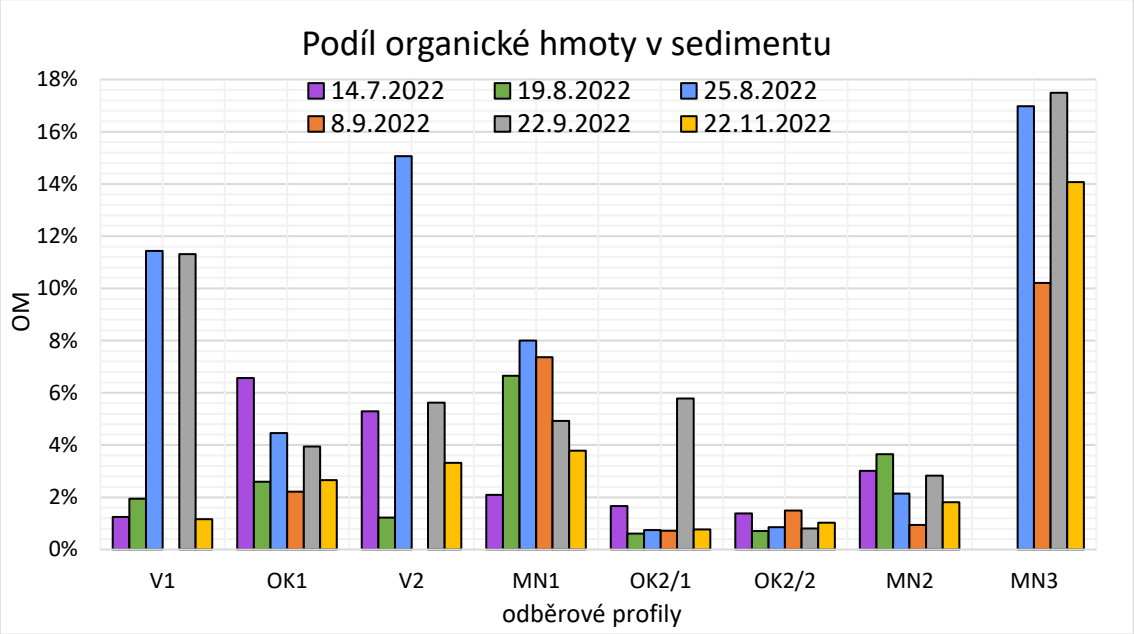


Obrázek 26 a, 26 b: Zrnitostní složení vzorků z 22.9. a 22.11.

Nejvyšší obsah jemnozrnné frakce ve vzorcích ze dne 22.9.2022 obsahovaly profily V1, V2, MN1 a MN3. Sediment z profilů recipientů před ústím OK obsahuje více jemné frakce než sediment za ústím. Ve dne 22.11.2022 byla zrnitost vzorků odlišná. Nejvýraznější změnu zaznamenává zrnitostní složení V1, kde v posledním odběrovém dni převažuje hrubozrnná frakce (téměř 80 %). Podobné zastoupení jednotlivých frakcí má MN2. Naopak vzorek MN3 vykazuje více než 60% jemnozrnnost.

5.1.2. Množství organické hmoty

Jak už bylo zmiňováno v teoretické části diplomové práce, vysoký podíl organické hmoty v sedimentu může vést k vyšší vazbě těžkých kovů. Pro možnost vyvození širších souvislostí byl vytvořen graf znázorňující množství organické hmoty vzorků z jednotlivých odběrových profilů.



Obrázek 27: Podíl organické hmoty v sedimentu

Z grafu vyplývá, že profilem s největším podílem organické hmoty (OM) v sedimentu je Mlýnský náhon za čistírnou odpadních vod (MN3). Obsah OM ve vzorcích z MN3 (až 18 %) je výrazně vyšší než OM ve výše (proti proudu) položeném profilu stejného vodního toku MN2 (max. 4 %). Výrazné zastoupení OM v profilu MN3 může mít souvislost s vyústěním ČOV, která disponuje i biologickým stupněm čištění. Menší procento OM měl sediment MN3, MN2 i OK1 při odběru 8.9. Dle obr. 15. před tímto odběrem nedocházelo k odlehčení z OK2 ani přepadu OV z ČOV. Odběrové místo MN1, které se nachází pouze o pár metrů výše než MN2, prokazuje téměř trojnásobné podíly OM. Tyto zásadní rozdíly korelují i se zrnitostním složením, jelikož vzorky MN1 jsou více jemnozrnné než MN2 (s výjimkou 14.7. a 25.8. 2022).

Podíl organické hmoty ve vzorcích z Výrovky v odběrových dnech razantně kolísá mezi 1 až 15 %. Nejvyšších hodnot OM dosahují vzorky V1 i V2 ve dnech 25.8. a 22.9. zároveň s vysokým obsahem nejjemnější frakce. Ve většině odběrových dnů (kromě 19.8. a 22.9.)

převládá množství OM v profilu V2 nad V1. Zajímavé je, že OK1 vykazuje ve všech dnech vyšší obsah OM než OK2.

5.2. Vyhodnocení vlivu městského odvodnění na recipienty

Pro posouzení vlivu městského odvodnění na recipienty v Pečkách byly vytvořeny podrobné grafy koncentrací každého kovu v jednotlivých odběrových dnech. V grafech jsou pro představu míry závadnosti daných koncentrací vyznačeny hodnoty zahraničního ekotoxikologického kritéria TEC a PEC (pro Hg PEL a TEL). V případě, že tyto hodnoty nejsou vyznačeny, se dané koncentrace neblížily limitům. V přílohách 2. a 3. jsou k nahlédnutí i podrobné grafy popisující koncentrace v rozvržení s odběrovými dny na ose x.

Pro zjištění tendence vazby do organické hmoty byl proveden doplňkový výpočet korelačních koeficientů koncentrací těžkých kovů a OM. Korelace byla vypočtena ze všech hodnot celkových koncentrací kovů (tzn. neliší se pro Výrovku a Mlýnský náhon).

Tabulka 7: Korelační koeficienty koncentrací kovů a obsahu OM v sedimentu

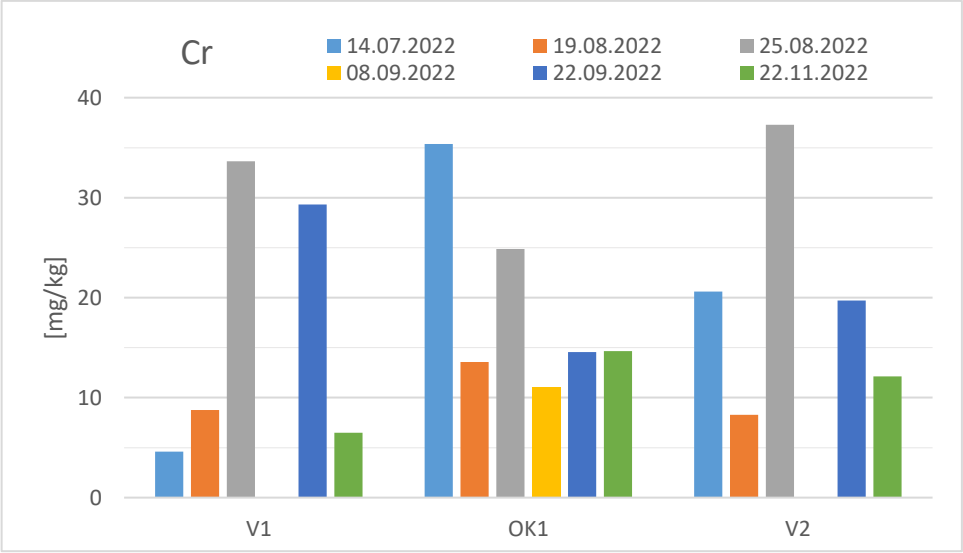
Cr	Cd	Cu	Ni	Pb	Hg	Zn
0.84	0.64	0.37	0.88	0.63	0.67	0.64

5.2.1. Vliv OK1 na Výrovku

V následujících grafech jsou ukázány koncentrace jednotlivých kovů ve třech profilech – V1 (Výrovka nad ústím OK1), V2 (pod ústím OK1) a samotné OK1. Zpracování přehledně zobrazuje vliv odlehčovací komory na recipient. V první řadě je dobré si všimnout, že koncentrace všech těžkých kovů jsou v odlehčovací komoře poměrně vysoké (nikde nejsou zanedbatelné). Již z tohoto faktu lze usoudit, že OK má na recipient podstatný vliv, jehož míra se bude pro každý kov lišit.

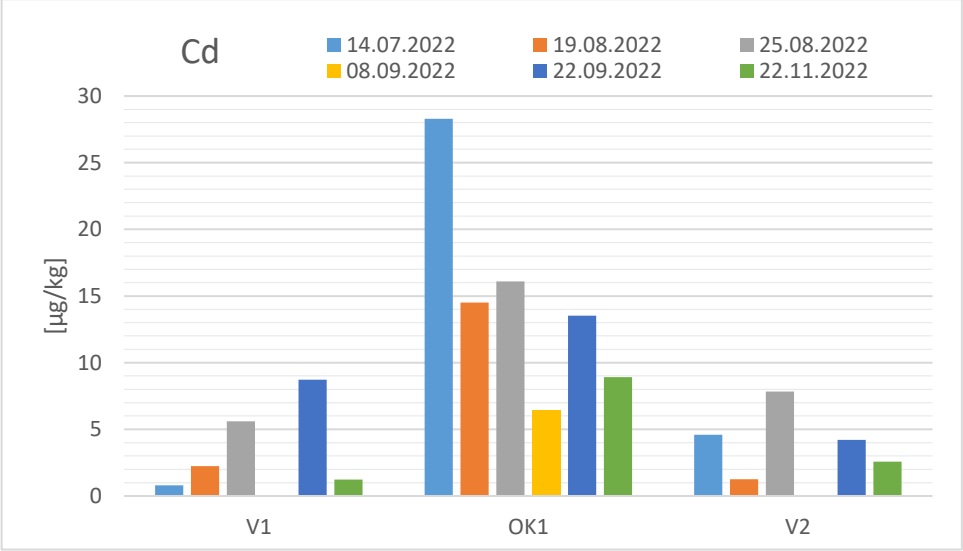
Prvním posuzovaným těžkým kovem je chrom. V následujícím grafu (obr. 28) je vidět, že jeho koncentrace v OK1 jsou ve všech odběrových dnech s výjimkou 25.8. a 22.9. vyšší než ve Výrovce. Dny 25.8 a 22.9. jsou dle tabulky 7. charakteristické

předcházejícím obdobím srážek s nízkou intenzitou, takže nečistoty z povrchu nemusely být do stokové sítě splaveny naráz. Nutno si uvědomit, že v případě deště nedochází pouze ke splachu do stokové sítě, ale také k přímému splachu ze zastavěných a zemědělských ploch do recipientu. Vyústění OK zvýšilo koncentrace chromu ve Výrovce ve dnech 14.7., 25.8. a 22.11. Nejvýraznější navýšení nastalo 14.7., což mohlo být ovlivněno vyšším obsahem OM v profilu V2. Celková vazba chromu do OM je velmi vysoká. Odpovídá jí korelační koeficient 0,84. Ve dnech 19.8. a 22.9., kdy se koncentrace chromu za OK1 snížila, obsahoval profil V2 méně OM než V1. Chrom v žádném profilu nepřekročil limitní hodnotu TEC ani PEC.



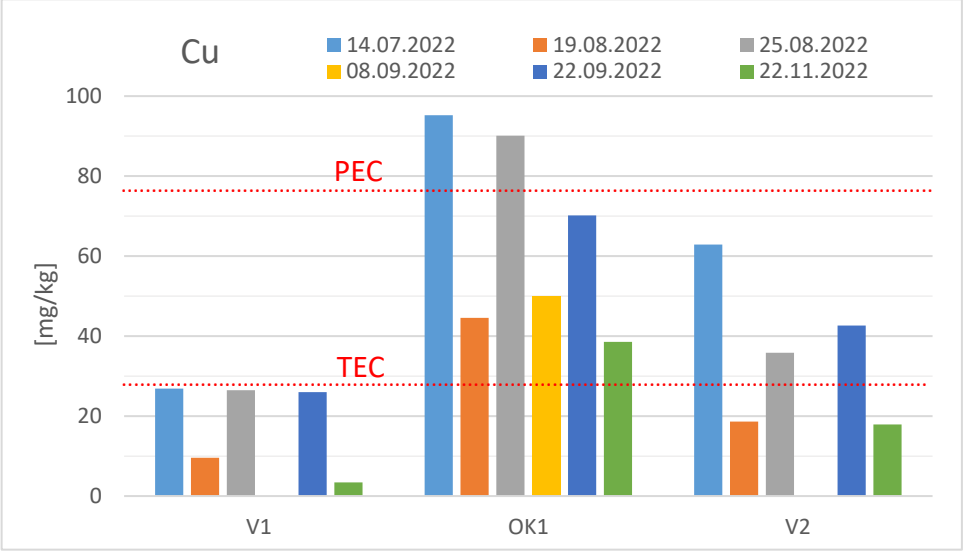
Obrázek 28: Chrom ve Výrovce

Kadmium stejně tak jako chrom nepřekročilo zahraniční limitní hodnoty. Tento kov doslova kopíruje stejný průběh koncentrací jako u předešlého chromu. Obrázek 29. ukazuje, že jeho koncentrace ve stokové síti jsou násobně větší než v recipientu. K nárůstu obsahu kadmia pod OK1 došlo ve dnech 14.7., 25.8. a 22.11. V tyto dny profil V2 obsahoval větší množství OM než provil V1. Kadmium vykazuje menší korelaci s OM než chrom (0,64).



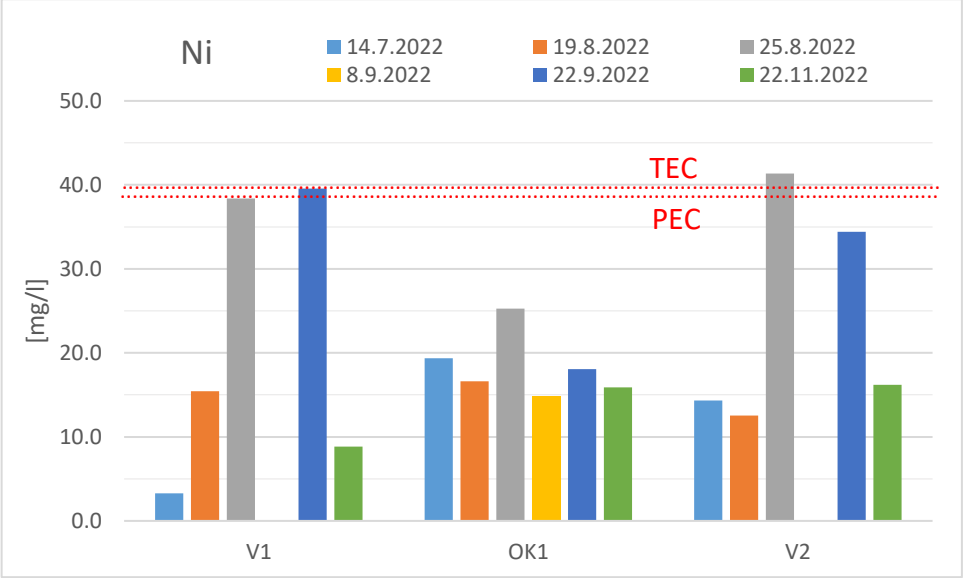
Obrázek 29: Kadmium ve Výrovce

Z grafu (obr. 30) lze pozorovat, že měď by pro Výrovku mohla znamenat větší riziko než předešlé kovy, protože její koncentrace v profilu pod OK překročily hodnotu TEC. Tento fakt může být zapříčiněn vazbou do organické hmoty společně s vlivem OK, kde koncentrace mědi v určité dny dokonce překračují hodnoty PEC. Měď se v rámci výzkumu celkových koncentrací TK váže ze všech kovů nejméně do organické hmoty (korelace s OM 0,37). Ve všech odběrových dnech jsou koncentrace mědi vyšší za odlehčovací komorou. Zajímavé je, že v profilu V1 jsou koncentrace Cu stejné v den, kdy sediment obsahoval málo OM (14.7.), a ve dny, kdy bylo % OM nejvyšší (25.8. a 22.9.). Ve dne 22.9. došlo k nárůstu koncentrace mezi profily V1 a V2, který nekoreluje s OM (ta je v profilu V2 nižší než ve V1). V tomto případě je vliv odlehčovací komory více prokazatelný.



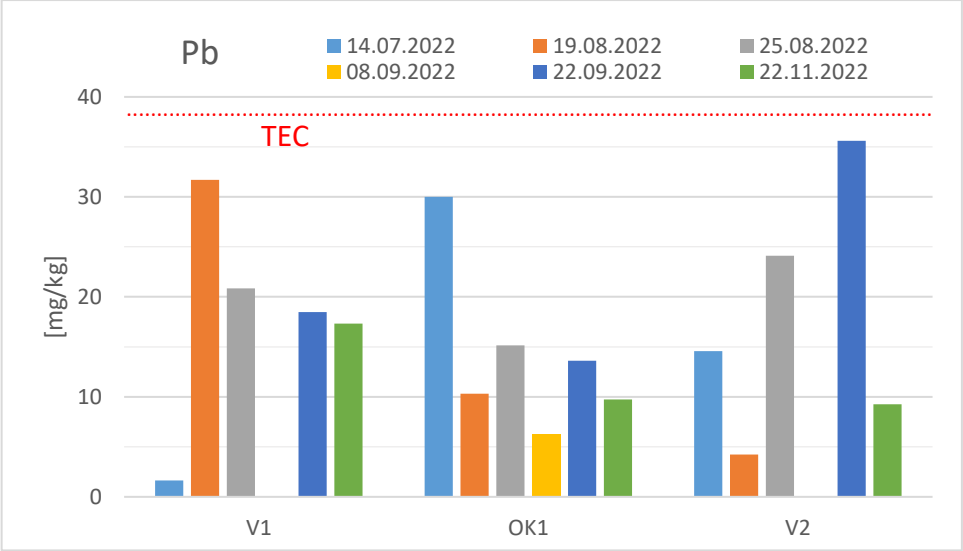
Obrázek 30: Měď ve Výrovce

Koncentrace niklu na obrázku 31. má stejný průběh jako u předešlých kovů. V OK1 se koncentrace pohybovaly v porovnatelných hodnotách jako v recipientu s výjimkou dat 25.8. a 22.9., kdy koncentrace v recipientu vystoupaly až na hodnotu PEC. Vliv odlehčovací komory společně s pozitivní vazbou do organické hmoty se projevil ve dnech 14.7., 25.8. a 22.11. Nikl má v rámci analýzy celkových koncentrací kovů nejvyšší korelaci s obsahem OM (0,88).



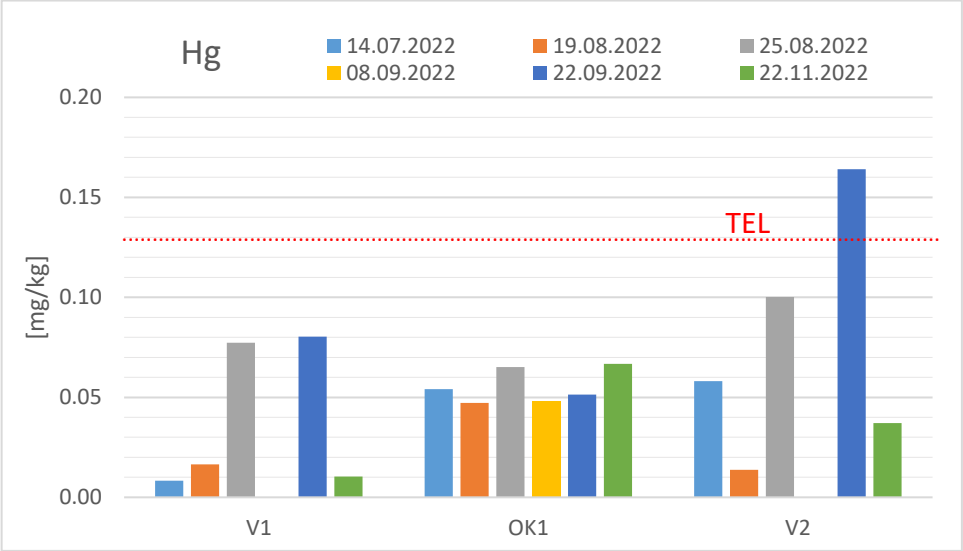
Obrázek 31: Nikl ve Výrovce

Koncentrace olova dle obr. 32. je v profilech velice proměnlivá. Ústí OK vyvolává prudké reakce nárůstu koncentrací ve dnech 14.7. a 22.9. Stejně jako u mědi se koncentrace z 22.9. vymyká souladu s obsahem OM, za vyústěním OK prudce roste a přibližuje se hodnotě TEC. S organickou hmotou nekorelují ani koncentrace z 19.8. a 22.11. Obsah olova v OK1 ze 14.7. převyšuje ostatní ve stejném profilu. To by mohlo být důsledkem splachu nečistot za probíhajícího deště, nebo vazbou na OM. Zajímavé je, že v toku Výrovky je obsaženo poměrně vysoké množství olova ještě před vyústěním OK1. Vysoká koncentrace na V1 ve dne 19.8. koreluje pouze s vysokým obsahem jemné frakce vzorku (přes 40 %). Se zrnitostním složením by mohl souviset i klesající trend koncentrací v profilech toho dne.



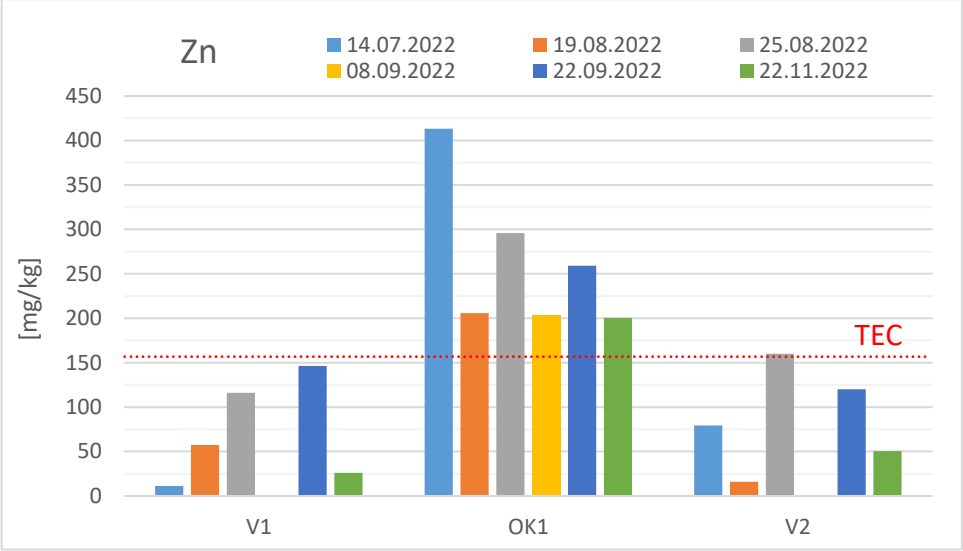
Obrázek 32- Olovo ve Výrovce

Následující graf vyhodnocuje obsah rtuti. Rtuť byla v kanalizaci obsažena v poměrně vysokých koncentracích, a to se projevilo i na recipientu. Za OK1 byly ve všech dnech kromě 19.8. koncentrace vyšší než před ní (četnější navýšení má jen měď). Nejvyšší koncentrace se vyšplhala nad hodnotu TEL ve dne 22.9. 2022. Stejný nárůst koncentrací nepodložený teorií mezi profily V1 a V2 zaznamenalo v ten samý den olovo a měď.



Obrázek 33: Rtuť ve Výrovce

Zinek se dle obrázku 34. ve vodním toku před vyústěním OK1 vyskytoval v koncentracích menších než 150 mg/kg a nepřekročil tak hranici TEC. Jeho koncentrace v odlehčovací komoře jsou podstatně vyšší a ve dnech 14.7. a 25.8. způsobily viditelný nárůst i ve spodním profilu Výrovky (V2). Dle grafů (obr. 25. a 27.) korelují v těchto dnech hodnoty s vysokým obsahem OM i s jemnější zrnitostí vzorků. Dne 25.8. 2022 byla dokonce dosažena limitní hodnota TEC.



Obrázek 34: Zinek ve Výrovce

5.2.2. Shrnutí vlivu na Výrovku

V odlehčovacích komorách na stokové síti byly u kovů Zn, Cu, Cd, (někdy i Cr) koncentrace obecně vyšší než v recipientu. Tento fakt sám o sobě podněcuje myšlenku, že jakýkoliv přepad z OK na stokové síti musí mít negativní vliv na recipient. Sediment Výrovky v profilu pod OK vykazoval často zvýšené koncentrace TK oproti hornímu profilu. Výrazné zvýšení téměř ve všech odběrových dnech zaznamenaly kovy Cu a Hg, ostatní kovy byly více ovlivněny nižším obsahem organické hmoty v profilu V2. Téměř všechny kovy byly v OK1 zastoupeny v nižších koncentracích ve dnech 19. 8., 8. 9. a 22. 11. 2022. Vysvětlení by mohlo vycházet z obrázku 14., který ukazuje, že těmto dnům předcházely menší úhrny srážek než v ostatní odběrové dny, a proto docházelo k méně výraznému splachu nečistot do stokové sítě. Z toho vyplývá i menší nárůst koncentrací (či pokles) na profilu V2. Důkazem negativního vlivu OK1 na Výrovku jsou koncentrace

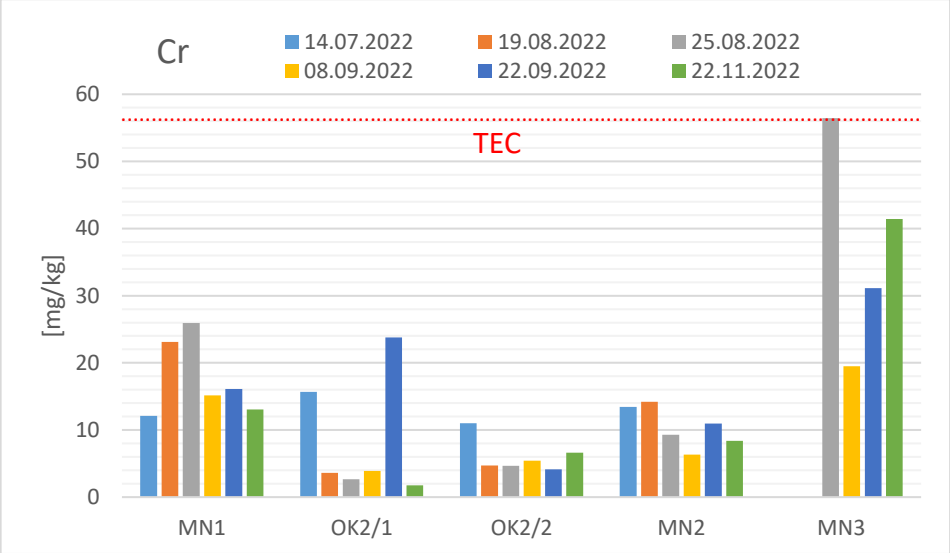
kovů Cu, Hg a Pb ve dne 22.9., které jsou vyšší pod odlehčovací komorou než nad ní i přes nižší podíl OM v dolním profilu.

5.2.3. Vliv OK2 a ČOV na Mlýnský náhon

Následující grafy vyhodnocují koncentrace jednotlivých kovů v pěti profilech – MN1 (Mlýnský náhon nad ústím OK2), MN2 (pod ústím OK2), OK2/1 (před přelivnou hranou), OK2/2 (OK za přelivnou hranou) a MN3 (za vyústěním ČOV). Sleduje se vliv OK2 a ČOV na Mlýnský náhon. Při výrazně odlišných koncentracích OK2/1 a OK2/2 je více směrodatná druhá zmíněná, jelikož udává koncentraci ústící do recipientu.

Koncentrace těžkých kovů v OK2 většinou nepřevyšují koncentrace v recipientu a velmi dobře korelují s obsahem OM. Tento fakt je ukázán na koncentracích v OK2/1 ze dne 22.9., kde díky 6 % organické hmoty koncentrace radikálně stoupají. V ostatních dnech nedosahovala hodnota OM v OK2 ani 2 %. Druhým důvodem nižších koncentrací v OK2 než v OK1 je hrubozrnné složení sedimentu. Také je nutné podotknout, že dle grafu OM (obr. 27) je ve všech dnech kromě 14.7. procento OM menší v dolním profilu Mlýnského náhonu.

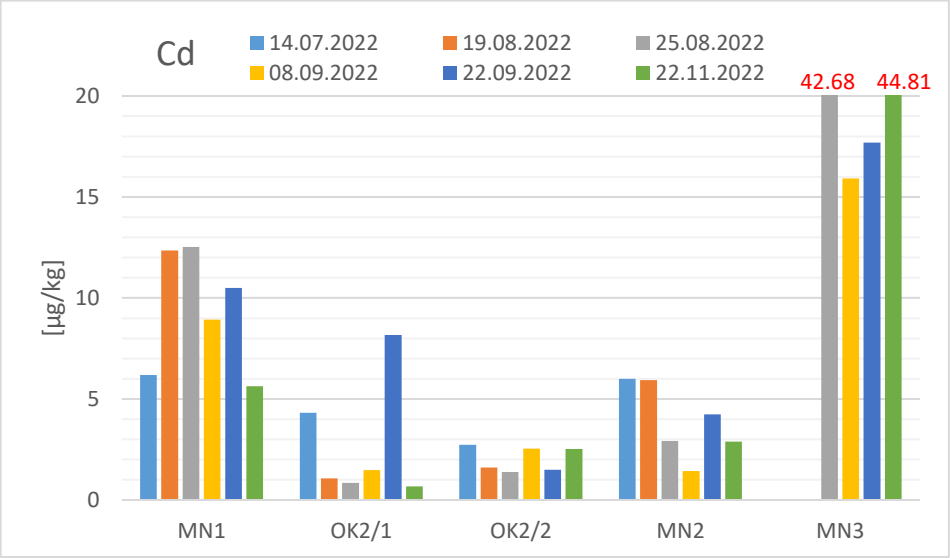
Na grafu chromu je příkladně vidět korelace jeho koncentrací s OM. Jediný odběrový den (14.7.) profil MN2 disponoval větším množstvím OM než MN1. To se také projevuje na vyšší koncentraci chromu v dolním profilu. Koncentrace chromu se v toku před ČOV neblíží hodnotě TEC. K tomu dochází až v profilu MN3, kde vlivem vyústění ČOV stoupl obsah organické hmoty. K nejmenšímu navýšení došlo v profilu MN3 dne 8.9. 2022 v souladu s nejmenším % OM v profilu MN3.



Obrázek 35: Chrom v Mlýnském náhonu

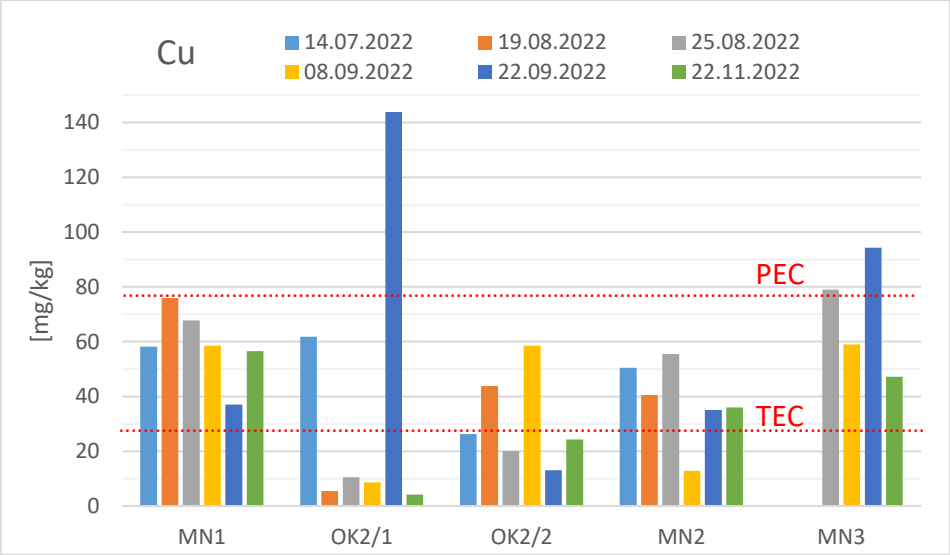
Kadmium dle grafu x nevykazuje tak přesnou korelaci s OM jako chrom. V některých případech (např. 22.11. na MN3) je vidět, že naměřená koncentrace koreluje více s jemnozrnným složením sedimentu než s OM. Zajímavý je průběh koncentrací v datech 8.9.2022 a 22.9.2022, kdy došlo mezi profily MN1 a MN3 k jejich znatelně menšímu nárůstu než v ostatní dny. V prvním zmíněném datu jde o korelaci s OM, ale v druhém ne. V tomto případě se nabízí přisouzení vlivu vnějším podmínkám. Dle tabulky 7. předcházely datu 22.9. deště, proto by mobilizace kovů mohla být z důvodu zvýšených průtoků obtížnější, obzvlášť za ČOV, kde přepady způsobují velmi náhlé změny podmínek.

Limitní hodnotě TEC se koncentrace kadmia nepřiblížily ani v profilu MN3, který ve dne 22.11. obsahoval až devětkrát více kadmia než MN1.



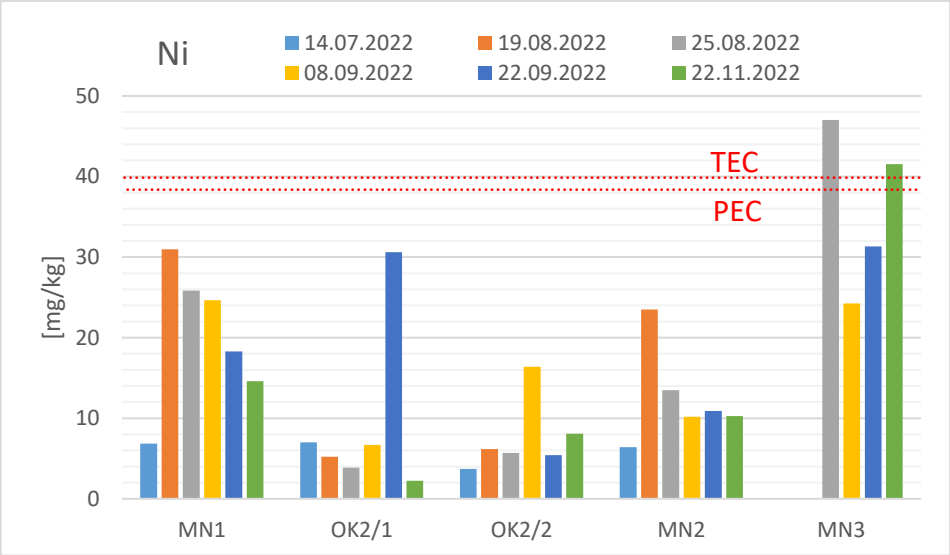
Obrázek 36: Kadmium v Mlýnském náhonu

Graf mědi ukazuje, že se její koncentrace v Mlýnském náhonu dostávají do stejně rizikových hodnot jako v případě Výrovky. Hodnoty TEC jsou překročeny již v horním profilu recipientu. Sediment ve stokové síti i přes jeho hrubozrnné složení a nízké % OM obsahuje také znepokojující koncentrace mědi. Profil MN2 obsahuje nižší koncentrace mědi než profil MN1. Sediment z MN2 obsahuje sice méně OM než z MN1, ale z důvodu nízké korelace mědi s organickou hmotou (0,37) tento podnět nemusí být příčinou její nižší vazby v MN2. Snížení koncentrací mezi profily MN1 a MN2 ani zvýšení na profilu MN3 není tak výrazné. I přes to se koncentrace v odběrovém profilu za ČOV dokázaly dostat i nad přísnější limitní hodnotu PEC a to konkrétně ve dny, kdy profil obsahoval nejvíce OM.



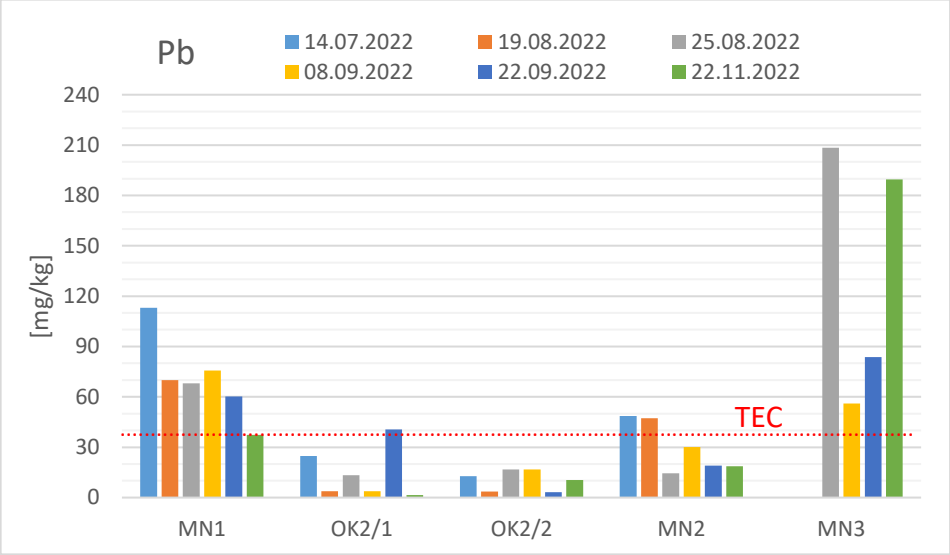
Obrázek 37: Měď v Mlýnském náhonu

Nikl se dle obrázku 38. dostal nad limitní hodnoty až v profilu MN3. Tomu tak bylo ve dnech 25.8., kdy sediment obsahoval 17 % OM a 22.11., kdy měl nejvyšší zastoupení jemné zrnitostní frakce. S obsahem OM nekoreluje průběh koncentrací z 19.8., kdy se v profilech MN1 a MN2 jejich hodnoty nečekaně navyšují. Může jít o reakci na delší suché období ve smyslu snadné mobilizace kovu do sedimentu za nízkých průtoků v recipientu. Zajímavá je koncentrace v OK2/2 ve dne 8.9. Zde bych předpokládala vliv vtoku průmyslové odpadní vody, nebo usazení nečistot ze splachu zastavěných ploch během extrémní srážky 26.8. Ani tato vysoká koncentrace v OK nepodněcuje zvýšení koncentrací niklu ve spodním profilu.



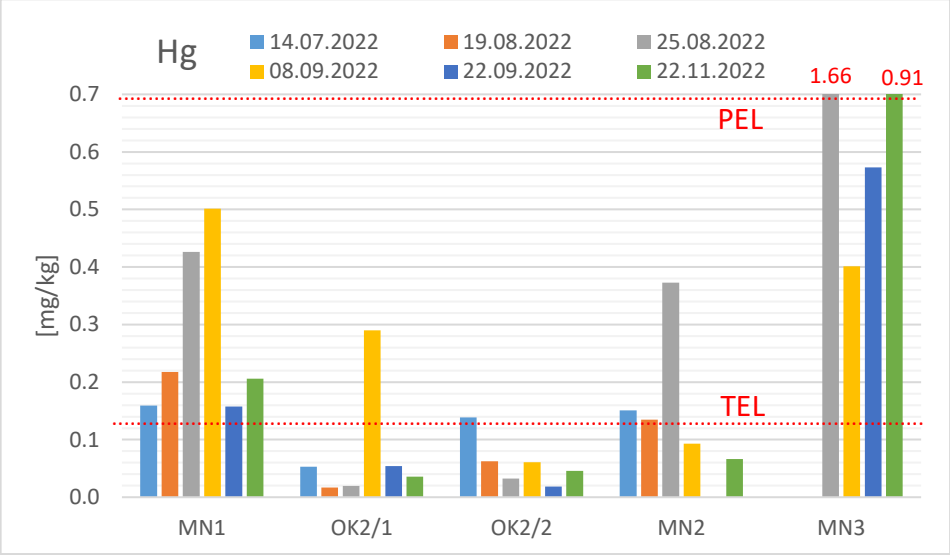
Obrázek 38: Nikl v Mlýnském náhonu

Koncentrace olova v profilech Mlýnského náhonu jsou poměrně vysoké. Na obr. 39. vidíme, že s výjimkou čtyř vzorků z profilu MN2, překračovaly všechny vzorky z recipientu limitní koncentraci TEC. Na MN2 byla TEC překročena dne 14.7. a 19.8. Olovo je prvním kovem, které dosáhlo nejvyšší koncentrace na MN1 dne 14.7., to by mohlo poukazovat na výskyt bodového zdroje znečištění, jelikož i koncentrace v profilu MN2 je v tento den zvýšená. Koncentrace se nijak výrazně nevážou na % OM až na dvě výjimky (25.8. a 22.11. v MN3), jejichž koncentrace převyšující ostatní profily nejsou jinak vysvětlitelné.



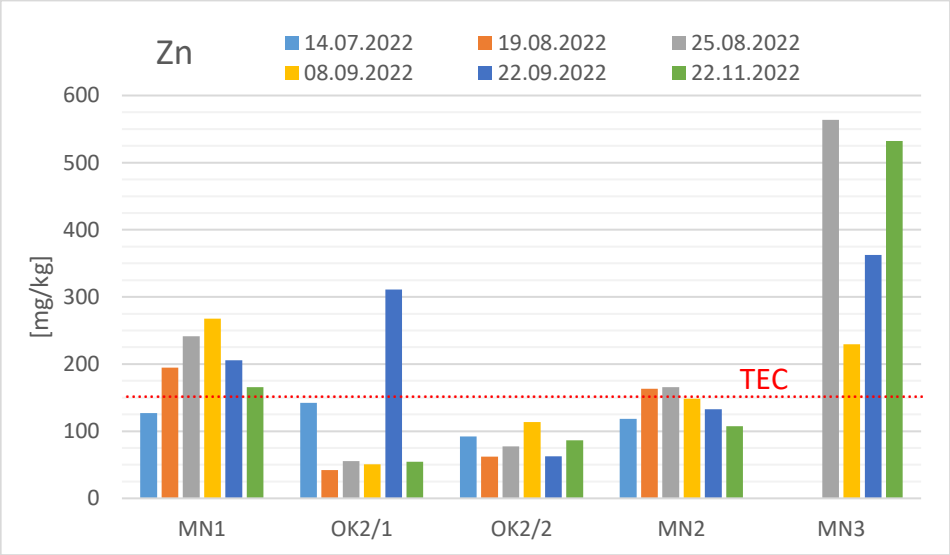
Obrázek 39: Olovo v Mlýnském náhonu

Graf rtuti ukazuje, že se její koncentrace v profilech Mlýnského náhonu pohybovaly ve velmi vysokých hodnotách. Limit TEL byl dosažen v recipientu ve všech odběrových dnech s výjimkou 8.9. a 22.11. u profilu MN2. V profilu MN3 byla dokonce dvakrát překročena hodnota PEL, a to ve dnech 25.8. a 22.11. Pro druhé zmíněné datum to znamená obrovský nárůst koncentrací mezi profily MN2 a MN3, jehož činitelem je výusť ČOV a pozitivní vazba do organické hmoty. Zajímavá je vysoká hodnota na MN2 ve dne 25.8., která nekoreluje s OM, ale s vazbou do nejjemnější zrnitostní frakce. Tato hodnota se na profilu MN3 téměř čtyřikrát navýšila vlivem ČOV. Odběrovému dni 25.8. předcházely deštivé dny i přepady z OK i ČOV, které se v dolních profilech projevili. Před 22.11. probíhalo období srážek s nízkou intenzitou bez přepadů, a proto je zvýšená hodnota za ČOV důsledkem spíše vnitřních dějů ve vodním prostředí.



Obrázek 40: Rtuť v Mlýnském náhonu

Graf koncentrací zinku ukazuje, že za ústím OK2 v profilu MN2 došlo ve všech dnech k jejich snížení oproti MN1. Zinek velmi dobře koreluje s obsahem organické hmoty ve vzorcích. Kdyby na koncentraci zinku měla vliv pouze vazba na OM, očekávala bych ještě nižší koncentrace v profilu MN2 u vzorků z dat 25.8. a 8.9. Z toho důvodu přichází v úvahu vliv dešťů, které předcházely odběru 25.8. nebo extrémní srážky ze dne 26.8. Koncentrace zinku překračují hranici TEC ve všech profilech Mlýnského náhonu (v MN2 jen ve dvou dnech). K nejvýraznějšímu překroční limitu došlo na profilu MN3.



Obrázek 41: Zinek v Mlýnském náhonu

5.2.4. Shrnutí vlivu na Mlýnský náhon

Největší vliv městského odvodnění se prokázal v profilu MN3, který je situovaný za výustí a přepadem ČOV, a spočívá hlavně ve zvýšení obsahu organické hmoty v sedimentu. Příčinou navýšení podílu OM za ČOV by mohlo být vyplavování zbytkových organických látek z biologických procesů na čistírně. Z důvodu vysokého podílu OM v sedimentu se zde velmi snadno vážou těžké kovy a dosahují vysokých koncentrací. Oproti Výrovce byly v Mlýnském náhonu analyzovány vyšší koncentrace rtuti, olova a chromu, což může být dáno právě % OM, silnějšími zdroji znečištění nebo menší vodnatostí toku. Na tomto místě je dobré podotknout, že takto malý vodní tok je vyústěním, a hlavně přepady z ČOV za větších srážek ovlivněn nejen chemicky (což dokazují grafy koncentrací TK), ale i mechanickou silou proudu odlehčené vody. Přepady

způsobují přímou environmentální zátěž pro tok, viditelnou na fotografiích v příloze č. 5 z odběrového místa MN3.

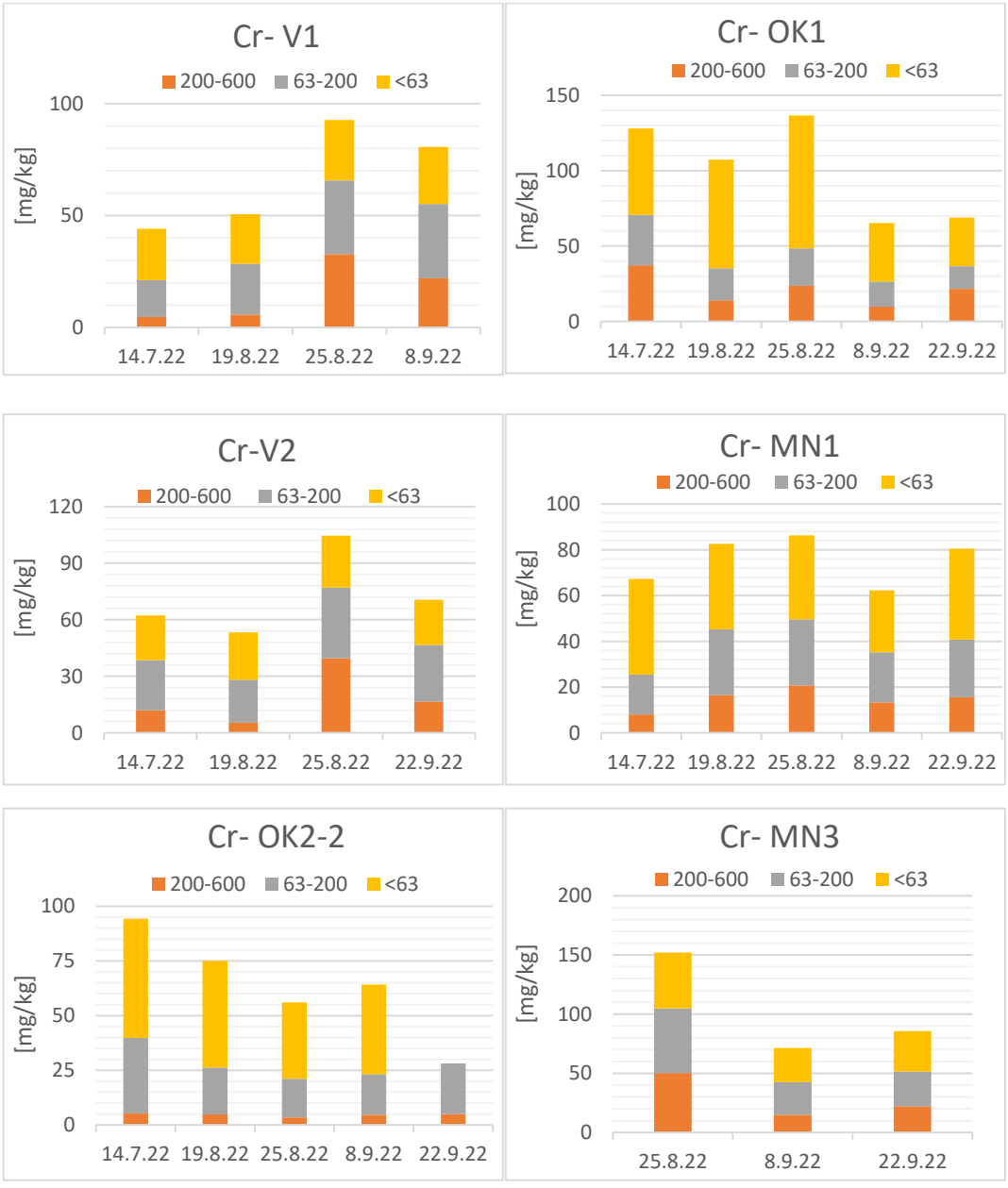
Prokázat vliv odlehčovací komory OK2 na recipient je velmi obtížné, jelikož odběrový profil MN2 situovaný za OK obsahoval menší množství organické hmoty a kovy zde byly méně vázány než v profilu MN1 nad OK. Koncentrace kovů ve stokové síti byly často nižší než v sedimentu vodního toku, což také souvisí s obsahem OM a zrnitostním složením sedimentu. Nikdy však nebyly tak nízké, aby mohlo být jejich ekologické riziko pro recipient zanedbáno.

5.2.5. Vyhodnocení vazby kovů do jednotlivých frakcí sedimentu

Následující grafy vyhodnocují koncentrace těžkých kovů ve třech stanovovaných frakcích sedimentu (<63, 63-200, 200-600 μm) v zájmových odběrových profilech. Vazba do zrnitostních frakcí každého kovu je zpracována v grafech pro každé odběrové místo zvlášť. V textu jsou vloženy grafy, které nejlépe popisují vazbu kovů do frakcí, nebo mají zajímavý průběh. Ostatní grafy jsou přiloženy v příloze č. 4. Koncentrace nejsou přepočítány na množství dané frakce, ale s přihlédnutím na grafy obsahu zrnitostních frakcí (obr. 24.-26) jsou vypovídající.

Chrom

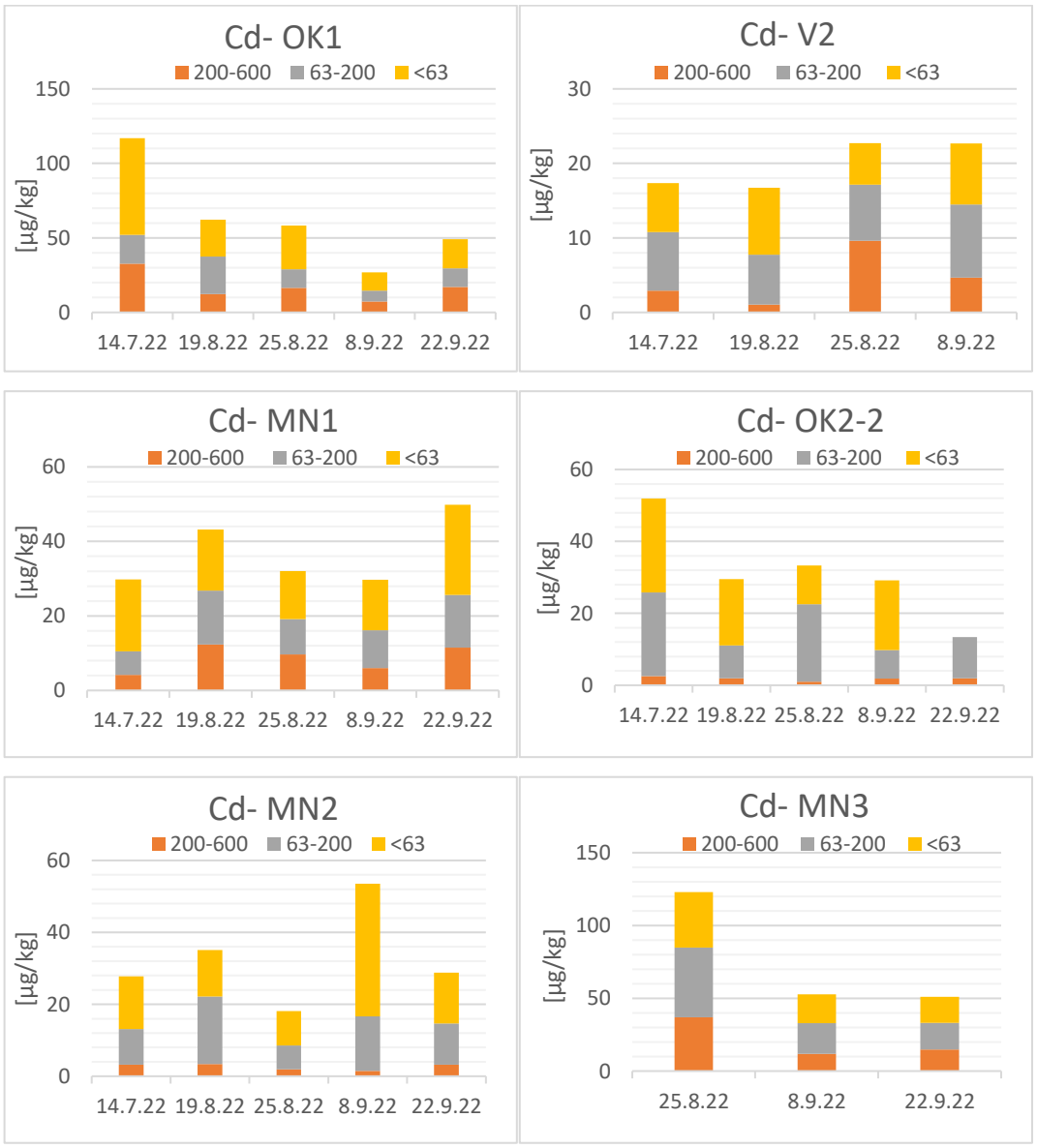
Chrom byl vázán ve větších koncentracích do nejjemnější frakce v profilech OK1 a OK2. V MN1 mírně převládá vazba do jemné frakce nad vazbou do střednězrnné frakce. Zastoupení koncentrací střednězrnné frakce je ve všech profilech kromě OK srovnatelné s jemnozrnnou frakcí. Nejmenší podíl koncentrací chromu v hrubozrnné frakci je v OK2.



Obrázek 42:Vazba chromu do frakcí

Kadmium

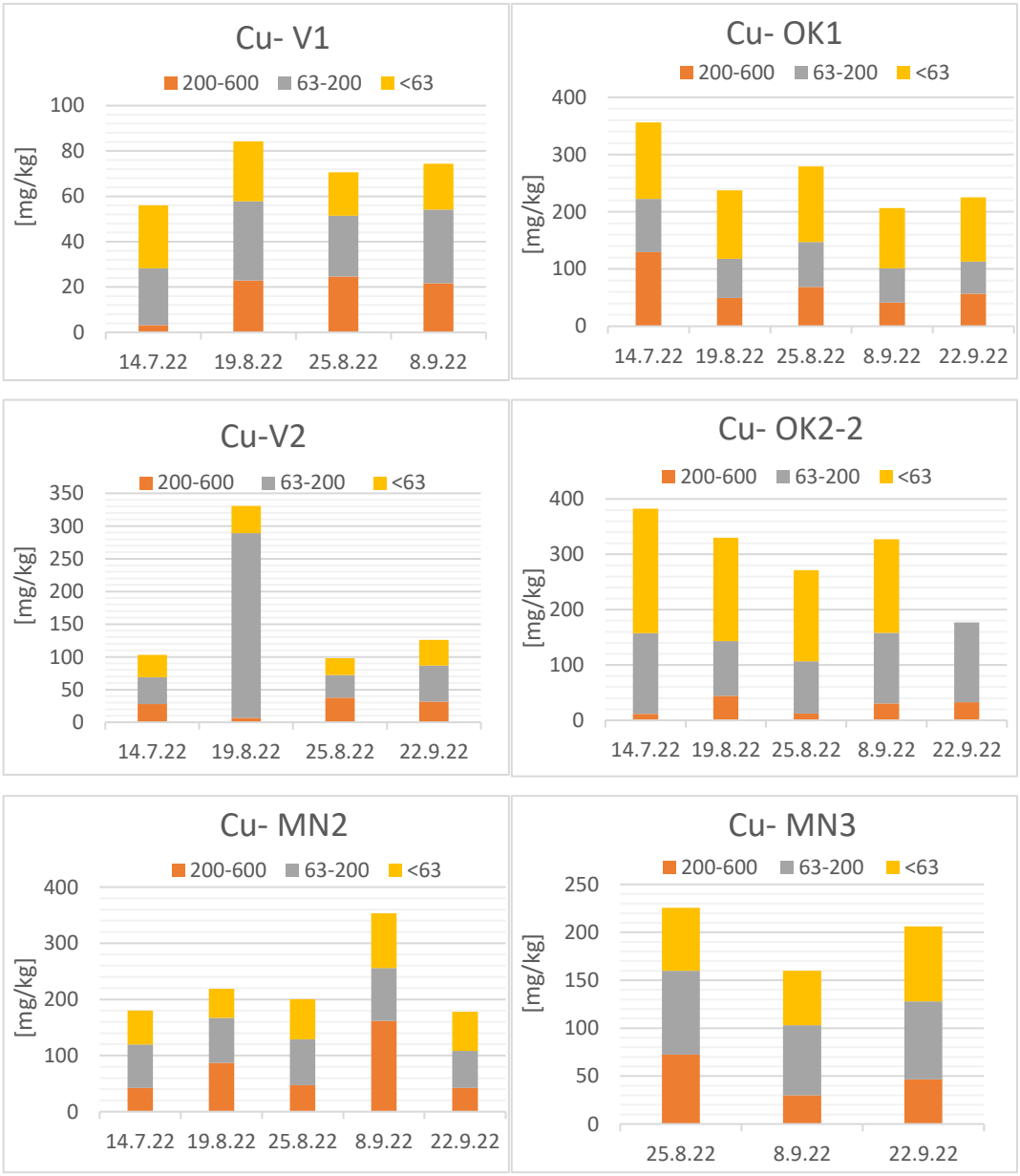
Vazba kadmia do frakcí je mezi profily velmi různorodá a nestálá v průběhu odběrových dnů. Vazba do nejjemnější frakce převládala v profilech OK1 a MN1 a v některé dny i v OK2 a MN2. Rozdělení koncentrací v MN3 je rovnoměrné. Koncentrace vázané do střednězrnné frakce jsou podstatné u všech profilů. Nejmenších hodnot dosahovaly v profilu OK1. Vazba do hrubozrnné frakce je mimo jiné výrazná dne 25.8. na profilech V2 a MN3.



Obrázek 43:Vazba kadmia do frakcí

Měď

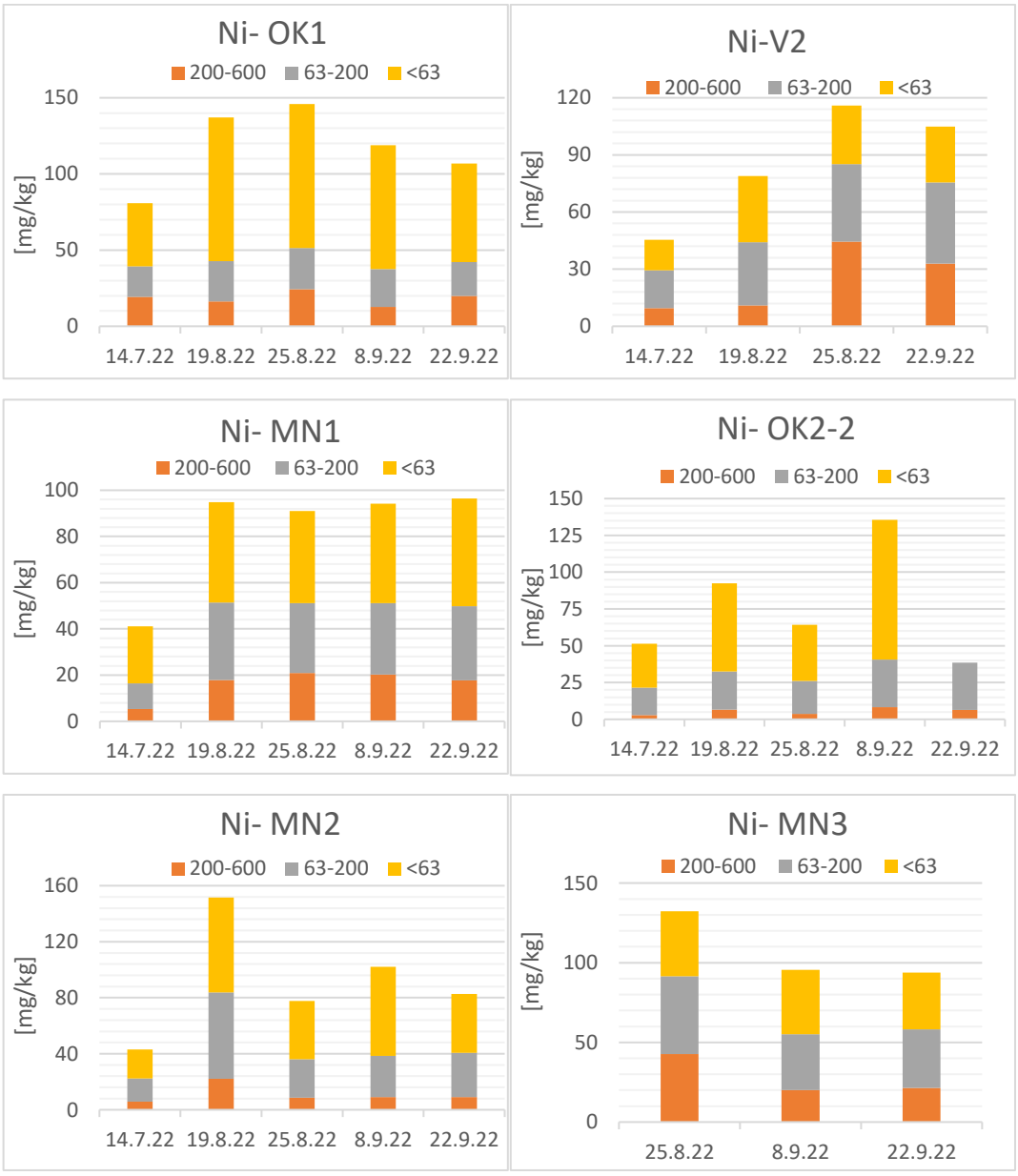
V sedimentu stokové sítě upřednostňuje měď vazbu do nejjemnější zrnitostní frakce. Ve Výrovce a Mlýnském náhonu převažovaly koncentrace vázané do střednězrnné frakce. V2 zaznamenává zvláštně vysokou vazbu do frakce 63-200 µm ve dne 19.8. V tento odběrový den bylo množství dané frakce dle zrnitostního rozboru nejmenší (cca 10 %). Profil MN2 dokonce dvakrát (19.8. a 8.9.) vykazoval nejvyšší koncentrace mědi v hrubozrnné frakci. Nejmenší koncentrace v hrubozrnné frakci obsahuje profil OK2.



Obrázek 44: Vazba mědi do frakcí

Nikl

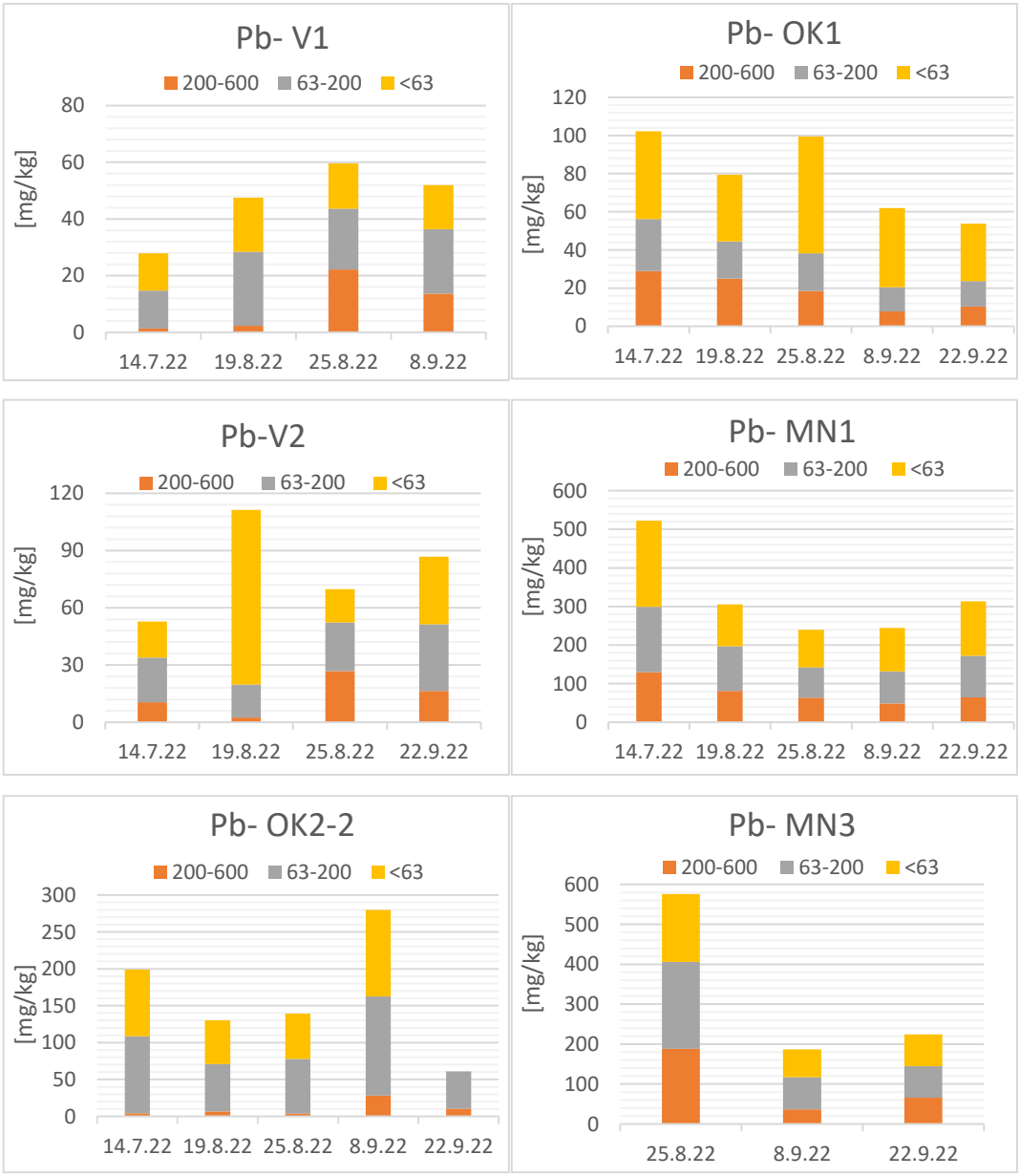
Nikl preferoval vazbu do jemné frakce sedimentu nejen v prostředí odlehčovacích komor, ale i v profilech Mlýnského náhonu – MN1 a MN2. Koncentrace niklu ve třetím profilu Mlýnského náhonu jsou stejně jako u všech ostatních kovů rozděleny téměř rovnoměrně do všech frakcí. V profilu V2 byl nikl dne 25.8. a 22.9. vázán v poměrně velkých koncentracích do hrubozrnné i střednězrnné frakce. Oběma odběrovým dnům předcházelo období mírných srážek, během kterých docházelo k přepadům OK (21.8. a 19.9.).



Obrázek 45: Vazba niklu do frakcí

Olovo

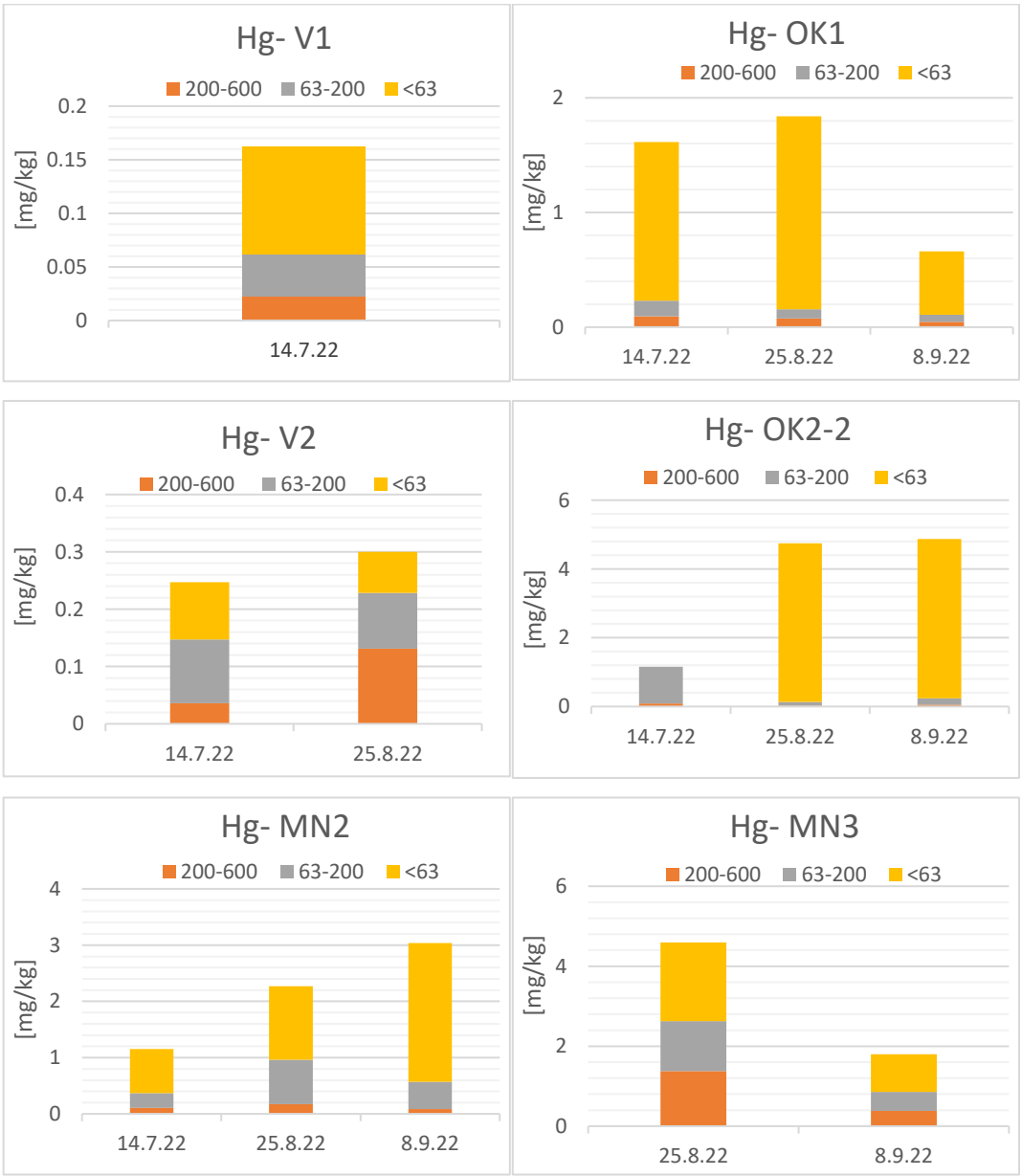
Olovo se s mírnou převahou váže do střednězrnné frakce oproti frakci jemnozrnné, popřípadě je v těchto frakcích vázáno stejnou měrou (např. MN1). Výjimkou je profil OK1, kde je nejvyšší zastoupení olova v jemné frakci. V profilu V2 došlo dne 19.8. k výjimečně vysoké vazbě do jemnozrnné frakce. V ten samý den měla měď zvýšenou vazbu do frakce 63-200 µm. Profil OK2 opět obsahuje nejnižší koncentrace v hrubozrnné frakci.



Obrázek 46: Vazba olova do frakcí

Rtuť

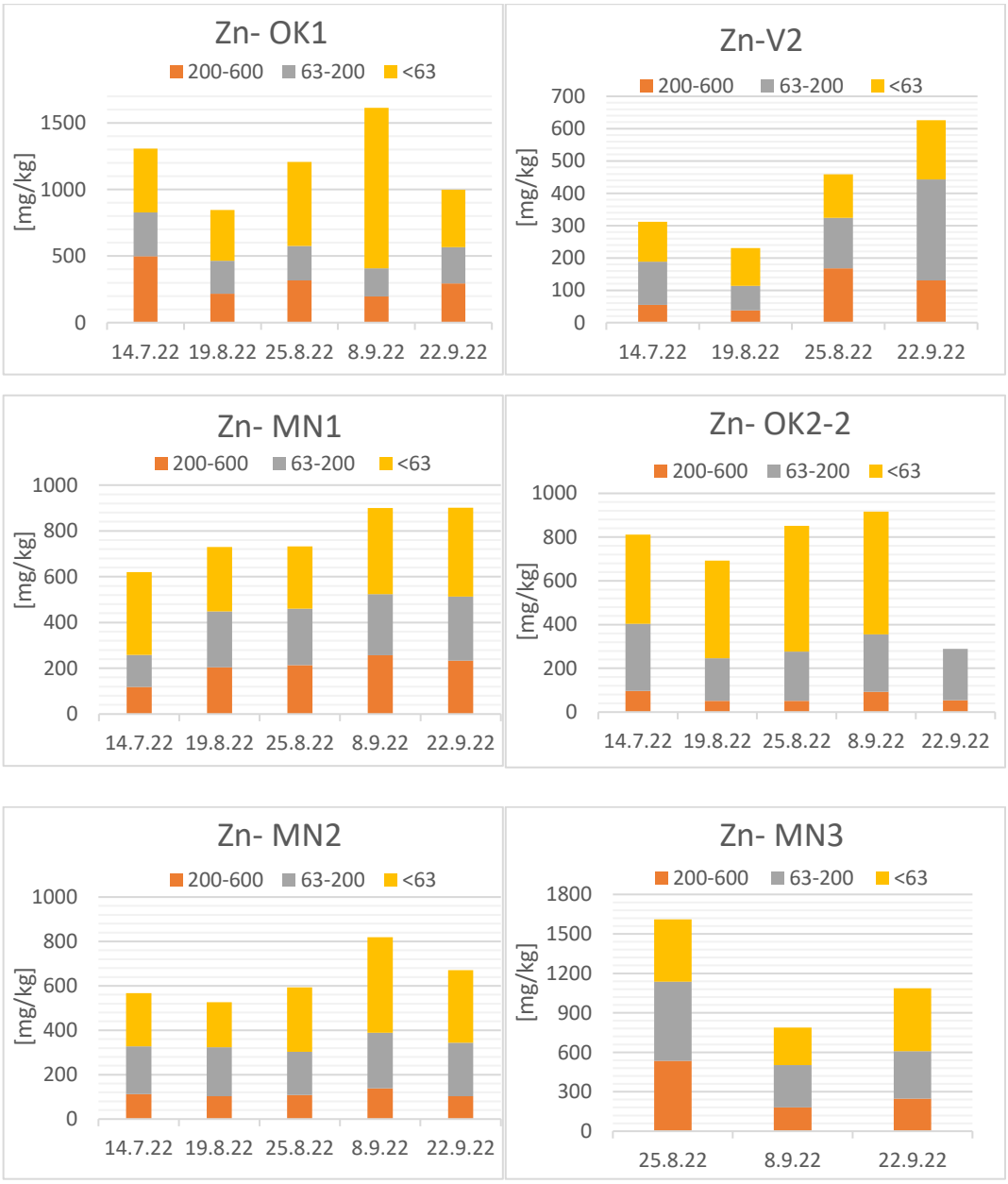
Rtuť dle grafů x vykazuje větší tendenci vazby do jemnozrnných frakcí sedimentu než ostatní kovy. Výjimkou jsou v tomto případě profily V2 a MN3. V profilu V2 se dne 14.7. rtuť více vázala na střednězrnnou frakci a dne 25.8. na hrubozrnnou frakci. Profil MN3 ukazuje téměř rovnoměrné rozdělení koncentrací mezi všechny frakce s mírnou převahou frakce jemnozrnné.



Obrázek 47: Vazba rtuti do frakcí

Zinek

Obrázek 48. ukazuje, že se zinek v každém odběrovém profilu přednostně vázal do různých frakcí. V odlehčovacích komorách převládala frakce <63 µm, ve Výrovce mírně převládala frakce 63-200 µm. Sediment Mlýnského náhonu vázal zinek ve stejné míře do všech tří frakcí s mírnou převahou jemnozrnné frakce. Rozložení do frakcí ve stejném profilu v různé dny zůstává většinou poměrově zachováno, mění se jen koncentrace.



Obrázek 48: Vazba zinku do frakcí

5.2.6. Shrnutí vazby kovů do jednotlivých frakcí

Vazebné tendence kovů do jednotlivých frakcí na daném odběrovém místě se poměrně málo měnily v závislosti na podmínkách odběrových dnů. V porovnání všech odběrových dnů zůstávaly často poměry koncentrací v jednotlivých frakcích podobné. Výjimky nastávaly téměř u všech kovů (hodně u Hg, Cd) a zřídkakdy ve stejný den. Zajímavý nárůst hodnot lze pozorovat u Cu a Pb ve dne 19.8. na profilu V2. Měď v tomto případě upřednostnila vazbu do frakce 63-200 μm zatímco olovo se v největší koncentraci vázalo na frakci < 63 μm.

Tendence vazby kovů do nejjemnější frakce se potvrzuje v odlehčovacích komorách, nikoli však v sedimentu recipientů. Stejný výsledek dokázala i studie vazebného chování toxických kovů v sedimentu stoky a jím ovlivněného Blatovského potoka v habilitační práci Nábělkové (2011).

Grafy vazby do frakcí dobře zdůvodňují nízké koncentrace TK v OK2. Z analýzy vychází již zmíněný fakt, že u většiny kovů dochází v sedimentu odlehčovacích komor k nejvyšší vazbě do nejjemnější frakce. Současně v OK2 dochází k nejmenší vazbě kovů do frakce hrubozrnné V OK2 je sediment z více než 90 % čistě hrubozrnný, a proto se zde kovy obtížně vážou.

Zajímavý výsledek přinesla vazba kovů na profilu MN3. Tento profil disponoval nejvyššími hodnotami OM a celkových koncentrací těžkých kovů. Dle teorie Huang et al. (2020) byla za těchto okolností předpokládána vysoká vazba do nejjemnější frakce. Analýza koncentrací v jednotlivých frakcích však dokázala, že zde dochází povětšinou k rovnoměrné vazbě kovů do frakcí v poměru 1:1:1. Kovy Cd, Cu a Pb v tomto profilu mírně upřednostňovaly vazbu do střední frakce.

6. Shrnutí

Zrnitostní rozbor sedimentu dokázal, že nejvíce jemné frakce obsahují odběrové profily v recipientech. Sediment v odlehčovacích komorách byl naopak spíše hrubozrnný. OK2 obsahovala ve všech odběrových dnech více než 80 % nejhrubší frakce. OK1 měla složení proměnlivé, většinou okolo 20 % střednězrnné frakce a 10 % jemnozrnné. Analýza obsahu organické hmoty ukazuje, že nejvyšší % OM jsou uloženy v profilech MN1, MN3, V1 a V2. Profil OK 1 překvapivě disponuje vyšším obsahem OM než profil MN2. Podle Huang et al. (2020), který uvádí, že sediment je více obohacen těžkými kovy při vyšším obsahu organické hmoty a při menší zrnitostní frakci, je sediment Výrovky i Mlýnského náhonu vhodný pro vazbu těžkých kovů.

Pozitivní korelaci koncentrací s množstvím organické hmoty prokázaly nejvíce kovy Ni a Cr s korelačními koeficienty 0,88 a 0,84. Po nich následovaly Hg, Cd, Zn a Pb (0,67; 0,64; 0,64; 0,63), jejichž významnou vazbu do OM uvádí i Bungala (2021). Cu s korelačním koeficientem 0,37 se liší od výsledků, kterých dosáhli Qu and Kelderman (2001) a nevykazuje výraznou shodu s obsahem organické hmoty.

Jako nejproblematičtější kovy se dle analýzy celkových koncentrací jeví Cu, Zn, Hg a Pb. Vysoké zatížení stejnými kovy bylo dokázáno i v sedimentu malého vodního toku Botiče (Langhammerová, 2021). V některých případech byly koncentrace TK poměrně vysoké již v toku před vyústěním odlehčovacích komor a výsledky dokazují, že se často jednalo právě o souhru vlastností sedimentu přispívajících k snadné vazbě těžkých kovů. Samozřejmě se vzhledem k charakteru prostředí nedá vyloučit ani případné zatížení jinými zdroji znečištění.

Městské odvodnění ovlivňuje koncentrace těžkých kovů v recipientech dvěma způsoby. První by se dal nazvat jako nepřímý způsob. Ten spočíval ve změně podmínek v prostředí, které vedly k vyšší vazbě těžkých kovů. Prvotně je tím myšleno navýšení obsahu OM v profilu MN3, u kterého se předpokládá spojitost s vyústěním ČOV. Novotná (2021) stanovila korelaci mezi $CHSK_{Cr}$ a koncentracemi některých těžkých kovů (měď, nikl, olovo) koeficientem přesahujícím hodnotu 0,95. V profilu MN3 dosáhly nejvyšších koncentrací kovy: Zn, Hg, Pb, Cu. Další nepřímý faktor je například změna zrnitostního složení vlivem vypláchnutí jemných částic z kanalizace a jejich zachycením v recipientu. K tomu, dle tabulky shrnující podmínky odběrů (tabulka 7.) a grafu zrnitostního složení

(obr. 24-26), mohlo dojít ve dny 14.7. a 25.8. Během 14.7. a před druhým odběrovým dnem 21.8. docházelo k přepadům na všech sledovaných objektech. Ve Výrovce se všechny zmiňované faktory projevily a v obou dnech způsobily nárůst koncentrací v profilu V2 u všech kovů (dne 14.7. významný). V recipientu Mlýnského náhonu je profil pod OK2 výrazně méně obohacen OM než horní profil. Z toho důvodu je těžké prokázat vliv odlehčovací komory, protože se většina kovů ve spodním profilu hůře váže do sedimentu. Ani měď, která má nízký korelační koeficient s OM (0,37), neprokázala vyšší koncentrace v profilu MN2. Je nutné zmínit, že i přes to, že se neprojevila vyšší vazba do V2, byly koncentrace v Mlýnském náhonu poměrně vysoké. Grafy ukazují významné hodnoty koncentrací některých kovů už v profilu MN1, jejichž zdrojem by mohl být povrchový splach ze zastavěných ploch.

Přímý způsob vlivu městského odvodnění na recipient je přenos znečištění jako takového ze stokové sítě do toku. Vymytí koncentrovaného sedimentu z OK do recipientu, nebo například přenos TK v kapalné fázi při přepadech OK a následné uložení. K splachu velkého množství nečistot dochází po delším suchém období. Takový odběr nastal dne 19.8., ale očekávané srážky byly nízké intenzity a nedocházelo k přepadu na OK. Proto se tento den neprojevil v grafech zvýšenou koncentrací kovů pod odlehčovacími komorami, ale spíše jejím snížením.

Závěr

Těžké kovy jsou jednou z nejzávadnějších složek polutantů v městských tocích a v životním prostředí obecně. Jejich závadnost je kromě značné toxicity dána tím, že nepodléhají biologickému rozkladu a v prostředí v různých formách zůstávají. Primárním předmětem práce bylo určit vliv městského odvodnění Peček na koncentrace těžkých kovů v recipientech. Jelikož chování kovů je v některých případech značně komplikované, bylo pro vyvozování souvislostí analyzováno i zrnitostní složení, podíl organické hmoty a vazby do jednotlivých zrnitostních frakcí.

S organickou hmotou korelovaly převážně Ni a Pb, které byly následovány ostatními kovy. Pozitivní vazba do OM je velmi dobře vidět na zpracovaných grafech (obr. 27-41). Jediná měď neměla moc vysoké tendence vazby do OM a nepotvrdila předpoklad Qu and Kelderman (2001).

Vliv městského odvodnění na koncentrace TK byl prokázán hlavně pro recipient Výrovky a pro profil MN3 za ČOV. Některé průběhy koncentrací byly vyvolané reakcí na počasí (viz 6. Shrnutí). Opakovaně nejvyšších koncentrací dosáhly kovy Zn, Cu, Hg, a Pb. Jejich koncentrace v profilu MN1 převyšovaly limitní hodnoty již před ústím OK2. Jak už bylo zmiňováno, recipient Mlýnského náhonu neprokázal vyšší vazbu TK v profilu MN2 pod OK, kromě mírně vyšší vazby Cr a Cd.

Výzkum prokázal negativní vliv městského odvodnění Peček na recipienty. Z principu funkce odlehčovacích komor, je do malých vodních toků vnášeno znečištění, jemuž nejde v případě TK bez použití specializovaného čištění moc dobře čelit.

Seznam zkratek

AAS ..... Atomová absorpční spektrometrie

AMA ..... Advanced Mercury Analyser (přístroj k analýze rtuti)

BSK_5 ..... Biochemická spotřeba kyslíku za 5 dní

ČOV ..... čistírna odpadních vod

EO ..... ekvivalentní obyvatel

EPA ..... Environmental Protection Agency (US agentura pro ochranu životního prostředí)

ET AAS..... Elektrotermická atomová absorpční spektrometrie

FAAS ..... Plamenná atomová absorpční spektrometrie

$CHSK_{Cr}$ ..... chemická spotřeba kyslíku dichromanem draselným

LOI..... Loos on Ignition (ztráta žíháním)

MZem..... Ministerstvo Zemědělství

MŽP ..... Ministerstvo Životního prostředí

N_{celk} ..... celková koncentrace dusíku

NEK ..... Normy environmentální kvality

NEK- NPK..... Norma environmentální kvality - nejvyšší přípustná koncentrace

NEK- RP ..... Norma environmentální kvality - celoroční průměrná hodnota

NL ..... nerozpuštěné látky

$N\text{-}NH_4^+$ ..... amoniakální dusík

OK..... odlehčovací komora

OM ..... Organic Matter (organická hmota)

OV..... odpadní vody

P_{celk} ..... celková koncentrace fosforu

PE ..... polyethylen

PEC ..... Probable effect concentration (koncentrace pravděpodobného účinku)

PEL ..... Probable Effects Level (úroveň pravděpodobného účinku)

PSOV ..... přečerpávací stanice odpadních vod

PVC ..... polyvinylchlorid

TEC ..... Threshold effect concentration (prahová koncentrace účinku)

TEL ..... Threshold Effect Level (prahová úroveň účinku)

TK ..... těžké kovy

Seznam literatury

Al Osman, M., Yang, F., Massey, I.Y., 2019. Exposure routes and health effects of heavy metals on children. BioMetals. https://doi.org/10.1007/s10534-019-00193-5

Altec spol. s.r.o., Khodlova 1297, 19300 Praha 9, 2000, 2001, 2002, 2010: Návod na obsluhu AMA 254

ANAMET s.r.o., Oficiální stránky společnosti. [online]. Laserový granulometr Mastersizer 3000. [cit. 2023-1-5]. Dostupné z: https://www.anamet.cz/laserovy-granulometr-mastersizer-3000/

Atomová absorpční spektroskopie (AAS). Univerzita Palackého v Olomouci. Katedra fyzikální chemie. Základy fyzikálně chemických metod (ZFCM). [online] [cit. 2022-12-28]. Dostupné z: https://old.fch.upol.cz/vyuka/zaklady-fyzikalne-chemickych-metod-zfcm/.

Bencko, V., Cikrt, M., Lener, J., 1995. Toxické kovy v životním a pracovním prostředí člověka. Grada, Praha.

Bradl, H.B., 2005. Heavy Metals in the Environment Sources and Origins of Heavy Metals.

Bungala, S.O., Machiwa, J., Shilla, D., 2021. Distribution and Speciation of Heavy Metals in Water and Sediments of the Coastal Marine Areas of Tanzania. J Environ Prot (Irvine, Calif) 12, 734–754. https://doi.org/10.4236/jep.2021.1210044

Butler, D., Davies, J.W., 2004. Urban Drainage. London.

CCME (1999) Canadian environmental quality guidelines. Canadian Council of Ministers of the Environment, Winnipeg, MB, Canada

ČSN EN 15935 (838126). Půdy, odpady, upravený bioodpad a kaly - Stanovení ztráty žíháním. 2022

Duras, J., Marcel, M., 2022. Odlehčení, co přináší těžkosti.

ENVICONS s.r.o., 2020. STUDIE REVITALIZACE MLÝNSKÉHO NÁHONU V PEČKÁCH. Město Pečky – Oficiální stránky města. [online]. [cit. 2022-11-24] Dostupné z: https://www.pecky.cz/cs/mesto-4/

Evidenční list hlásného profilu stanice Plaňany. 2022. [online]. [cit. 2022-12-11]. dostupné z: https://hydro.chmi.cz/hppsevlist/download.php?seq=307024

Hánková, D., 2005. KANALIZAČNÍ STOKY.

Hlavínek, P., Mičín, J., Prax, P., Hluštík, P., Mifek, R., 2006. STOKOVÁNÍ A ČIŠTĚNÍ ODPADNÍCH VOD. Brno.

Hnaťuková, M.P., 2007. DISTRIBUCE TĚŽKÝCH KOVŮ V PROSTŘEDÍ DROBNÝCH URBANIZOVANÝCH TOKŮ.

Huang, Z., Liu, C., Zhao, X., Dong, J., Zheng, B., 2020. Risk assessment of heavy metals in the surface sediment at the drinking water source of the Xiangjiang River in South China. Environ Sci Eur 32. https://doi.org/10.1186/s12302-020-00305-w

Järup, L., 2003. Hazards of heavy metal contamination. Br Med Bull. https://doi.org/10.1093/bmb/ldg032

Jiráková, L., 2014. UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE 2. LÉKAŘSKÁ FAKULTA Ústav lékařské chemie a klinické biochemie.

Kajino, M., Aikawa, M., 2015. A model validation study of the washout/rainout contribution of sulfate and nitrate in wet deposition compared with precipitation chemistry data in Japan. Atmos Environ 117, 124–134. https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2015.06.042

Komínková, J., 2010. Atomová absorpční spektrometrie-stanovení rtuti pomocí analyzátoru AMA 254 pracovní text pro Podzemní výukové středisko JOSEF.

Krejčí, V., 2002. Odvodnění urbanizovaných území: koncepční přístup. Vyd. 1. Brno: NOEL 2000, 2002. ISBN 80-86020-39-8.

Kumar, D., Khan, E.A., 2020. Remediation and detection techniques for heavy metals in the environment, in: Heavy Metals in the Environment: Impact, Assessment, and Remediation. Elsevier, pp. 205–222. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821656-9.00012-2

Langhammer, J., 2002. Kvalita povrchových vod a jejich ochrana. Praha.

Langhammerová, L., 2021. Těžké kovy v Botiči: porovnání současného stavu s minulostí. České vysoké učení technické, Praha.

Liu, M., Zhong, J., Zheng, X., Yu, J., Liu, D., Fan, C., 2018. Fraction distribution and leaching behavior of heavy metals in dredged sediment disposal sites around Meiliang Bay, Lake Taihu (China). Environmental Science and Pollution Research 25, 9737–9744. https://doi.org/10.1007/s11356-018-1249-2

Město Pečky – Oficiální stránky města. [online]. [cit. 2022-11-24] Dostupné z: https://www.pecky.cz/cs/mesto-4/.

Nábělková, J., 2011. TĚŽKÉ KOVY V VSEDIMENTECH DROBNÝCH MĚSTSKÝCH TOKŮ. České vysoké učení Technické, Praha.

Nařízení vlády č. 23/2011 Sb., nařízení vlády, kterým se mění nařízení vlády č. 61/2003 Sb., o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových vod a odpadních vod, náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod povrchových a do kanalizací a o citlivých oblastech, ve znění nařízení vlády č. 229/2007 Sb. - znění od 4. 3. 2011. In: Zákony pro lidi.cz [online]. © AION CS 2010-2023 [cit.7. 1. 2023]. Dostupné z: https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2011-23#f4171436

Nařízení vlády č. 401/2015 Sb., o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových vod a odpadních vod, náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod povrchových a do kanalizací a o citlivých oblastech - znění od 1. 1. 2022. In: Zákony pro lidi.cz [online]. © AION CS 2010-2022 [cit. 16. 12. 2022]. Dostupné z: https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2015-401#f5732593

Novotná, I., 2022. ZDROJE VYBRANÝCH UKAZATELŮ ZNEČIŠTĚNÍ OHROŽUJÍCÍCH DOBRÝ STAV POVRCHOVÝCH VOD V PEČKÁCH.

Pitter, P., 2009. Hydrochemie. Vydavatelství VŠCHT, Praha.

Počet obyvatel v obcích – k 1. 1. 2022. Český statistický úřad [online]. [cit. 2022-11-24] Dostupné z: https://www.czso.cz/csu/czso/pocet-obyvatel-v-obcich-k-112022

Pokorný, J., Ďurišová, K., Hesslerová, P., Nábělková, J., Procházka, J., Pollert, J., Kröpfelová, L., Šulcová, J., Baxa, M., 2019. METODIKA IDENTIFIKACE VLIVU BODOVÝCH A NEBODOVÝCH ZDROJŮ ZNEČIŠTĚNÍ NA DROBNÉ VODNÍ TOKY A HODNOCENÍ ÚLOHY KRAJINNÉHO POKRYVU V TOCÍCH SLUNEČNÍ ENERGIE, VODY A LÁTEK. Třeboň.

Povodňový plán městyse Plaňany. 2022. [online].[cit.2022-12-11].Dostupné z: https://www.edpp.cz/pla_hydrologicke-udaje/

Qu, W., Kelderman, P., 2001. Heavy metal contents in the Delft canal sediments and suspended solids of the River Rhine: multivariate analysis for source tracing.

Salomons, W., Förstner, U., 1984. Metals in the Hydrocycle. Springer-Verlag, Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York Tokyo.

Selin, H., Selin, N.E., 2022. From Stockholm to Minamata and beyond: Governing mercury pollution for a more sustainable future. One Earth. https://doi.org/10.1016/j.oneear.2022.09.001

Sharma, S.K. (Ed.), 2015. Heavy Metals In Water: Presence, Removal and Safety. Department of Chemistry, JECRC University, Jaipur, India.

Slavíková, L., Bareš, V., Beneš, R., Jílková, J., Stránský, D., Valentová, M., Čamrová, J., Přibil, J., 2007. Ochrana před povodněmi v urbanizovaných územích. IREAS, Institut pro strukturální politiku.

Sýkora, V., Kujalová, H., Pitter, P., 2016. HYDROCHEMIE pro studenty bakalářského studia. Praha.

Sylwan, I., Thorin, E., 2021. Removal of heavy metals during primary treatment of municipal wastewater and possibilities of enhanced removal: A review. Water (Switzerland). https://doi.org/10.3390/w13081121

Topinka, O., Tomek, L., Fousek, J., 1967. KANALIZACE A ČISTÍRNY ODPADNÍCH VOD. Praha.

US EPA 3051 (1994) Standard method. Microwave Assisted Acid Digestion of Sediments, Sludges, Soils, and Oils, Washington DC, USA

Vareda, J.P., Valente, A.J.M., Durães, L., 2019. Assessment of heavy metal pollution from anthropogenic activities and remediation strategies: A review. J Environ Manage. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.05.126

Vyhláška č. 257/2009 Sb., o používání sedimentů na zemědělské půdě – znění od 1. 9. 2009. In: Zákony pro lidi.cz [online]. © AION CS 2010-2023 [cit. 7. 1. 2023]. Dostupné z: https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2009-257#f4001644

Základní mapa ČR 1:30 000; 1:250000. Český úřad zeměměřičský a katastrální [online]. [cit.2022-11-12] Dostupné z: https://ags.cuzk.cz/geoprohlizec/.

Zhang, G., Bai, J., Xiao, R., Zhao, Q., Jia, J., Cui, B., Liu, X., 2017. Heavy metal fractions and ecological risk assessment in sediments from urban, rural and reclamation-affected rivers of the Pearl River Estuary, China. Chemosphere 184, 278–288. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.05.155

ZPA Pečky, a.s. – Oficiální stránky společnosti. [online]. [cit. 2022-11-24]. Dostupné z: https://www.zpa-pecky.cz/o-spolecnosti

Seznam obrázků

Obrázek 1- Přepad OK na Botiči během dešťové události 8.7.2004 (Slavíková et al., 2007) 13
Obrázek 2: Poloha obce Pečky, ČÚZK [online], [cit. 2022-11-12], Základní mapa ČR, 1:250 000 31
Obrázek 3: Pečky a přilehlé obce, ČÚZK [online], [cit. 2022-11-12], Základní mapa ČR, 1.30 000 31
Obrázek 4: Situace OK a ČOV na stokové síti Peček, Mapová aplikace OŽP PRVKÚK (2023). Podkladová mapa ČÚZK. [online], [cit. 2023-1-4]. 33
Obrázek 5: Mapa umístění odběrových profilů, ČÚZK [online], [cit. 2022-10-18], Základní mapa ČR, 1:15 000 35
Obrázek 6 a 7: OK1 dne 25.8. (vlevo) a 8.9. (vpravo), foto: Lenka Langhammerová (25.8.2022, 8.9.2022) 36
Obrázek 8 a 9: Odběrová profil V2 a ústí OK1 (vlevo), V2 (vpravo), foto: Lenka Langhammerová (22.11.2022) 37
Obrázek 10: OK2 na Třídě Jana Švermy, foto: Lenka Langhammerová (25.8.2022) 38
Obrázek 11 a 12: Odběrový profil Mlýnský náhon – MN1 (vlevo), MN2 (vpravo), foto: Lenka Langhammerová (8.9.2022) 39
Obrázek 13: Mlýnský náhon za vyústěním ČOV, foto: Lenka Langhammerová (25.8.2022) 40
Obrázek 14: Denní srážkové úhrny ze srážkoměrů na ČOV a v Dobřichově 41
Obrázek 15: Denní úhrn z odlehčení na OK2 a přepady z ČOV 42
Obrázek 16: Sítování vzorku na analytických sítech s nylonovou tkaninou, foto: Lenka Langhammerová (10.10.2022) 45
Obrázek 17: MILESTONE Ethos TC se vzorky v krycích blocích, foto: Lenka Langhammerová (2022) 46
Obrázek 18: Průběh rozkladného procesu, foto: Lenka Langhammerová (2022) 46
Obrázek 19: Filtrace vzorků v baňkách, foto: Lenka Langhammerová (1.11.2022) 47
Obrázek 20 a 21: FAAS, s pohonem směsi oxidu dusného a acetylenu, vlevo – bez vzorku, vpravo – se vzorkem, foto: Lenka Langhammerová (9.11.2022) 48
Obrázek 22: ET AAS, foto: Lenka Langhammerová (4.5.2021) 49
Obrázek 23: AMA 254, foto: Lenka Langhammerová (21.12.2022) 50

Obrázek 24 a, 24 b: Zrnitostní složení vzorků z 14.7. a 25.8. 52
Obrázek 25 a, 25 b: Zrnitostní složení vzorků z 19.8. a 8.9. 53
Obrázek 26 a, 26 b: Zrnitostní složení vzorků z 22.9. a 22.11. 54
Obrázek 27: Podíl organické hmoty v sedimentu 55
Obrázek 28: Chrom ve Výrovce 57
Obrázek 29: Kadmium ve Výrovce 58
Obrázek 30: Měď ve Výrovce 59
Obrázek 31: Nikl ve Výrovce 60
Obrázek 32- Olovo ve Výrovce 61
Obrázek 33: Rtuť ve Výrovce 62
Obrázek 34: Zinek ve Výrovce 63
Obrázek 35: Chrom v Mlýnském náhonu 65
Obrázek 36: Kadmium v Mlýnském náhonu 66
Obrázek 37: Měď v Mlýnském náhonu 67
Obrázek 38: Nikl v Mlýnském náhonu 68
Obrázek 39: Olovo v Mlýnském náhonu 69
Obrázek 40: Rtuť v Mlýnském náhonu 70
Obrázek 41: Zinek v Mlýnském náhonu 71
Obrázek 42:Vazba chromu do frakcí 73
Obrázek 43:Vazba kadmia do frakcí 74
Obrázek 44: Vazba mědi do frakcí 75
Obrázek 45: Vazba niklu do frakcí 76
Obrázek 46: Vazba olova do frakcí 77
Obrázek 47: Vazba rtuti do frakcí 78
Obrázek 48: Vazba zinku do frakcí 79

Seznam tabulek

Tabulka 1: Emisní standardy: přípustné hodnoty (p), maximální hodnoty (m) a hodnoty průměru (x) koncentrace ukazatelů znečištění vypouštěných odpadních vod v mg/l (Nařízení vlády č. 401/2015 Sb.) 25
Tabulka 2: Emisní standardy – výčet: přípustné hodnoty znečištění pro odpadní vody vypouštěné z vybraných průmyslových a zemědělských odvětví (Nařízení vlády č. 401/2015 Sb.) 26
Tabulka 3: Zájmové těžké kovy a jejich vliv na vodní organismy (Pitter, 2009, Nařízení vlády č. 401/2015 Sb.) 27
Tabulka 4: Bývalé NEK pro TK v sedimentu (Nařízení vlády č. 23/2011 Sb.) 28
Tabulka 5: Limity dle vyhlášky MZem a MŽP č. 257/2009 Sb.; Environmental quality standards – US EPA kritéria PEC a TEC a pro Hg kanadská kritéria PEL a TEL (ES/ER/TM-96/R2, 1996, Canadian Sediment quality guidelines, 2001) 29
Tabulka 6: N-leté průtoky Výrovky (https://www.edpp.cz/pla_hydrologicke-udaje/) ... 37
Tabulka 7: Souhrnná tabulka podmínek a okolností odběrů vzorků 43
Tabulka 8: Korelační koeficienty koncentrací kovů a obsahu OM v sedimentu 56

Seznam příloh

Příloha 1: Graf přepadových výšek na OK1-Tahiti 95
(s vyznačením odběrových dnů)

Příloha 2: Grafy vlivu OK1 na Výrovku 96

Příloha 3: Grafy vlivu OK2 a ČOV na Mlýnský náhon 99

Příloha 4: Grafy vazby do zrnitostních frakcí 102

Příloha 5: Profil MN3 pod výustí ČOV Pečky 104

Příloha 6: Čerpání OV na ČOV Pečky 105

Příloha 7: Rozvodněná Výrovka dne 25.8. 2022 106

Příloha 8: Dvě celkové zrnitostní frakce sedimentu (<600 μm) 107

Příloha 9: Tabulka zrnitostního složení sedimentu v jednotlivých 108
odběrových místech

Příloha 10: Tabulka obsahu organické hmoty v sedimentu 108

Příloha 11: Tabulka koncentrací těžkých kovů z 14.7.2022 109

Příloha 12: Tabulka koncentrací těžkých kovů z 19.8.2022 110

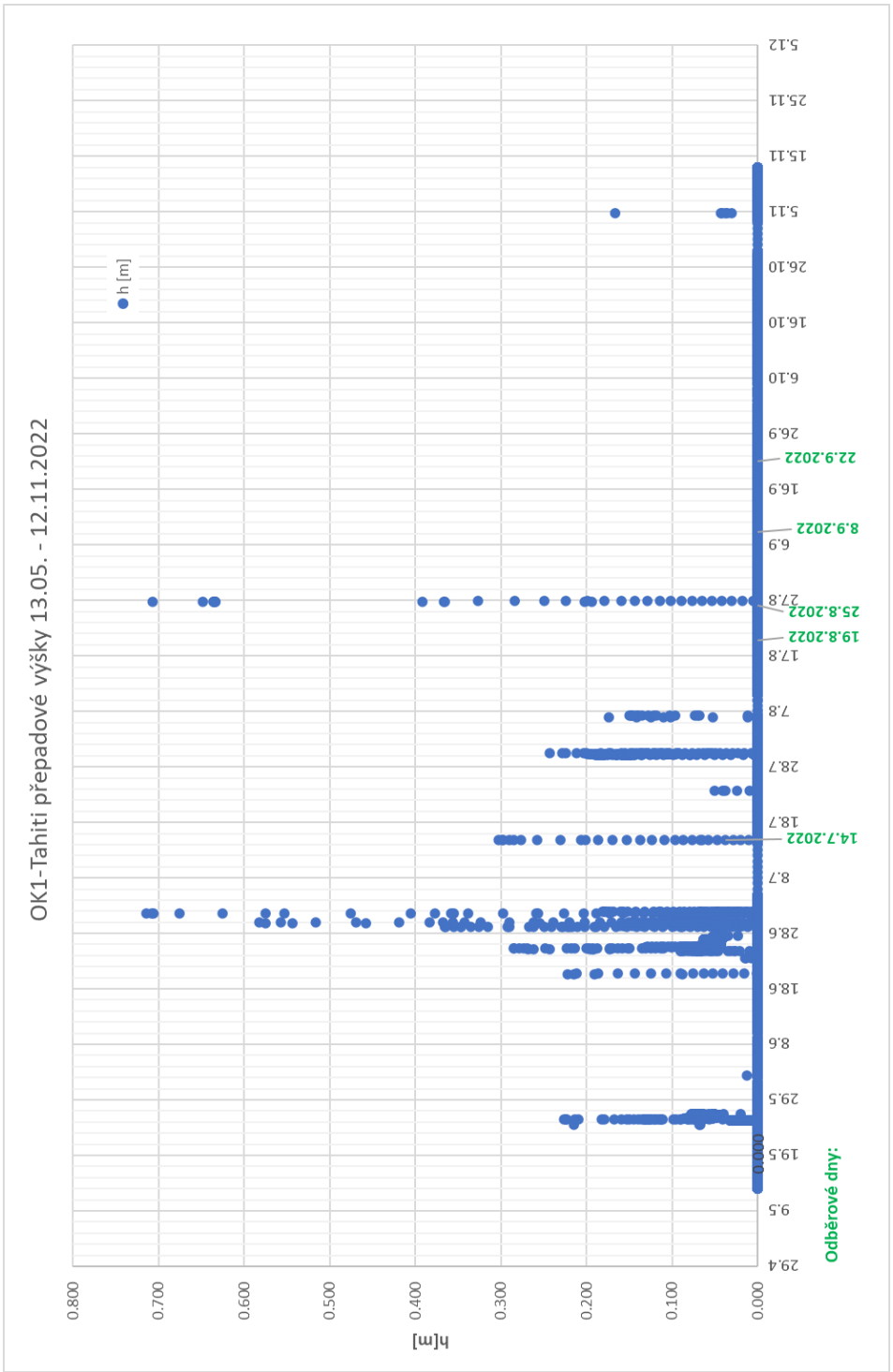
Příloha 13: Tabulka koncentrací těžkých kovů z 25.8.2022 111

Příloha 14: Tabulka koncentrací těžkých kovů z 8.9.2022 112

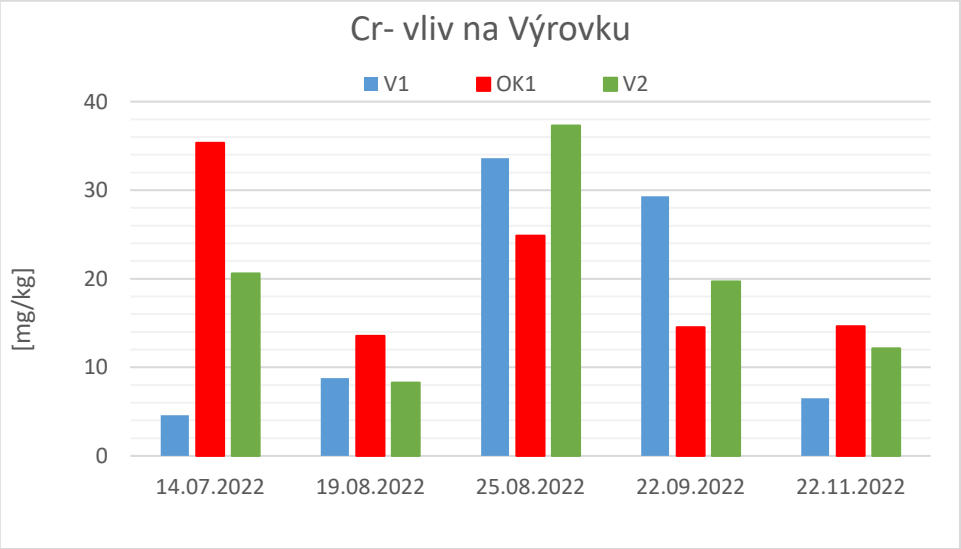
Příloha 15: Tabulka koncentrací těžkých kovů z 22.9.2022 113

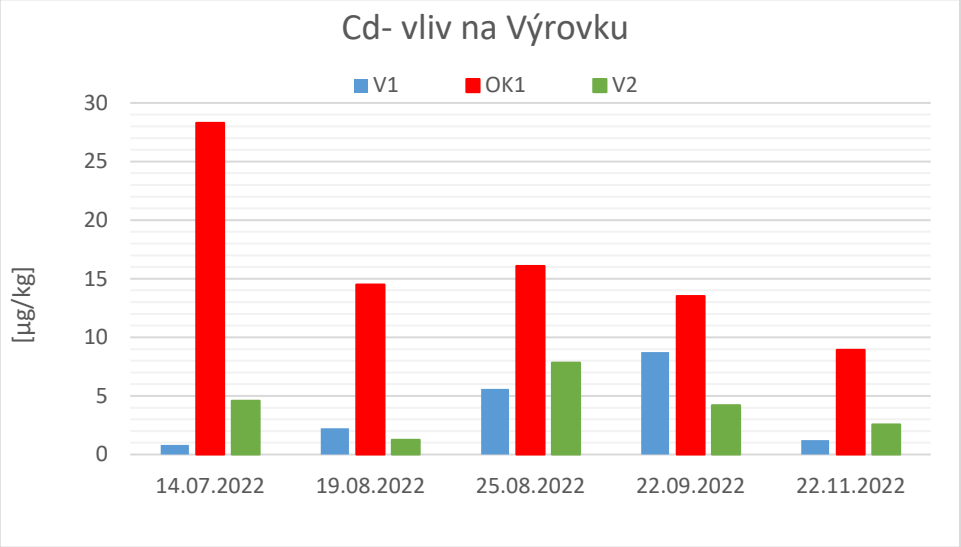
Příloha 16: Tabulka koncentrací těžkých kovů z 22.11.2022 114

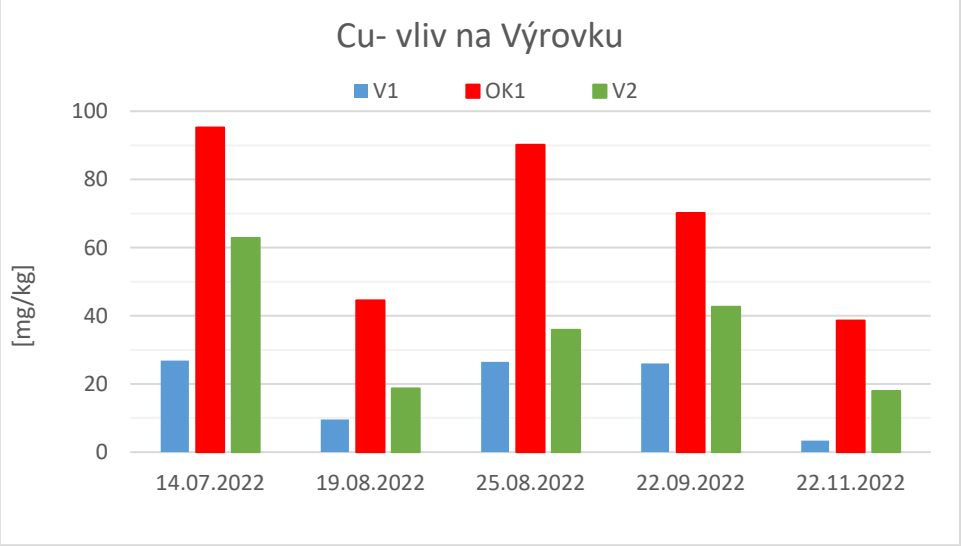
Příloha 1: Graf přepadových výšek na OK1-Tahiti (s vyznačením odběrových dnů)

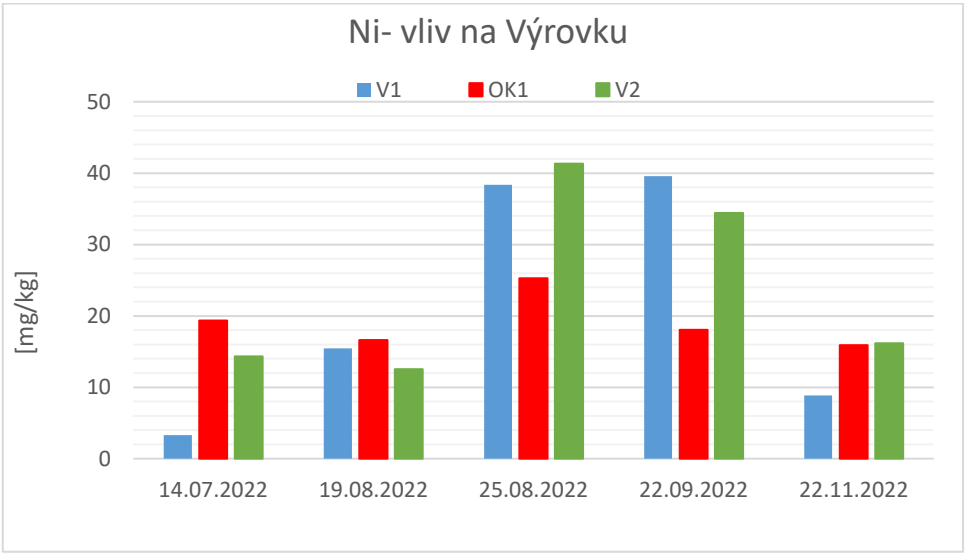


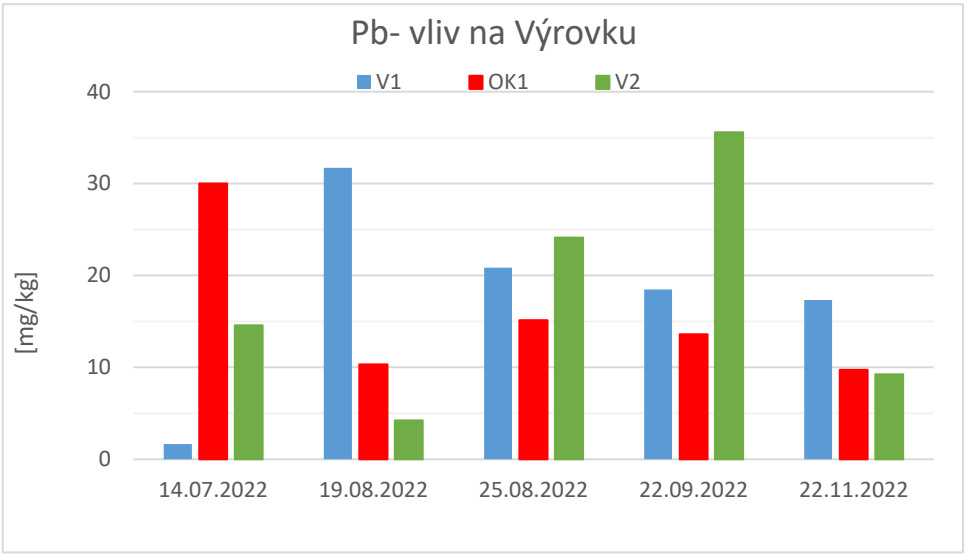
Příloha 2: Grafy vlivu OK1 na Výrovku

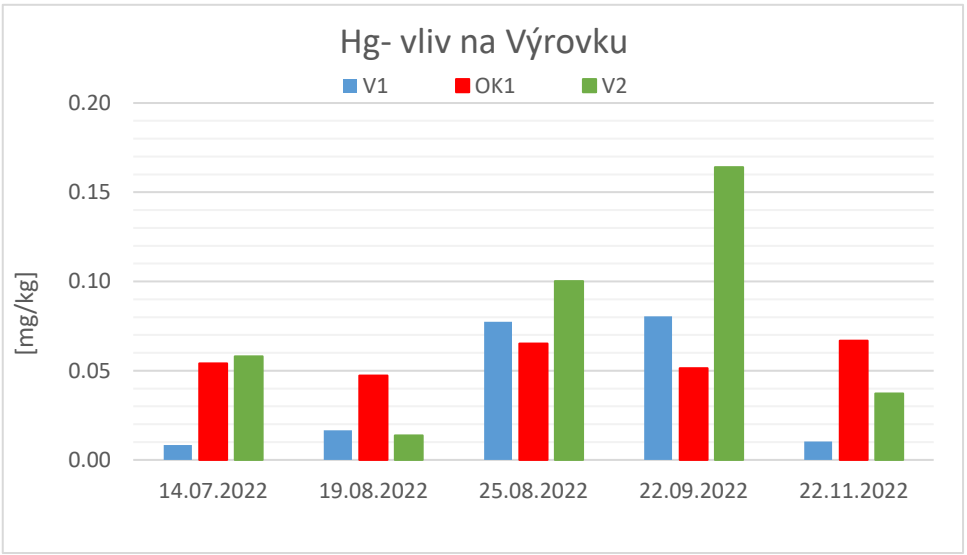


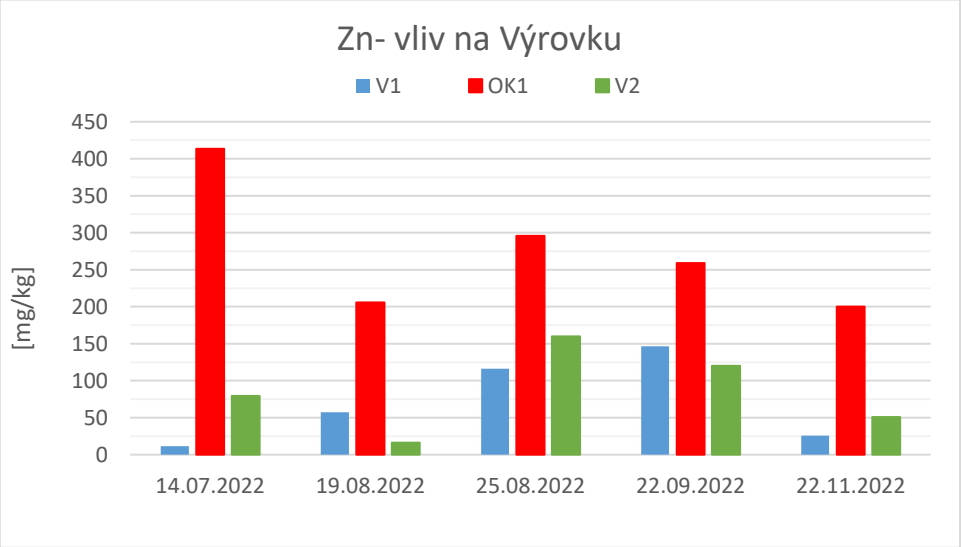




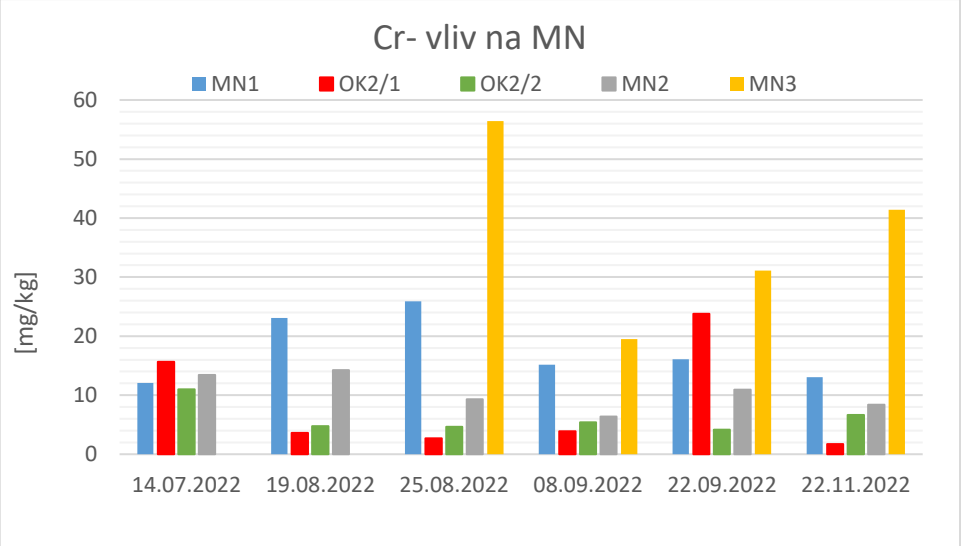

Ni- vliv na Výrovku
V1
OK1
V2
[mg/kg]
50
40
30
20
10
0
14.07.2022
19.08.2022
25.08.2022
22.09.2022
22.11.2022

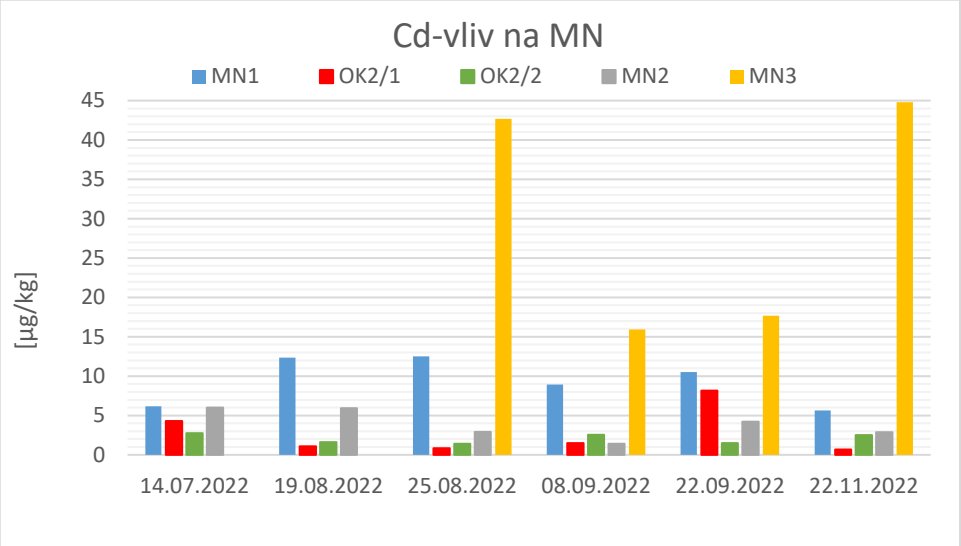

Pb- vliv na Výrovku
V1
OK1
V2
[mg/kg]
40
30
20
10
0
14.07.2022
19.08.2022
25.08.2022
22.09.2022
22.11.2022

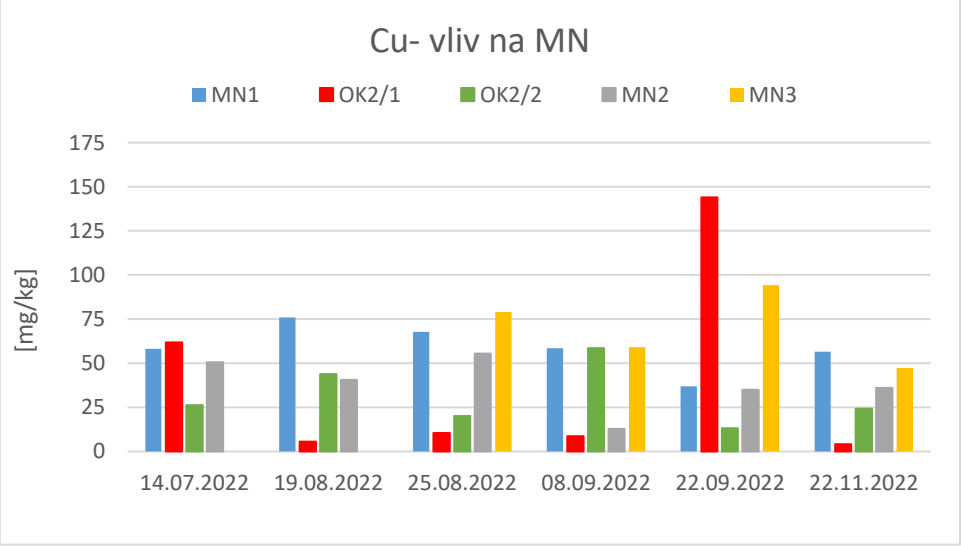

Hg- vliv na Výrovku
V1
OK1
V2
[mg/kg]
0.20
0.15
0.10
0.05
0.00
14.07.2022
19.08.2022
25.08.2022
22.09.2022
22.11.2022

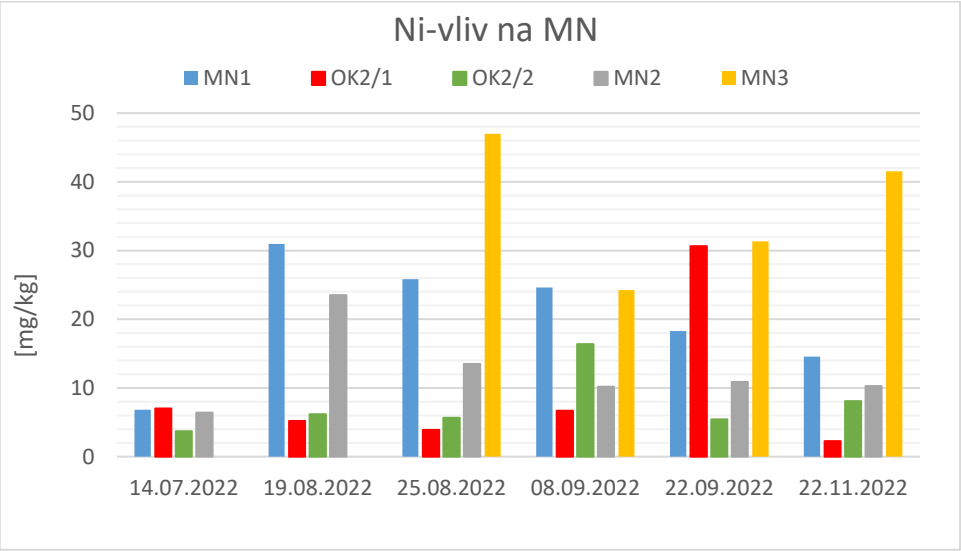

Zn- vliv na Výrovku
V1
OK1
V2
[mg/kg]
450
400
350
300
250
200
150
100
50
0
14.07.2022
19.08.2022
25.08.2022
22.09.2022
22.11.2022

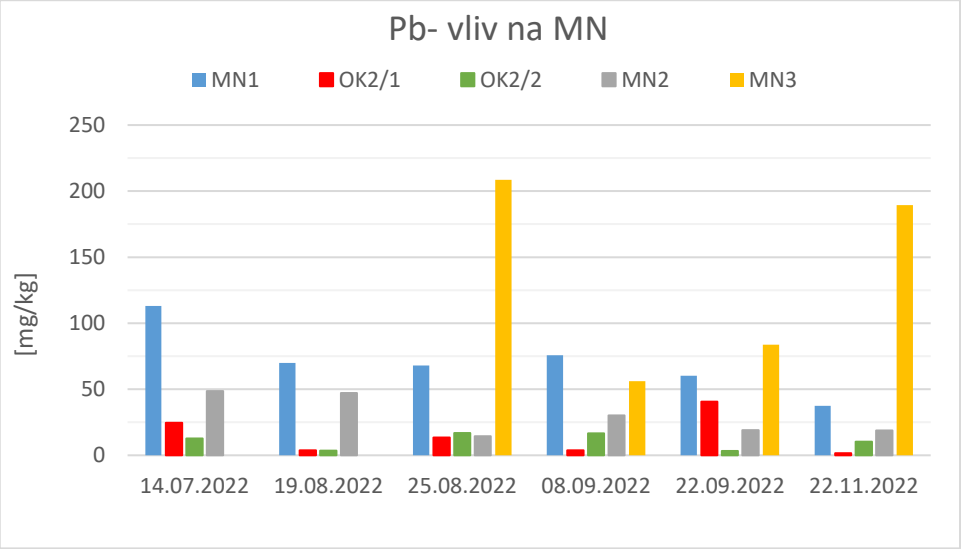
Příloha 3: Grafy vlivu OK2 a ČOV na Mlýnský náhon

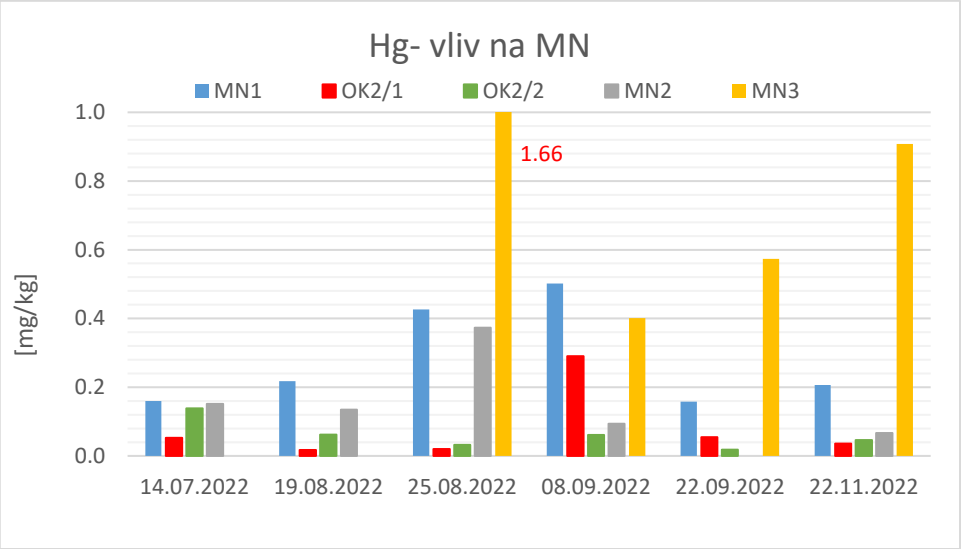


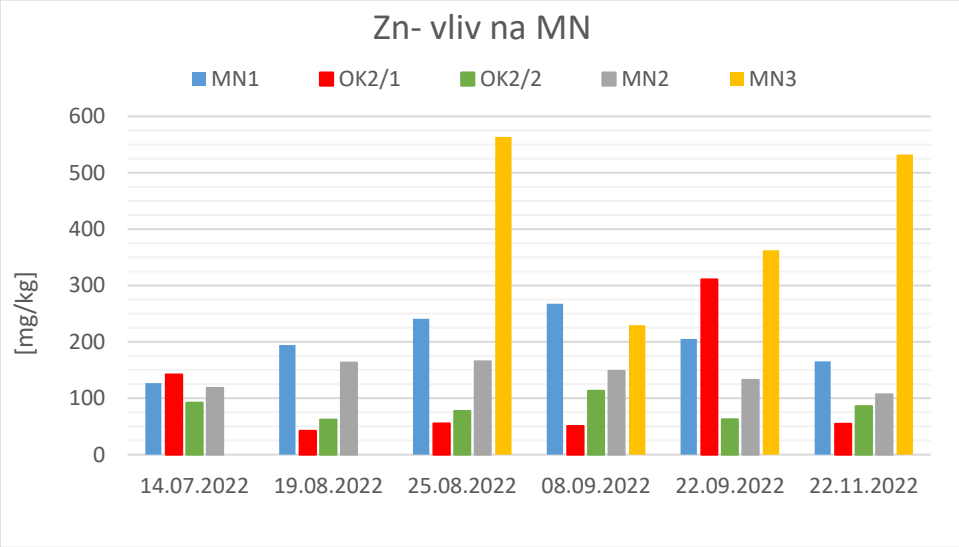




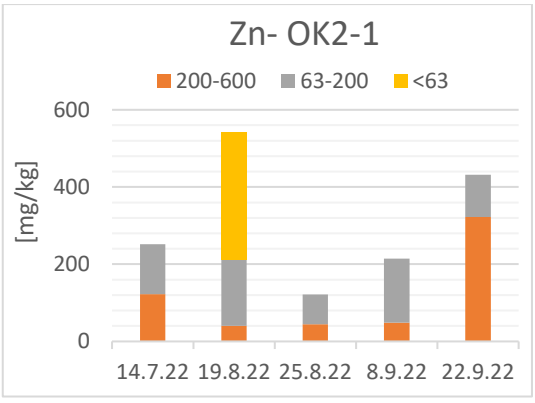

Ni-vliv na MN
MN1
OK2/1
OK2/2
MN2
MN3
[mg/kg]
50
40
30
20
10
0
14.07.2022
19.08.2022
25.08.2022
08.09.2022
22.09.2022
22.11.2022

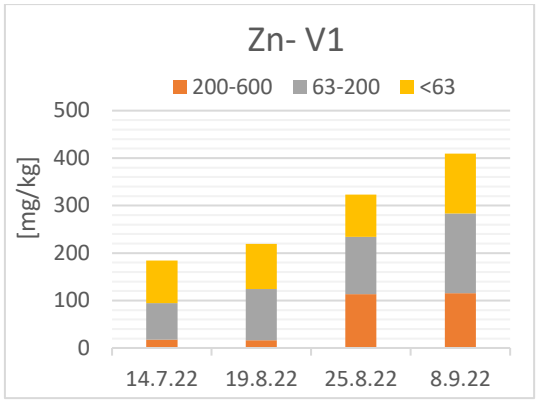

Pb- vliv na MN
MN1
OK2/1
OK2/2
MN2
MN3
[mg/kg]
250
200
150
100
50
0
14.07.2022
19.08.2022
25.08.2022
08.09.2022
22.09.2022
22.11.2022

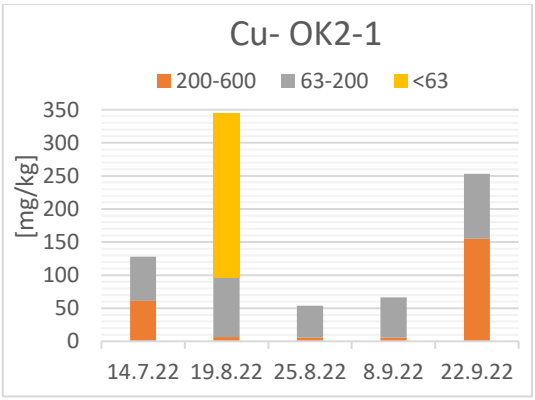

Hg- vliv na MN
MN1
OK2/1
OK2/2
MN2
MN3
[mg/kg]
1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0.0
1.66
14.07.2022
19.08.2022
25.08.2022
08.09.2022
22.09.2022
22.11.2022

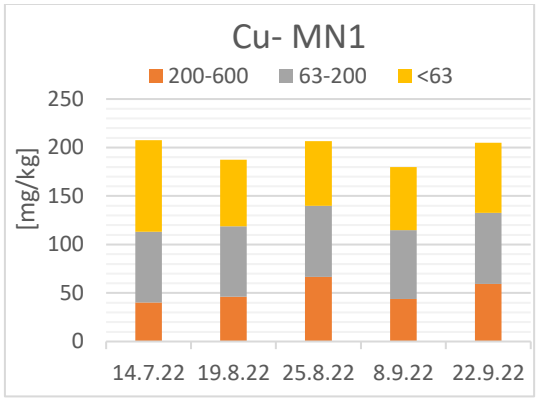

Zn- vliv na MN
MN1
OK2/1
OK2/2
MN2
MN3
600
500
400
300
200
100
0
[mg/kg]
14.07.2022
19.08.2022
25.08.2022
08.09.2022
22.09.2022
22.11.2022

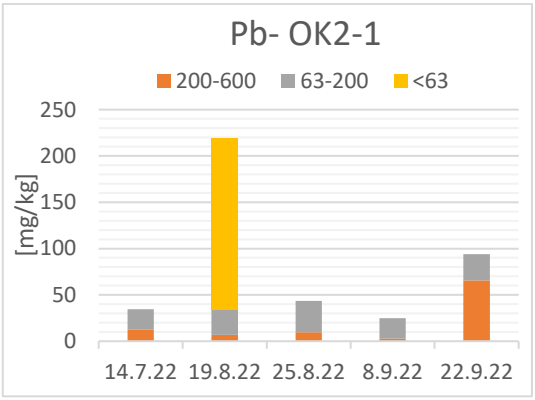
Příloha 4: Grafy vazby do zrnitostních frakcí

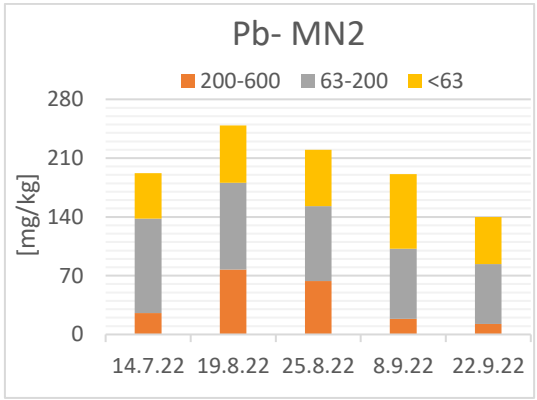


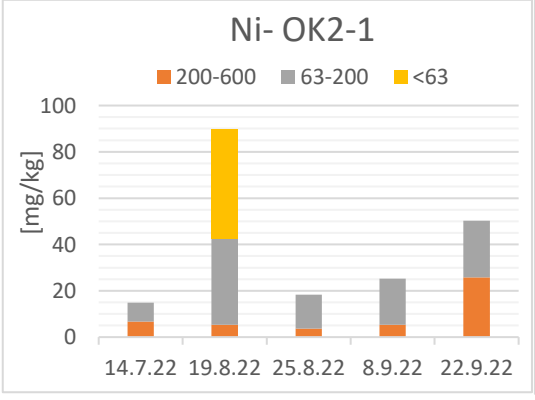


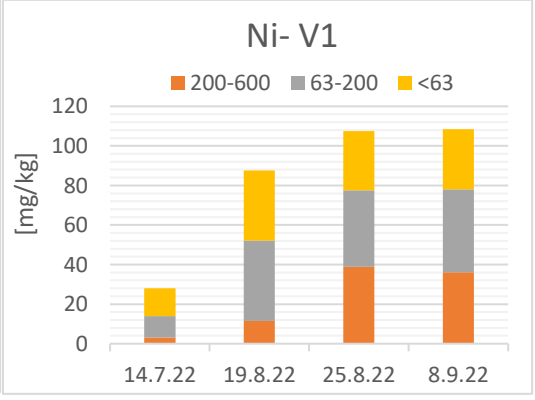


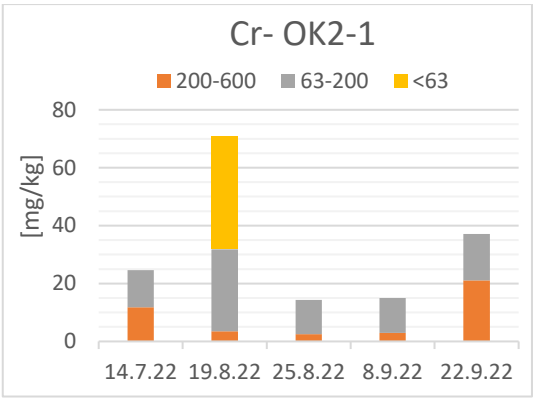


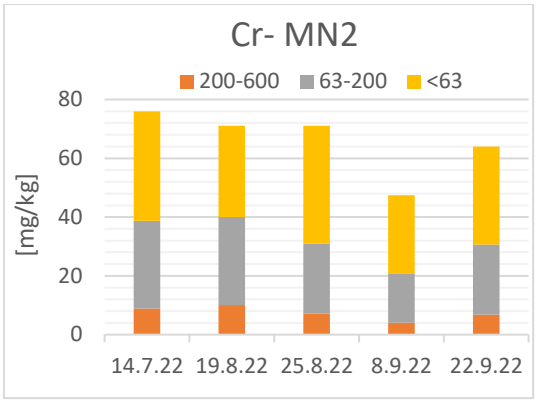


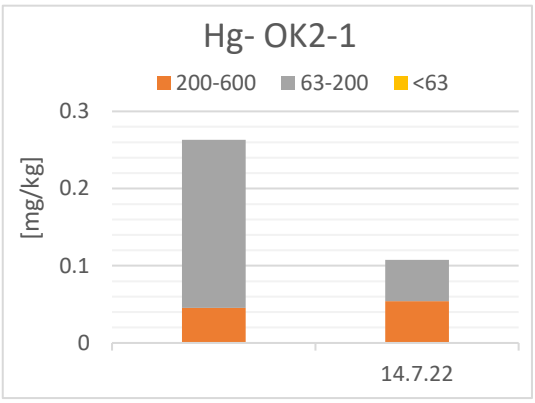


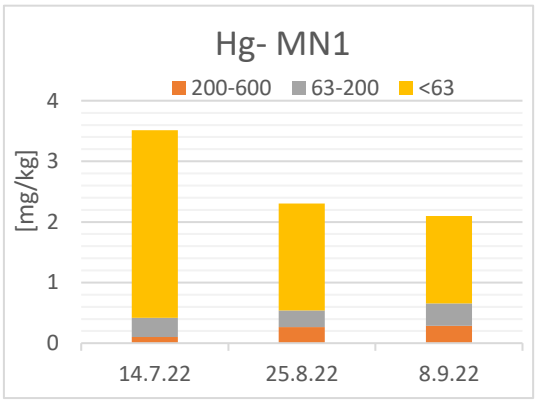


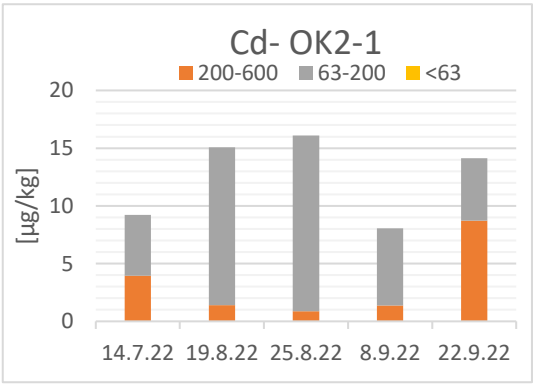


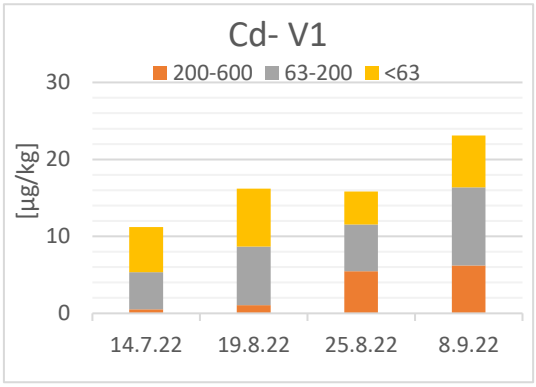

Cr- OK2-1
200-600
63-200
<63
[mg/kg]
80
60
40
20
0
14.7.22
19.8.22
25.8.22
8.9.22
22.9.22


Cr- MN2
200-600
63-200
<63
[mg/kg]
80
60
40
20
0
14.7.22
19.8.22
25.8.22
8.9.22
22.9.22

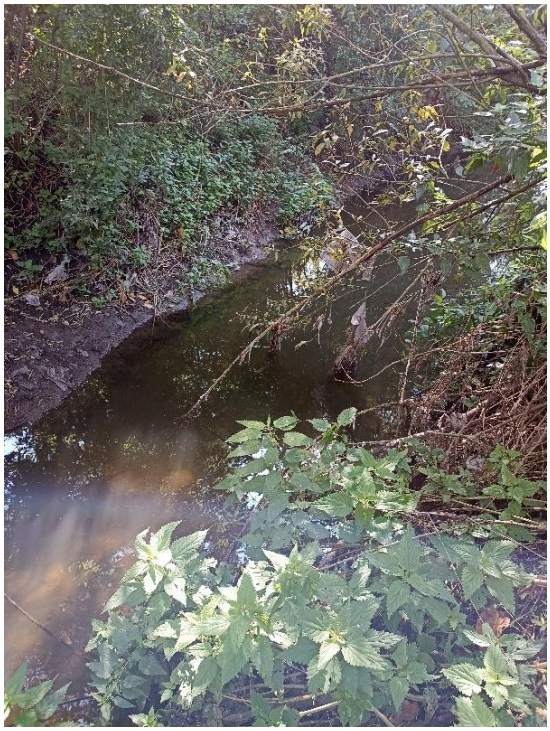

Hg- OK2-1
200-600
63-200
<63
[mg/kg]
0.3
0.2
0.1
0
14.7.22


Hg- MN1
200-600
63-200
<63
[mg/kg]
4
3
2
1
0
14.7.22
25.8.22
8.9.22


Cd- OK2-1
200-600
63-200
<63
[µg/kg]
20
15
10
5
0
14.7.22
19.8.22
25.8.22
8.9.22
22.9.22


Cd- V1
200-600
63-200
<63
[µg/kg]
30
20
10
0
14.7.22
19.8.22
25.8.22
8.9.22

Příloha 5: Profil MN3 pod výustí ČOV Pečky



Obr.5.1 a 5.2: Zachycené odpady na zlámaných větvích v profilu MN3 pod výustí ČOV Pečky, foto: Lenka Langhammerová, 22.9.2022

Příloha 6: Čerpání OV na ČOV Pečky

Obr. 6.1 a 6.2: Spouštění čerpadla v akumulační nádrži na ČOV Pečky k odlehčení OV do recipientu, foto: Lenka Langhammerová, 8.9.2022

Příloha 7: Rozvodněná Výrovka dne 25.8. 2022

Obr. 7.1 a 7.2: Místo vyústění OK1 a odběrový profil V1 za rozvodněného stavu dne 25.8.2022, foto: Lenka Langhammerová, 25.8.2022

Příloha 8: Dvě celkové zrnitostní frakce sedimentu (<600 μm)

Obr. 8.1 a 8.2: Porovnání celkové frakce vzorku sedimentu – vlevo MN3, vpravo OK1, foto: Lenka Langhammerová, 17.10.2022

Příloha 9: Tabulka zrnitostního složení sedimentu v jednotlivých odběrových místech

14.7.2022	V1	OK1	V2	MN1	OK2-1	OK2-2	MN2	MN3
<63	13.44	19.96	50.15	14.1	6.11	5.69	24.68	-
63-200	3.41	30.4	22.08	21.51	12.64	3.02	18.68	-
>200	83.17	49.62	27.76	64.38	81.25	91.26	56.62	-
19.8.2022								
<63	47.09	12.52	28.16	37.61	0	2.25	35.29	-
63-200	21.66	16.09	7.11	27.26	0	0.32	21.92	-
>200	31.24	71.36	64.75	35.1	100	97.45	42.82	-
25.8.2022								
<63	74.87	15.62	65.16	35.7	0	2.61	60.87	-
63-200	18.9	26.88	26.07	32.03	0	0.4	24.06	-
>200	6.18	57.5	8.74	32.28	100.01	96.99	15.08	-
8.9.2022								
<63	-	9.51	-	29.8	0	3.59	6.25	34.71
63-200	-	17.47	-	30	0	1.56	8.82	31.94
>200	-	73.04	-	40.15	99.97	94.82	84.93	33.32
22.9.2022								
<63	68.65	13.3	50.78	30.4	-	1.49	19.57	31.48
63-200	20.53	30.4	21.26	25.81	-	0.09	11.79	29.48
>200	10.82	56.29	27.93	43.79	-	98.44	68.63	39.05
22.11.2022								
<63	22.59	14.4	42.01	20.1	1.46	3.79	12.55	68.09
63-200	5.92	22.61	17.2	25.17	0	2.5	10.29	16.52
>200	71.44	62.97	40.79	54.73	98.54	93.72	77.13	15.34

Příloha 10: Tabulka obsahu organické hmoty v sedimentu

Odběrové místo	Datum odběru					
	14.7.2022	19.8.2022	25.8.2022	8.9.2022	22.9.2022	22.11.2022
V1	1.25%	1.95%	11.44%	-	11.31%	1.17%
V2	5.29%	1.23%	15.06%	-	5.63%	3.32%
OK1	6.57%	2.59%	4.46%	2.21%	3.94%	2.65%
OK2/1	1.67%	0.61%	0.75%	0.72%	5.78%	0.77%
OK2/2	1.38%	0.71%	0.86%	1.49%	0.80%	1.03%
MN1	2.10%	6.65%	8.00%	7.37%	4.93%	3.78%
MN2	3.01%	3.65%	2.15%	0.95%	2.82%	1.82%
MN3	-	-	16.98%	10.21%	17.49%	14.08%

Příloha 11: Tabulka koncentrací těžkých kovů z 14.7.2022

14.07.2022	Cu		Cd (µg/kg)		Pb		Ni		Cr		Zn		Hg	
OK1	**průměr**	RSD%	**průměr**	RSD%	**průměr**	RSD%	**průměr**	RSD%	**průměr**	RSD%	**průměr**	RSD%	**průměr**	RSD%
celk	**95.198**	30.454	**28.289**	9.295	**30.011**	4.131	**19.369**	0.554	**35.369**	3.153	**413.398**	5.265	**0.05405**	12.25
200-600	**129.470**	9.683	**32.714**	16.019	**28.984**	6.458	**19.382**	4.876	**37.246**	6.438	**499.274**	1.630	**0.09561**	0.68
63-200	**92.947**	6.708	**19.313**	5.759	**27.117**	0.325	**19.946**	7.149	**33.482**	1.197	**328.846**	4.631	**0.13558**	3.15
<63	**133.578**	9.026	**64.967**	29.359	**46.128**	4.794	**41.440**	15.109	**57.316**	1.790	**479.202**	7.282	**1.38336**	1.05
OK2/1														
celk	**61.778**	47.838	**4.317**	46.734	**24.667**	60.003	**6.991**	9.670	**15.677**	23.852	**142.316**	9.005	**0.05293**	21.93
200-600	**61.087**	31.811	**3.940**	14.733	**12.831**	20.648	**6.726**	15.722	**11.773**	14.714	**122.688**	15.765	**0.04548**	10.3
63-200	**66.838**	2.132	**5.289**	9.493	**21.618**	19.025	**8.132**	9.982	**12.879**	13.213	**129.161**	4.936	**0.21760**	94.86
<63	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
V2														
celk	**62.867**	80.995	**4.597**	4.101	**14.567**	0.619	**14.351**	3.081	**20.595**	4.158	**79.322**	2.038	**0.05810**	11.92
200-600	**27.919**	55.739	**2.908**	3.608	**10.460**	20.350	**9.500**	11.981	**12.021**	21.792	**54.847**	5.105	**0.03594**	14.14
63-200	**41.149**	0.893	**7.873**	11.369	**23.412**	6.270	**19.883**	7.639	**26.482**	20.886	**133.735**	0.483	**0.11103**	14.85
<63	**34.143**	5.064	**6.588**	9.743	**19.012**	0.089	**16.094**	11.357	**23.705**	27.071	**122.973**	2.299	**0.10005**	5.02
MN1														
celk	**58.178**	8.143	**6.185**	26.452	**113.057**	33.799	**6.837**	14.707	**12.088**	15.185	**126.818**	21.721	**0.15940**	25.51254
200-600	**40.209**	34.435	**4.205**	1.245	**129.896**	75.397	**5.363**	3.603	**7.991**	0.100	**117.977**	2.345	**0.09986**	19.98
63-200	**73.017**	20.439	**6.334**	4.878	**169.300**	3.032	**11.052**	4.160	**17.494**	0.877	**140.008**	25.616	**0.31977**	48.55
<63	**94.429**	0.403	**19.263**	12.824	**223.092**	0.725	**24.652**	5.224	**41.796**	0.975	**362.045**	1.425	**3.09555**	10.91
MN2														
celk	**50.497**	76.121	**5.994**	54.175	**48.627**	99.783	**6.404**	7.852	**13.434**	21.797	**118.497**	33.049	**0.15112**	30.07884
200-600	**42.162**	64.059	**3.216**	0.243	**25.290**	73.435	**5.830**	12.558	**8.883**	16.360	**112.423**	3.012	**0.10901**	21.39
63-200	**77.281**	10.276	**9.923**	9.761	**112.566**	28.413	**16.447**	6.021	**29.813**	12.782	**215.341**	0.653	**0.26166**	0
<63	**60.503**	5.213	**14.635**	3.621	**54.143**	0.976	**20.760**	2.724	**37.326**	0.367	**239.891**	2.499	**0.77952**	51.7
OK2/2														
celk	**26.273**	42.251	**2.737**	11.603	**12.702**	82.643	**3.725**	4.998	**10.987**	47.263	**92.305**	9.000	**0.13879**	17.52
200-600	**11.583**	6.896	**2.554**	4.528	**4.068**	2.263	**2.864**	14.564	**5.265**	10.577	**96.685**	37.949	**0.09076**	18.94
63-200	**146.147**	5.653	**23.274**	15.131	**104.550**	6.437	**18.664**	5.427	**34.449**	16.973	**307.303**	10.838	**1.06945**	0
<63	**224.995**	2.320	**26.052**	26.819	**90.264**	1.167	**29.861**	4.673	**54.573**	0.492	**407.653**	10.598	-	-
V1														
celk	**26.885**	119.356	**0.806**	24.451	**1.642**	10.625	**3.293**	11.574	**4.606**	22.878	**11.377**	8.673	**0.00833**	14.01
200-600	**3.158**	12.108	**0.540**	4.557	**1.363**	5.586	**3.082**	14.587	**4.756**	28.257	**17.929**	56.651	**0.02288**	81.4
63-200	**25.146**	15.147	**4.801**	6.347	**13.372**	11.482	**10.845**	12.648	**16.334**	33.059	**76.668**	12.223	**0.03896**	30.73
<63	**27.799**	1.564	**5.851**	9.608	**13.172**	5.185	**14.033**	11.027	**22.942**	26.730	**89.780**	2.907	**0.10001**	1.39

Příloha 12: Tabulka koncentrací těžkých kovů z 19.8.2022

19.08.2022	Cu		Cd (µg/kg)		Pb		Ni		Cr		Zn		Hg	
OK1	**průměr**	RSD%	**průměr**	RSD%	**průměr**	RSD%	**průměr**	RSD%	**průměr**	RSD%	**průměr**	RSD%	**průměr**	RSD%
celk	**44.517**	11.488	**14.512**	22.074	**10.323**	39.209	**16.626**	14.291	**13.555**	12.999	**205.724**	1.845	**0.0472**	10.82
200-600	**49.604**	12.817	**12.237**	7.246	**24.914**	28.484	**16.406**	2.305	**13.978**	23.558	**218.112**	4.071	-	-
63-200	**68.361**	10.242	**25.342**	60.513	**19.598**	0.137	**26.321**	6.738	**21.303**	11.120	**245.896**	5.053	-	-
<63	**119.507**	0.530	**24.737**	5.290	**34.966**	8.889	**94.345**	11.349	**72.135**	10.748	**382.808**	0.242	-	-
OK2/1														
celk	**5.469**	5.518	**1.076**	15.518	**3.811**	50.876	**5.208**	15.731	**3.634**	0.715	**42.088**	20.712	**0.0168**	4.08
200-600	**6.322**	17.810	**1.389**	9.052	**6.724**	84.787	**5.404**	10.588	**3.522**	11.368	**40.379**	22.309	-	-
63-200	**90.050**	16.750	**13.682**	-	**27.014**	63.284	**37.234**	6.044	**28.322**	18.936	**172.813**	118.981	-	-
<63	**248.460**	-	-	-	**185.455**	-	**47.240**	-	**38.843**	-	**329.555**	-	-	-
V2														
celk	**18.659**	97.887	**1.246**	23.533	**4.242**	41.315	**12.532**	21.959	**8.274**	7.826	**16.053**	18.853	**0.0138**	32.35
200-600	**6.897**	6.138	**1.048**	8.882	**2.506**	11.283	**11.037**	21.418	**5.325**	18.555	**37.806**	79.607	-	-
63-200	**282.354**	116.071	**6.697**	8.196	**17.281**	22.573	**33.033**	1.937	**22.753**	15.026	**75.573**	15.955	-	-
<63	**41.592**	18.112	**8.999**	12.642	**91.518**	107.886	**34.816**	6.457	**25.291**	9.899	**116.911**	15.543	-	-
MN1														
celk	**75.926**	6.426	**12.356**	7.299	**69.897**	9.683	**30.957**	14.031	**23.104**	2.450	**194.733**	4.810	**0.2178**	9.63
200-600	**46.286**	67.923	**12.347**	8.140	**81.320**	31.239	**17.899**	3.888	**16.468**	6.683	**204.521**	17.520	-	-
63-200	**72.421**	26.362	**14.425**	13.566	**115.597**	0.203	**33.558**	4.192	**28.733**	2.839	**244.167**	2.458	-	-
<63	**68.845**	6.979	**16.403**	1.547	**108.746**	1.133	**43.386**	4.757	**37.434**	5.519	**281.394**	9.535	-	-
MN2														
celk	**40.565**	76.698	**5.934**	4.763	**47.227**	22.110	**23.493**	1.687	**14.214**	18.101	**163.339**	31.988	**0.1350**	7.39
200-600	**87.044**	35.684	**3.394**	17.716	**77.297**	43.195	**22.083**	17.397	**10.087**	9.480	**102.942**	18.796	-	-
63-200	**79.852**	15.861	**18.788**	31.196	**103.321**	60.961	**61.708**	4.855	**29.907**	4.107	**220.469**	2.486	-	-
<63	**51.652**	13.203	**12.880**	10.314	**68.400**	24.958	**67.758**	9.239	**31.083**	13.075	**203.586**	11.077	-	-
OK2/2														
celk	**43.835**	110.982	**1.600**	20.496	**3.615**	8.549	**6.163**	15.837	**4.728**	3.177	**62.335**	0.447	**0.0622**	16.76
200-600	**44.076**	1.352	**1.940**	12.618	**6.597**	60.180	**6.653**	19.596	**4.740**	3.207	**51.694**	10.681	-	-
63-200	**99.255**	28.175	**9.170**	30.827	**64.419**	53.833	**25.940**	26.117	**21.469**	32.702	**194.283**	5.019	-	-
<63	**186.500**	3.030	**18.439**	19.325	**59.246**	3.913	**59.729**	5.207	**48.728**	4.958	**446.832**	12.189	-	-
V1														
celk	**9.540**	3.078	**2.236**	4.104	**31.702**	118.283	**15.442**	0.630	**8.774**	14.010	**57.258**	28.246	**0.0165**	3.22
200-600	**22.913**	117.620	**1.060**	9.614	**2.324**	4.919	**11.585**	18.405	**5.727**	40.835	**16.192**	6.794	-	-
63-200	**34.938**	11.410	**7.603**	9.828	**26.140**	40.438	**40.623**	4.522	**22.766**	30.026	**108.079**	1.059	-	-
<63	**26.381**	4.737	**7.550**	9.325	**19.026**	1.941	**35.385**	12.599	**22.106**	33.778	**95.066**	6.902	-	-

Příloha 13: Tabulka koncentrací těžkých kovů z 25.8.2022

25.08.2022	Cu		Cd		Pb		Ni		Cr		Zn		Hg	
OK1	**průměr**	RSD%	**průměr**	RSD%	**průměr**	RSD%	**průměr**	RSD%	**průměr**	RSD%	**průměr**	RSD%	**průměr**	RSD%
celk	**90.118**	23.998	**16.090**	8.388	**15.134**	10.189	**25.281**	4.313	**24.854**	2.956	**295.841**	17.117	**0.0652**	3.01
200-600	**68.539**	3.930	**16.531**	9.815	**18.441**	5.283	**24.373**	9.044	**23.571**	2.762	**317.085**	10.536	**0.0769**	27.09
63-200	**78.903**	7.299	**12.490**	0.316	**19.788**	2.066	**27.047**	6.506	**24.922**	0.335	**259.572**	8.875	**0.0790**	11.88
<63	**131.851**	0.919	**29.273**	18.647	**61.217**	1.030	**94.542**	5.552	**88.159**	7.000	**630.994**	62.452	**1.6840**	83.90
OK2/1														
celk	**10.462**	53.990	**0.839**	17.573	**13.391**	94.684	**3.870**	19.090	**2.667**	28.959	**55.532**	33.533	**0.0198**	12.92
200-600	**5.582**	3.903	**0.875**	8.690	**9.744**	101.792	**3.697**	28.843	**2.489**	37.619	**44.244**	14.057	**0.0544**	15.34
63-200	**48.479**	2.738	**15.213**	114.407	**33.748**	97.274	**14.583**	30.699	**11.851**	31.201	**77.014**	111.443	**0.0533**	10.10
<63	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
V2														
celk	**35.838**	6.360	**7.833**	5.130	**24.107**	2.998	**41.335**	1.968	**37.300**	0.584	**159.938**	8.935	**0.1002**	8.37
200-600	**37.562**	4.097	**9.633**	2.269	**26.793**	3.493	**44.432**	2.195	**39.462**	4.653	**167.526**	3.317	**0.1311**	19.62
63-200	**34.776**	2.465	**7.501**	10.656	**25.562**	5.274	**40.755**	2.178	**37.593**	4.880	**156.830**	0.792	**0.0971**	1.05
<63	**25.807**	3.929	**5.599**	5.229	**17.435**	2.075	**30.779**	3.605	**27.494**	4.974	**134.106**	7.241	**0.0718**	3.06
MN1														
celk	**67.798**	13.649	**12.518**	9.415	**68.083**	1.835	**25.838**	4.584	**25.907**	1.030	**241.346**	9.058	**0.4261**	28.61
200-600	**66.805**	10.103	**9.703**	32.715	**63.420**	26.347	**20.960**	12.627	**20.732**	13.150	**213.562**	6.969	**0.2654**	51.05
63-200	**73.085**	0.254	**9.446**	14.042	**78.765**	4.524	**30.204**	0.211	**28.849**	5.753	**246.584**	2.486	**0.2773**	21.36
<63	**66.555**	5.709	**12.913**	4.861	**97.366**	11.999	**39.832**	7.432	**36.776**	7.691	**271.978**	6.520	**1.7596**	2.91
MN2														
celk	**55.522**	31.614	**2.930**	11.822	**14.512**	7.386	**13.475**	26.759	**9.296**	3.945	**165.574**	43.380	**0.3729**	-
200-600	**47.134**	77.975	**1.946**	4.701	**63.487**	91.443	**8.708**	0.934	**7.160**	4.555	**108.241**	32.716	**0.1736**	1.87
63-200	**81.963**	24.214	**6.644**	11.364	**89.190**	21.591	**27.440**	4.240	**23.854**	1.565	**194.598**	13.278	**0.7902**	0.00
<63	**71.182**	0.413	**9.555**	10.370	**67.340**	4.871	**41.619**	1.752	**40.051**	4.000	**290.194**	4.862	**1.3033**	4.96
OK2/2														
celk	**20.126**	13.724	**1.393**	11.941	**16.790**	29.683	**5.676**	4.178	**4.670**	34.045	**77.245**	26.088	**0.0325**	2.21
200-600	**12.385**	49.967	**1.022**	0.771	**3.677**	1.100	**3.759**	30.593	**3.448**	30.425	**51.313**	10.106	**0.0278**	4.88
63-200	**94.587**	2.687	**21.505**	101.256	**74.359**	5.227	**22.303**	14.549	**17.652**	28.006	**225.265**	11.764	**0.1044**	48.47
<63	**164.384**	8.579	**10.820**	3.379	**61.163**	4.338	**38.159**	9.277	**34.925**	25.075	**574.262**	32.319	**4.6118**	134.07
V1														
celk	**26.492**	15.327	**5.608**	18.190	**20.843**	9.697	**38.376**	9.807	**33.633**	12.728	**116.006**	10.939	**0.0774**	11.26
200-600	**24.657**	2.181	**5.454**	5.057	**22.123**	8.481	**38.803**	1.619	**32.745**	1.613	**113.297**	4.344	-	-
63-200	**26.796**	0.485	**6.099**	3.500	**21.573**	2.275	**38.769**	0.568	**32.901**	3.151	**120.612**	0.894	-	-
<63	**19.217**	0.609	**4.262**	2.213	**15.881**	1.237	**29.986**	1.100	**26.964**	4.263	**89.569**	0.154	-	-
MN3														
celk	**78.961**	4.309	**42.680**	5.239	**208.503**	11.021	**47.000**	6.854	**56.445**	11.960	**563.647**	6.477	**1.6643**	12.75
200-600	**72.389**	8.730	**36.963**	4.334	**188.723**	4.234	**42.598**	4.123	**50.123**	3.546	**535.128**	7.664	**1.3787**	5.56
63-200	**87.473**	1.338	**47.967**	14.564	**217.465**	4.375	**48.888**	2.647	**54.674**	4.359	**602.669**	2.128	**1.2472**	17.78
<63	**65.803**	5.342	**38.012**	1.886	**170.142**	3.145	**40.893**	0.005	**47.364**	3.088	**472.048**	4.296	**1.9666**	65.92

Příloha 14: Tabulka koncentrací těžkých kovů z 8.9.2022

08.09.2022	Cu		Cd(µg/kg)		Pb		Ni		Cr		Zn		Hg	
OK1	průměr	RSD%	průměr	RSD%	průměr	RSD%	průměr	RSD%	průměr	RSD%	průměr	RSD%	průměr	RSD%
celk	**49.925**	70.1	**6.416**	8.9	**6.219**	8.3	**14.801**	10.1	**10.997**	2.1	**203.461**	3.2	**0.0479**	26.3
200-600	**41.441**	47.5	**7.235**	31.2	**7.854**	14.3	**12.610**	4.9	**9.779**	7.4	**196.995**	4.8	**0.0475**	13.7
63-200	**59.618**	9.9	**7.386**	7.2	**12.561**	24.5	**24.943**	10.8	**16.576**	8.6	**211.118**	9.0	**0.0617**	1.2
<63	**105.398**	19.5	**12.334**	21.7	**41.549**	34.8	**81.287**	4.6	**39.029**	3.0	**1206.424**	85.3	**0.5524**	26.3
OK2/1														
celk	**8.580**	41.1	**1.483**	3.9	**3.760**	43.2	**6.691**	16.0	**3.881**	14.4	**50.826**	5.7	**0.2900**	22.6
200-600	**5.697**	4.2	**1.366**	6.7	**2.745**	7.5	**5.342**	6.6	**2.968**	6.2	**48.960**	0.2	-	-
63-200	**60.717**	48.3	**6.696**	0.0	**22.008**	3.1	**19.917**	2.4	**12.013**	10.3	**165.305**	7.0	-	-
<63	-	-			-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MN1														
celk	**58.561**	5.9	**8.927**	6.5	**75.739**	13.8	**24.628**	10.5	**15.174**	14.7	**267.515**	3.8	**0.5014**	13.7
200-600	**43.815**	6.5	**5.986**	10.9	**48.950**	17.4	**20.290**	3.6	**13.304**	7.5	**257.623**	35.2	**0.2891**	7.1
63-200	**70.857**	8.9	**10.206**	4.0	**83.188**	2.5	**30.805**	5.5	**21.851**	0.5	**266.507**	0.5	**0.3671**	2.7
<63	**65.053**	1.4	**13.548**	4.1	**112.440**	1.4	**43.045**	6.2	**27.063**	19.9	**375.927**	1.0	**1.4399**	13.9
MN2														
celk	**12.803**	10.2	**1.426**	27.3	**30.104**	20.5	**10.201**	4.9	**6.354**	18.2	**148.276**	60.9	**0.0932**	19.9
200-600	**161.656**	80.9	**1.446**	33.3	**18.625**	39.9	**9.035**	1.5	**4.098**	8.4	**138.404**	61.2	**0.0839**	39.4
63-200	**94.446**	29.3	**15.177**	12.5	**83.429**	4.3	**29.526**	10.3	**16.807**	6.8	**249.824**	7.6	**0.4849**	22.2
<63	**97.418**	3.0	**36.938**	25.9	**88.874**	2.2	**63.429**	1.5	**26.579**	3.4	**430.960**	5.4	**2.4667**	63.2
OK2/2														
celk	**58.566**	44.6	**2.548**	0.5	**16.670**	76.9	**16.395**	61.2	**5.414**	6.2	**113.419**	2.5	**0.0608**	13.0
200-600	**30.587**	85.3	**1.875**	8.5	**28.125**	98.4	**8.302**	3.0	**4.646**	20.5	**93.196**	10.1	**0.0543**	22.0
63-200	**127.729**	12.8	**7.892**	18.3	**134.534**	58.9	**32.213**	6.3	**18.488**	9.7	**262.628**	3.7	**0.1895**	14.2
<63	**168.945**	1.9	**19.382**	1.7	**117.179**	16.8	**94.981**	10.0	**41.132**	4.4	**560.493**	9.0	**4.6233**	94.9
MN3														
celk	**59.054**	25.7	**15.921**	9.8	**56.004**	5.7	**24.233**	8.8	**19.493**	7.1	**229.607**	2.5	**0.4010**	37.1
200-600	**29.954**	5.4	**11.820**	0.9	**36.566**	4.3	**20.009**	0.5	**15.107**	1.9	**181.205**	3.7	**0.3788**	11.5
63-200	**73.043**	1.4	**21.005**	4.0	**80.404**	1.6	**35.156**	2.4	**27.346**	1.5	**322.431**	0.8	**0.4772**	3.7
<63	**56.951**	4.6	**19.876**	0.8	**69.663**	3.4	**40.343**	0.2	**28.960**	1.9	**282.992**	3.7	**0.9445**	40.6

Příloha 15: Tabulka koncentrací těžkých kovů z 22.9.2022

22.09.2022	Cu		Cd		Pb		Ni		Cr		Zn		Hg	
OK1	průměr	RSD%	průměr	RSD%	průměr	RSD%	průměr	RSD%	průměr	RSD%	průměr	RSD%	průměr	RSD%
celk	**70.179**	42.940	**13.534**	10.301	**13.608**	14.176	**18.069**	1.850	**14.548**	25.487	**259.105**	2.038	**0.05143**	22.01
200-600	**57.016**	16.606	**17.006**	5.674	**10.339**	13.230	**19.908**	8.184	**21.526**	36.604	**294.129**	6.115	-	-
63-200	**56.084**	16.307	**12.587**	19.491	**13.310**	6.273	**22.179**	19.473	**15.031**	30.734	**272.739**	27.992	-	-
<63	**111.939**	1.227	**19.603**	7.193	**30.141**	0.543	**64.754**	24.237	**32.348**	31.427	**431.075**	7.607	-	-
OK2/1														
celk	**143.907**	1.034	**8.164**	5.801	**40.655**	28.684	**30.624**	16.850	**23.797**	3.287	**311.022**	4.711	**0.05405**	12.25
200-600	**154.933**	15.706	**8.709**	3.915	**65.631**	5.871	**25.832**	3.685	**21.070**	5.381	**322.396**	15.752	-	-
63-200	**98.379**	16.704	**5.415**	8.688	**28.246**	13.833	**24.390**	17.889	**16.091**	12.658	**109.749**	114.835	-	-
<63	-	-			-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
V2														
celk	**42.642**	15.969	**4.210**	38.552	**35.596**	67.971	**34.398**	2.467	**19.707**	9.667	**120.018**	24.625	**0.16404**	31.2
200-600	**31.523**	23.390	**4.667**	9.451	**16.479**	9.766	**32.911**	5.887	**16.667**	19.997	**131.017**	58.968	-	-
63-200	**55.184**	17.893	**9.809**	1.099	**34.815**	7.250	**42.619**	1.516	**29.950**	0.559	**312.205**	63.019	-	-
<63	**39.212**	1.176	**8.195**	3.446	**35.521**	2.015	**29.280**	3.114	**24.016**	1.392	**182.594**	17.200	-	-
MN1														
celk	**37.024**	7.866	**10.501**	4.329	**60.210**	31.159	**18.289**	1.984	**16.102**	12.284	**205.519**	12.126	**0.15777**	28.07
200-600	**59.413**	40.526	**11.475**	23.063	**64.956**	28.427	**17.747**	20.478	**15.549**	15.980	**233.669**	1.770	-	-
63-200	**73.332**	5.415	**14.189**	9.482	**107.649**	20.696	**32.047**	9.194	**25.246**	0.405	**279.891**	19.172	-	-
<63	**72.043**	4.331	**24.174**	1.292	**140.930**	2.157	**46.671**	3.887	**39.738**	2.482	**387.669**	5.175	-	-
MN2														
celk	**34.980**	31.227	**4.235**	3.572	**19.050**	40.908	**10.896**	3.363	**10.946**	16.639	**132.869**	1.924	-	-
200-600	**42.484**	25.275	**3.170**	8.115	**12.610**	10.227	**9.122**	10.145	**6.755**	3.028	**103.389**	3.565	-	-
63-200	**65.644**	4.255	**11.540**	4.052	**71.139**	1.924	**31.572**	1.449	**23.952**	12.687	**240.380**	3.168	-	-
<63	**69.640**	3.644	**14.074**	3.218	**56.252**	3.655	**41.965**	1.554	**33.234**	6.783	**326.344**	4.148	-	-
OK2/2														
celk	**13.087**	51.875	**1.497**	9.721	**3.294**	0.353	**5.413**	9.484	**4.155**	8.975	**62.553**	7.201	**0.01852**	21.79
200-600	**32.779**	28.494	**1.952**	32.848	**10.366**	83.036	**6.501**	6.306	**4.869**	40.304	**53.681**	4.424	-	-
63-200	**143.851**	51.972	**11.462**	12.406	**50.581**	12.332	**32.027**	6.714	**23.308**	3.541	**234.818**	0.052	-	-
<63	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MN3														
celk	**94.321**	48.655	**17.693**	15.956	**83.689**	10.676	**31.321**	10.252	**31.112**	1.616	**362.698**	15.033	**0.57313**	6.23
200-600	**46.744**	15.270	**14.889**	29.422	**65.674**	19.434	**21.388**	9.963	**22.109**	1.570	**247.744**	3.935	-	-
63-200	**81.352**	8.470	**18.167**	7.281	**79.309**	3.091	**36.854**	16.886	**29.419**	1.549	**360.456**	0.480	-	-
<63	**77.987**	0.399	**17.838**	2.194	**79.541**	1.788	**35.514**	4.404	**34.096**	0.961	**479.070**	21.581	-	-
V1														
celk	**25.992**	3.478	**8.732**	0.429	**18.481**	10.893	**39.575**	1.522	**29.321**	4.261	**146.311**	1.498	**0.08038**	15.83
200-600	**21.685**	21.105	**6.225**	2.673	**13.622**	6.506	**36.047**	0.029	**22.029**	0.730	**115.156**	10.966	-	-
63-200	**32.455**	0.758	**10.160**	5.083	**22.836**	0.382	**42.018**	2.908	**33.164**	0.197	**168.068**	5.338	-	-
<63	**20.219**	3.013	**6.732**	1.461	**15.496**	2.599	**30.369**	1.085	**25.413**	2.995	**126.038**	14.026	-	-

Příloha 16: Tabulka koncentrací těžkých kovů z 22.11.2022

22.11.2022	Cu		Cd		Pb		Ni		Cr		Zn		Hg	
	průměr	RSD%	průměr	RSD%	průměr	RSD%	průměr	RSD%	průměr	RSD%	průměr	RSD%	průměr	RSD%
MN1 -1	**56.534**	48.3	**5.625**	13.9	**37.401**	4.6	**14.582**	9.9	**13.043**	10.5	**165.428**	0.2	0.20603	3.5
V1-1	**3.399**	4.6	**1.230**	30.8	**17.325**	32.7	**8.840**	17.0	**6.497**	14.3	**25.887**	18.2	**0.01037**	8.1
V2-1	**17.928**	11.0	**2.580**	8.6	**9.263**	12.4	**16.184**	6.9	**12.128**	10.9	**50.632**	8.3	**0.03716**	1.6
OK1-1	**38.554**	0.4	**8.923**	11.2	**9.751**	12.1	**15.879**	1.0	**14.638**	5.3	**200.308**	4.3	**0.06675**	8.1
OK2/1-1	**4.128**	141.4	**0.680**	141.4	**1.467**	141.4	**2.238**	141.4	**1.743**	141.4	**54.537**	2.3	**0.03590**	24.5
OK2/2-1	**24.312**	27.4	**2.520**	8.2	**10.374**	49.3	**8.075**	0.3	**6.640**	33.6	**86.265**	10.6	**0.04585**	0.5
MN2-1	**35.966**	69.7	**2.887**	7.8	**18.703**	11.1	**10.263**	3.4	**8.380**	3.6	**107.227**	1.8	**0.06639**	21.4
MN3-1	**47.218**	2.9	**44.816**	1.1	**189.463**	0.4	**41.530**	2.3	**41.407**	2.5	**532.121**	4.7	**0.90792**	6.0