

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

**Fakulta stavební**

**Katedra zdravotního a ekologického inženýrství**



**TĚŽKÉ KOVY V BOTIČI:**

**POROVNÁNÍ SOUČASNÉHO STAVU S MINULOSTÍ**

Heavy metals in the Botic creek: Comparison of current situation with past

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

Vypracovala: Lenka Langhammerová

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

Praha, květen 2021

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

### I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: <u>Langhammerová</u>	Jméno: <u>Lenka</u>	Osobní číslo: <u>473768</u>
Zadávací katedra: <u>Katedra zdravotního a ekologického inženýrství</u>		
Studijní program: <u>Stavební inženýrství</u>		
Studijní obor: <u>Vodní hospodářství a vodní stavby</u>		

### II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: <u>Těžké kovy v Botiči: porovnání současného stavu s minulostí</u>	
Název bakalářské práce anglicky: <u>Heavy metals in the Botic creek: comparison of current situation with past</u>	
Pokyny pro vypracování: V rámci bakalářské práce bude proveden odběr vzorků sedimentu ze stanovených lokalit na Botiči, v odebraných vzorcích budou analyzovány kovy Cd, Cu, Cr, Ni, Pb a Zn a zjištěné koncentrace budou porovnány s daty z období 2000 - 2017, které poskytne zadávající katedra. Vývoj stavu bude vyhodnocen s ohledem na změny, které v povodí Botiče nastaly v uvedeném období.	
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 bakalářské práce: <u>doc. Mgr. Jana Nábělková, Ph.D.</u>	
Datum zadání bakalářské práce: <u>15.2.2021</u>	Termín odevzdání bakalářské práce: <u>16.5.2021</u> <i>Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku</i>
..... Podpis vedoucího práce	..... Podpis vedoucího katedry

### III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

<i>Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v bakalářské 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“.</i>	
..... Datum převzetí zadání	..... Podpis studenta(ky)

# ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem předloženou bakalářskou prací s názvem „Těžké kovy v Botiči: porovnání současného stavu s minulostí“ vypracovala samostatně pouze s použitím pramenů, které uvádím v seznamu bibliografických odkazů.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla 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 Plzni dne 16. 5. 2021

.....  
Lenka Langhammerová

## Poděkování

Ráda bych poděkovala své vedoucí bakalářské práce doc. Mgr. Janě Nábělkové, Ph.D. za odborné vedení, cenné rady a pomoc při řešení práce. Děkuji i za čas, který mi byl věnován během odběru vzorků v terénu a během laboratorní činnosti. Za podporu při psaní děkuji své rodině.

## Abstrakt

Práce je zaměřena na popis problematiky výskytu těžkých kovů ve vodním prostředí a konkrétně se zabývá analýzou těch nejproblémovějších z nich, Cd, Cu, Cr, Ni, Pb, Zn a Hg, na pražském potoce Botič. Zájmový tok protéká velice rozmanitým prostředím a během své cesty k ústí do Vltavy je zatěžován znečištěním z mnoha různých zdrojů.

Teoretická část práce popisuje jednotlivé zájmové těžké kovy a jejich zajímavé nestabilní chování ve vodním prostředí v závislosti na podmínkách. Uvádí také možná rizika pro člověka a vodní organismy plynoucí ze zavadnosti vody zatížené danými kovy. Praktická část práce obsahuje podrobný popis zájmového území a diskuzi možných zdrojů těžkých kovů v sedimentu Botiče i s ohledem na různé změny na povodí. V praktické části je také popsán terénní odběr vzorků sedimentu na zájmovém toku a metodika jejich laboratorního zpracování pro zjištění koncentrací těžkých kovů.

Výsledková část práce názorně vyhodnocuje stav zatížení Botiče těžkými kovy za pomoci grafů. Je zde zpracováno a shrnuto porovnání aktuálního stavu koncentrací kovů se stavem z minulých let (2000-2009, 2015-2021).

V závěru práce je konstatováno, že za uplynulých 20 let proběhly v povodí Botiče i na potoce samotném změny, které se odrazily i na koncentracích sledovaných těžkých kovů v sedimentu toku. Z nejvýznamnějších změn na povodí uvádím výstavbu Pražského okruhu, růst obcí spjatý s rozšiřováním zástavby, rekonstrukce odlehčovacích komor či revitalizace na toku. Uvedené změny na povodí ovlivnily koncentrace kovů negativně a jejich vlivy jsou rozpoznatelné na grafech ve výsledkové části.

## Klíčová slova

Těžké kovy, sediment, drobný městský tok, Botič, městské odvodnění

## **Abstract**

The bachelor thesis deals with the topic occurrence of heavy metals in aquatic environment, particularly it is focused on the most problematic metals, Cd, Cu, Cr, Ni, Pb, Zn and Hg in a small Prague stream, the Botic creek. The study stream runs through variable environment and from the spring to the estuary to the Vltava River meets pollution from many different sources.

The theoretical part of the thesis describes particular study heavy metals and their strange unstable behavior in the aquatic environment depending on conditions. Possible risks of water loaded by heavy metals for human as well as for aquatic organisms are presented as well. The practical part of work brings detailed description of the studied catchment and discusses potential sources of heavy metals in the sediment of the Botic creek also with respect to the changes occurred in the catchment. Description of sediment sampling from the studied creek and a methodology of laboratory treatment of samples and analysis of selected heavy metals are presented in the practical part of the thesis as well.

Results are presented in the form of plots which are discussed and loading of the Botic creek by metals is assessed. There is presented the current situation and a comparison with the status from years 2000-2009 and 2015-2021.

Based on presented results it can be concluded, that during last twenty years a lot of changes occurred in the catchment of the Botic creek as well as on the stream itself which were reflected by changes of concentrations of heavy metals in the Botic sediment. Some of the biggest changes in the catchment of the Botic creek are building of the Prague ring road, expansion of the villages, reconstruction and revitalization made on the stream itself. These changes proved their negative impact with the growth of the concentrations of heavy metals.

## **Keywords**

Heavy metals, sediment, small urban stream, Botič, urban drainage

# Obsah

<b>Úvod .....</b>	<b>5</b>
<b>Teoretická část .....</b>	<b>6</b>
<b>Obecná charakteristika těžkých kovů.....</b>	<b>6</b>
<b>Těžké kovy ve vodním prostředí.....</b>	<b>7</b>
<b>Charakteristika jednotlivých analyzovaných těžkých kovů .....</b>	<b>8</b>
<i>Rtuť.....</i>	<i>8</i>
<i>Kadmium .....</i>	<i>9</i>
<i>Měď' .....</i>	<i>10</i>
<i>Chrom.....</i>	<i>11</i>
<i>Nikl.....</i>	<i>11</i>
<i>Olovo.....</i>	<i>11</i>
<i>Zinek.....</i>	<i>12</i>
<b>Limitní hodnoty těžkých kovů .....</b>	<b>13</b>
<i>Limity pro těžké kovy v odpadních a povrchových vodách .....</i>	<i>13</i>
<i>Hygienické požadavky na pitnou vodu v ČR .....</i>	<i>15</i>
<i>Limity obsahu těžkých kovů v sedimentu.....</i>	<i>16</i>
<b>Praktická část.....</b>	<b>18</b>
<b>Obecný popis toku Botič.....</b>	<b>18</b>
<b>Zamyšlení k historii Botiče.....</b>	<b>18</b>
<b>Charakteristika podélného profilu Botiče .....</b>	<b>19</b>
<b>Zásadní vlivy v povodí Botiče .....</b>	<b>20</b>
<b>Monitoring Botiče Katedrou zdravotního a ekologického inženýrství.....</b>	<b>22</b>
<b>Metodika .....</b>	<b>25</b>
<i>Odběr vzorků v terénu .....</i>	<i>25</i>

---

<i>Metodika předúpravy a analýzy vzorků sedimentu.....</i>	<i>25</i>
<i>Zpracování výsledků.....</i>	<i>31</i>
<b>Výsledky a jejich zhodnocení.....</b>	<b>32</b>
<i>Popis odběrových profilů a aktuální situace během odběru .....</i>	<i>32</i>
<i>Organická hmota.....</i>	<i>39</i>
<i>Výsledky analýzy těžkých kovů v sedimentu .....</i>	<i>40</i>
<i>Porovnání koncentrací těžkých kovů pro roky 2020 a 2021 .....</i>	<i>42</i>
<i>Porovnání pražských profilů v letech 2000-2021 .....</i>	<i>48</i>
<i>Porovnání výsledků na vybraných pražských i mimopražských profilech v letech 2015-2021 .....</i>	<i>52</i>
<i>Shrnutí výsledků .....</i>	<i>57</i>
<b>Závěr .....</b>	<b>58</b>
<b>Seznam použité literatury .....</b>	<b>59</b>
<b>Seznam obrázků.....</b>	<b>62</b>
<b>Seznam tabulek .....</b>	<b>64</b>
<b>Seznam příloh .....</b>	<b>65</b>



# Úvod

Těžké kovy představují zátěž jak pro životní prostředí, tak pro živé organismy samotné hlavně z důvodu jejich toxicity a biologické nerozložitelnosti. Těžké kovy, které jsou vyprodukovány do našeho životního prostředí, už se navždy stávají články nekonečného koloběhu na Zemi. Hrozby a rizika plynoucí z neočekávaných či rychlých nárůstů koncentrací těžkých kovů v jakémkoliv prostředí jsou velmi velké a v extrémních případech mají katastrofické dopady. Škodlivost těžkých kovů je také důvodem, proč se stávají předmětem mnoha výzkumů a prací včetně této. Životní prostředí nám totiž není lhostejné.

Práce se zabývá problematikou výskytu a chováním těžkých kovů ve vodním prostředí a konkrétně je zaměřena na povodí malého, převážně městského vodního toku Botiče. Botič je typickým případem toku, jehož osud byl zpečetěn růstem a rozvojem okolní aglomerace. Z ekologického hlediska je maximální vliv na míru koncentrace těžkých kovů ve vodě přiřazen právě růstu zastavěných ploch, silnic, nebo chodu průmyslových podniků v povodí toku. Antropogenní zdroje znečištění přibývají také s růstem počtu obyvatel a jelikož Botič ze své velké části protéká Prahou, je vystaven vysoké zátěži znečištění.

Chování těžkých kovů ve vodním prostředí je velmi složité, jelikož závisí na mnoha faktorech (druh a forma výskytu kovu, podmínky v jeho prostředí a další). Kovy ve vodě mají vysokou schopnost se vázat do pevných matic, a tudíž se snadno usazují v sedimentu. Ten je také předmětem výzkumu této práce.

Jelikož se Katedra zdravotního a ekologického inženýrství ČVUT již řadu let zabývá problematikou těžkých kovů na Botiči, byla mi k lepší interpretaci výsledků poskytnuta data koncentrací zájmových kovů v sedimentu toku z let 2000–2009 a 2015–2017. Cílem práce bylo analyzovat stav koncentrací daných těžkých kovů (Cu, Zn, Pb, Cr, Cd, Ni a Hg) v sedimentu toku Botiče za roky 2020 a 2021, a následně pro lepší názornost vývoje zatížení toku, tyto nové hodnoty porovnat s daty z minulých let. Výsledky analýzy jsou zpracovány graficky a je k nim uvedena diskuze potenciálních zdrojů znečištění.

# Teoretická část

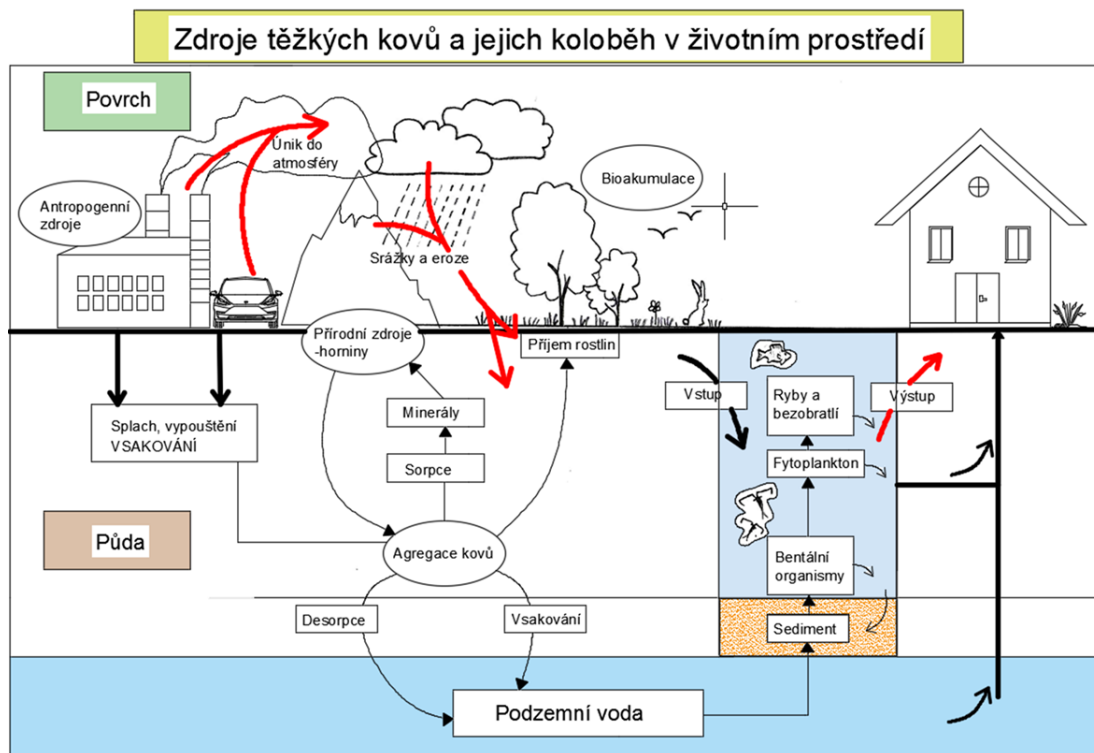
## Obecná charakteristika těžkých kovů

Chemicky jsou těžké kovy popsány jako prvky s minimální hustotou pětikrát větší, než je hustota vody, což znamená  $5000 \text{ kg/m}^3$  (M. Al Osman, 2019). Další definici udává Pitter v publikaci *Hydrochemie, 2009*: „*Jde o prvky jejichž soli se srážejí sulfidem sodným za vzniku málo rozpustných sulfidů.*“ Mezi těžké kovy řadíme například: Fe, Mn, Ni, Cu, Cr, Zn, Hg, Cd, Pb. Většina těžkých kovů je ve vyšších koncentracích toxická a představuje hrozbu pro živé organismy. Kvůli jejich toxicitě se skupina těžkých kovů někdy nepřesně označuje jako kovy toxické. Může pak dojít k menším nesrovnalostem například s prvky Fe, Mn či Be. Železo a mangan jsou totiž těžkými kovy, i přesto, že nejsou toxické. A naopak beryllium je toxický kov, který se neřadí mezi kovy těžké. (Pitter, 2009). Zmiňujeme-li toxicitu těžkých kovů, je na místě uvést i opačný efekt některých z nich, jímž je esencialita. Esenciálními prvky jsou ty, které jsou v určité míře nezbytné pro biologické funkce živých organismů, přitom se však ve vyšších koncentracích nevylučuje jejich toxicita. (Nábělková, 2011).

Těžké kovy jsou prvky s poměrně vysokou relativní atomovou hmotností (M. Al Osman, 2019). V přírodě se vyskytují nejčastěji v různých sloučeninách. Míra toxicity je závislá na formě výskytu těžkého kovu. Při výskytu speciálních kombinací kovů, může dojít k zesílení jejich účinku, tzv. synergismu. K synergismu dochází například při výskytu kadmia se zinkem, rtuť s mědí, či při kombinaci niklu a zinku. Těžké kovy nejsou biologicky rozložitelné a snadno se akumulují do sedimentu, živých organismů, nebo v půdě. Schopnost akumulace těžkých kovů popisuje akumulční (adsorpční koeficient). Vysoké adsorpční koeficienty má kadmium, rtuť a olovo (Nábělková a kol., 2010).

Těžké kovy jsou do našeho prostředí produkovány jak přírodními zdroji, tak i zdroji antropogenními. Z přírodních zdrojů se jedná například o zvětrávání hornin či vulkanickou činnost. Mezi nejčastější antropogenní zdroje patří odpadní průmyslové vody z těžby rud a z povrchové úpravy kovů. Dále také odpadní vody z textilního a kožedělného průmyslu a ze spalování fosilních paliv. Dalším nezanedbatelným zdrojem znečištění, jejímž primárním původcem je člověk, je také splach vody ze zastavěných

ploch, zejména z dopravních komunikací a používání pesticidů či různých hnojiv s obsahem těžkých kovů v zemědělství (Mamta Pujari, 2021) (Pitter, 2009).



Obrázek 1: Koloběh těžkých kovů, autor Lenka Langhammerová, (Kobielska a kol., 2018)

## Těžké kovy ve vodním prostředí

Těžké kovy se do vod dostávají buď přirozeně při styku vody s horninami a půdou, anebo pomocí lidských faktorů. Ve vodě však kovy málo zůstávají v rozpuštěné formě ať už v podobě jednoduchých iontů či komplexních sloučenin. Mají tendenci se vázat do pevné matrice (Nábělková, 2011). Schopnost těžkých kovů adsorpce na nerozpuštěných látkách a v sedimentech, inkorporace do biomasy vodních organismů či srážení při zvýšení pH nebo za oxidačních podmínek obecně nazýváme imobilizační procesy. (Večeřová a kol.) Schopnost kovů ukládat se do pevné matrice lze číselně vyjádřit pomocí akumulárního koeficientu. Akumulační (distribuční) koeficient  $K_d$  je definován jako poměr zastoupení kovu v sedimentu ku koncentraci kovu v kapalně fázi (Pitter, 2009). Opakem imobilizace těžkých kovů jsou procesy remobilizační. Jedná se například o rozpuštění málo rozpustných kovů při snížení hodnoty pH nebo za redukčních podmínek. Remobilizace

zahrnuje také desorpci a uvolňování těžkých kovů z odumřelé biomasy (Nábělková, 2011) (Pitter, 2009). Vliv oxidačně redukčních podmínek a změn pH není při těchto procesech jednoznačný. Záleží samozřejmě na druhu těžkého kovu a na chemické formě jeho výskytu (Večeřová a kol.). Celkově je schopnost kovů setrávat v pevné matici ovlivněna řadou dalších faktorů jako jsou například vlastnosti kapalně a pevně fáze i vlastnosti daného kovu. (Nábělková, 2011)

I přesto, že těžké kovy v sedimentu nepředstavují přímé riziko pro vyšší vodní organismy, jsou i v této formě nebezpečné. Sediment je totiž habitatem i zdrojem potravy bentických bezobratlých, kteří jsou členy potravního řetězce, vlivem jehož fungování může dojít k toxikaci organismů vyšších.

Ze shrnutí chování těžkých kovů ve vodním prostředí vyplývá, že díky adsorpci a remobilizaci v závislosti na podmínkách prostředí není snadné jejich chování předpovídat. Kvalita kapalně fáze je obzvláště v drobných tocích rychle proměnlivá, a proto je pro nás vhodnější analyzovat koncentrace těžkých kovů v sedimentu, které více vypovídají o dlouhodobém stavu prostředí a konstantních vlivech. V kapitole Limitní hodnoty těžkých kovů Limitní hodnoty těžkých kovů se budu zabývat environmentálními standardy a limity jak pro sediment, tak pro vodu, i přesto, že se v mé bakalářské práci analýze těžkých kovů ve vodě právě kvůli rychlé proměnlivosti koncentrací v kapalně fázi nevěnuji. Normy pro vodu udávám i proto, že má v České republice mnohem více propracované limity, zřejmě z důvodu přímého rizika pro člověka a organismy, ale pravděpodobně i z důvodu snadnějšího vyhodnocování závadnosti.

## **Charakteristika jednotlivých analyzovaných těžkých kovů**

### Rtuť

Rtuť je kvůli svým velice závažným akutním i chronickým účinkům nejnebezpečnějším těžkým kovem. Je vysoce toxická pro veškeré živé organismy včetně vodních (Nábělková a kol., 2010). Jejím přírodním zdrojem mohou být naleziště rudy cinabaritu neboli rumělků, ze kterých se pak rtuť snadno dostane do podzemní vody. Stejně tak jako ostatní těžké kovy má rtuť mnohem více zdrojů antropogenních. Patří sem například používání rtuťnatých pesticidů, fungicidů a prostředků k moření osiva. Naštěstí se v dnešní době

některé rtuťnaté preparáty právě z důvodu možnosti kontaminace prostředí zakazují. Významným zdrojem rtuti je spalování fosilních paliv (Pitter, 2009). V České republice konkrétně dochází ke znečištění prostředí rtutí při výrobě energie spalováním hnědého uhlí (enwiweb.cz/112269). Emise se dostávají do atmosféry a rtuť je následně vypláchnuta srážkami, čímž se dostává do povrchových vod (Pitter, 2009). Dalším antropogenním zdrojem rtuti jsou také průmyslové odpadní vody z elektrolýzy NaCl, organických syntéz a rudných úpraven (Nábělková a kol., 2010).

Rtuť má velmi vysoký kumulační koeficient, a proto se ve vodním prostředí snadno ukládá ve dnovém sedimentu a ve vodní biotě. V některých organismech může kumulační koeficient dosáhnout hodnot až  $10^5$ . Hodnota vyjadřuje poměrné zastoupení rtuti v sedimentu ku koncentraci v kapalně fázi. Takto vysoko kumulační koeficient vystoupal například v případě hromadné otravy rtutí v zálivu Minamata v Japonsku, kdy maso z ryb naložených v této lokalitě obsahovalo mnohonásobně více rtuti, než mořská voda v zasažené oblasti (Pitter, 2009). Ke katastrofické události zvané Minamata podle zasažené lokality došlo z důvodu úniku odpadní vody kontaminované rtutí do zálivu. Organokovové sloučeniny, ve kterých byla rtuť vázána, se poté kumulovaly do ryb, které byly loveny a požívány. Otrava methylrtutí vyvolávala neurotoxické účinky, poruchy řeči, smyslových funkcí, nebo polykání. Kvůli teratogennímu účinku rtuti se u dětí matek, které konzumovaly kontaminované maso, objevily mentální poruchy. Tento fakt byl asi nejzávažnějším důsledkem celé události Minamata (Nábělková a kol., 2010).

Mezi další potíže vznikající chronickým působením rtuti patří nervové poruchy, vypadávání zubů, či poruchy ledvin. Akutní účinek rtuti vyvolává také poruchy ledvin a nervového systému, ba i trávicího ústrojí (Nábělková a kol., 2010).

## Kadmium

Kadmium (Cd) je po rtuti druhým nejvíce nebezpečným těžkým kovem. Při výskytu společně se zinkem nebo mědí se chová synergicky (Nábělková, 2011). Tento toxický prvek se snadno akumuluje v biomase, sedimentu, i v půdě ze které pak může přecházet do rostlinných produktů (Pitter, 2009). Má vysoký akumulací koeficient. Během zpracování rud, kde se kadmium nachází společně se zinkem a olovem, dochází ke znečištění odpadních vod a atmosféry. Do odpadních vod se kadmium dostává z půdy

při užívání fosforečnanových hnojiv, či při aplikaci čistírenských kalů v zemědělství. Dalším významným zdrojem kadmia jsou odpadní vody jdoucí z průmyslové výroby. Jedná se zejména o procesy galvanického pokovování, kde se kadmium využívá jako ochrana proti korozi. Ke kontaminaci atmosféry dochází při spalování fosilních paliv, topných olejů, nafty a plastových odpadů do nichž se kadmium přidává jako stabilizátor (Pitter, 2009).

Kadmium není pro organismy esenciálním prvkem. Má negativní vliv na reprodukci savců. Je značně toxické i pro vodní organismy, a to už i při nízkých koncentracích jednotek  $\mu\text{g.l}^{-1}$  (Pitter, 2009). U člověka tento těžký kov může způsobit dekalifikaci kostí, anémii, pigmentaci zubů či poškození ledvin (Nábělková a kol., 2010). V Japonsku v roce 1969 byl popsán případ hromadné otravy kadmiiem v oblasti řeky Jinzu prefektury Toyama posléze vědci nazvaný jako syndrom „itai-itai“. K otravě části populace došlo kvůli úniku odpadních vod z přilehlé důlní oblasti do řeky Jinzu, z níž byla voda používána k zavlažování rýžových polí. Projevem tohoto syndromu je dysfunkce ledvin zapříčiněná ukládáním kadmia v kůře nadledvinek, řídnutí kostí či vysoký krevní tlak (Pitter, 2009)(Nábělková a kol., 2010).

## Měď

Měď je v přírodě zastoupena nejvíce v sulfidických rudách, ze kterých se může rozkládat do podzemních vod. Další formy mědi vyskytující se přirozeně jsou například uhličitan (malachit, azurit) či oxidy (tenorit) (Pitter, 2009). V přírodě se měď může vyskytovat i jako čistý kov, ale její formy ve vodách jsou značně rozmanité díky její vysoké komplexotvorné schopnosti (Nábělková, 2011).

Tento prvek se do prostředí dostává i působením lidských faktorů. Jde hlavně o vypouštění odpadních vod z povrchových úpraven kovů, výrobu či obrus automobilových součástí, splach vody z měděných střech či okapů, nebo užívání algicidních preparátů proti nadměrnému šíření řas a sinic ve vodách. Algicidní preparáty obsahující síran měďnatý jsou účinné, protože je měď pro vodní organismy toxická. Je důležité určit správnou koncentraci preparátu, aby došlo k vyhubení pouze škodlivých organismů a nebyly zasaženy organismy vyšší, například ryby. Zajímavým faktem je, že právě kvůli toxickému působení na vodní organismy je míra mezní koncentrace mědi v povrchových vodách nižší než ve vodě pitné. Pro člověka je tento prvek esenciální a jeho nadměrné

požití nevyvolává u dospělých žádné akutní onemocnění. Už při koncentracích vyšších než 0,1 mg/l může však dojít k ovlivnění organoleptických vlastností vody, což je pak zejména při užití v domácnostech nepříjemné. V pitné vodě je častým zdrojem mědi vodovodní potrubí, které může podléhat agresivitě vody. (Pitter, 2009)

### Chrom

Chrom se ve volné přírodě vyskytuje málo. Je znám ve formě minerálů chromitu a krokoitu, nebo v některých minerálech doprovází hliník. Vysoké koncentrace chromu obsahují odpadní vody z textilního a kožedělného průmyslu a odpadní vody z galvanického pokovování. (Pitter, 2009)

Chrom je esenciálním prvkem. Přispívá k syntéze nukleových kyselin a napomáhá regulovat hladinu glukózy v krvi. Ve vodách se chrom objevuje v oxidačních stupních  $Cr^{III}$  a  $Cr^{VI}$ . Forma  $Cr^{III}$  je velmi stabilní, má vysokou komplexační schopnost a pro ryby je toxická. Forma  $Cr^{VI}$  je více jedovatá pro ostatní živočichy, rostliny a bakterie. Má karcinogenní a genotoxické účinky a ovlivňuje organoleptické vlastnosti vody. (Pitter, 2009)

### Nikl

Tento těžký kov je toxický pro vodní organismy. Pro člověka není tolik toxický, ale je potenciálním karcinogenem. V přírodě je nikl v minerálech často doprovázen sírou, arsenem či antimonem. (Pitter, 2009)

Nikl se používá při výrobě nikl-kadmiových baterií, nachází se v některých elektronických součástkách. Nikl nachází své využití také ve sklářském či keramickém průmyslu. Významným zdrojem tohoto prvku jsou odpadní vody jdoucí z povrchových úpraven kovů. (Nábělková, 2011) (Pitter, 2009)

### Olovo

Výskyt olova ve vodě je závažným problémem, jelikož je toxické jak pro člověka, tak i pro vodní organismy. Přirozeně se tento kov do vod uvolňuje málo, protože jeho nejvíce zastoupená ruda (galenit) nepodléhá chemické nebo biochemické oxidaci. Olovo má velmi vysoký akumulací koeficient, a tudíž se lehce hromadí v sedimentech, kalcích i

v biomase (Pitter, 2009). Tento potenciálně karcinogenní prvek může narušit činnost enzymů a potlačuje tvorbu hemoglobinu. Negativně ovlivněny mohou být funkce červených krvinek a mohou nastat i poruchy nervového systému. U dětí může olovo podmiňovat mentální retardaci, epilepsii, či poruchu očního nervu (Nábělková a kol., 2010).

Jedním z největších antropogenních zdrojů olova byly dříve emise motorových vozidel. Do benzínu byl přidáván tetraethylplumban sloužící jako antidetonační prostředek. Formou emisí se olovo dostávalo do vzduchu a na zemský povrch, kde škodilo vegetaci a bylo splavováno do vod. Dnes jsou zdroji olova v povrchových vodách především odpadní vody ze zpracování rud, z výroby akumulátorů a z barevné metalurgie. V automobilovém průmyslu se mimo výrobu akumulátorů olovo využívá i jako závaží na disky kol. Tento těžký kov je také obsažen v glazurách a smaltovacích barvách pro sklářský či keramický průmysl. (Pitter, 2009)

## Zinek

Jelikož je zinek esenciálním stopovým prvkem s mnoha pozitivními účinky, není jeho nejvyšší mezní hodnota v pitné vodě limitována. Pro člověka by měla být voda s vyšším obsahem zinku nezávadná. Není prokázáno žádné přímé onemocnění plynoucí z nadměrné míry tohoto prvku. Pro ryby či jiné vodní organismy je však zinek toxický. (Pitter, 2009)

Zinek se vyskytuje v přírodě přirozeně jako součást sulfidických rud, jako je sfalerit a smithsonit. Z nich se snadno dostává do podzemních vod. Antropogenní zdroje zinku jsou například odpadní vody z povrchové úpravy kovů. Zinkem pokovované oceli se hojně používají v automobilovém průmyslu, zejména při výrobě karoserií. Dalšími antropogenními zdroji zinku mohou být například srážkové vody smývající pozinkované povrchy (okapy, střechy), čistírenské kaly, či hnojiva. Zinek je produkován i do atmosféry spalováním fosilních paliv (Nábělková a kol., 2010) (Pitter, 2009).



## **Limitní hodnoty těžkých kovů**

V EU se limitní ukazatele hodnot udávající kvalitu prostředí nazývají EQS (Environmental Quality Standards), v ČR je označujeme jako Normy environmentální kvality (NEK). NEK mohou popisovat znečištění vody i obsah nežádoucích látek v sedimentu. Při posuzování kvality vody je velmi důležitá i volba vhodného typu NEK. Tyto limitní hodnoty jsou totiž různé pro hodnocení dlouhodobých statistických řad obsahů daných látek a pro hodnocení znečištění z náhlé a rychlé srážkové události. Dlouhodobé pozorování daných hodnot posuzuje možnost vzniku chronické zátěže, na rozdíl od akutních srážkových událostí, kde při překročení limitních hodnot hrozí akutní toxicita. (Nábělková, 2011)

### Limity pro těžké kovy v odpadních a povrchových vodách

V České republice jsou limity pro obsah těžkých kovů v odpadních i povrchových vodách stanoveny Nařízením vlády č. 401/2015 Sb. Nařízením vlády 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. Nařízení udává emisní standardy pro vypouštění odpadních vod do vod povrchových (pro vody vypouštěné z komunálních čistíren odpadních vod, průmyslové odpadní vody a odpadní vody s obsahem uvedených zvláště nebezpečných látek) a pro kvalitu povrchových vod stanovuje normy environmentální kvality. NEK jsou stanoveny pro koncentrace ve vodě a také pro pevnou matici útvarů v povrchové vodě – biota, nikoliv však pro sediment. (více v kapitole: Limity obsahu těžkých kovů v sedimentu)

Tabulka 1 se věnuje těžkým kovům v povrchových vodách. Jsou zde uvedeny jednotlivé hodnoty NEK a popsána toxicita pro vodní organismy, která hrozí při překročení těchto limitů.

Tabulka 1: 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 <sup>1</sup>	NEK-NPK <sup>2</sup>
<b>Rtuť</b>	velmi vysoká toxicita i schopnost akumulace organických sloučenin rtuti v organismech	µg/l	–	0,07
<b>Kadmium</b> (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)
<b>Měď</b>	značně toxická - algicidní preparáty	µg/l	14	–
<b>Chrom</b>	pro ryby toxický Cr <sup>III</sup> , pro ostatní vodní organismy, bakterie a rostliny především Cr <sup>VI</sup>	µg/l	18	–
<b>Nikl</b>	toxický (pro chov ryb je doporučená koncentrace <0,1 mg/l)	µg/l	4	34
<b>Olovo</b>	toxické	µg/l	1,2	14
<b>Zinek</b>	značně toxický i při nízkých koncentracích (desetiny mg/l), citlivé jsou lososovité ryby	µg/l	92	–

<sup>1</sup> NEK-RP: norma environmentální kvality vyjádřená jako celoroční průměrná hodnota. Není-li uvedeno jinak, použije se na celkovou koncentraci všech izomerů. Pro každý daný útvar povrchových vod se použitím NEK-RP rozumí, že aritmetický průměr koncentrací naměřených v různých časech průběhu roku v žádném reprezentativním monitorovacím místě ve vodním útvaru nepřekračuje dotyčnou normu.

<sup>2</sup> D) NEK-NPK: norma environmentální kvality vyjádřená jako nejvyšší přípustná koncentrace je nepřekročitelná. U každého daného útvaru povrchových vod použití NEK-NPK znamená, že naměřené koncentrace v každém reprezentativním monitorovacím místě ve vodním útvaru nepřekračují dotyčnou normu.

## Hygienické požadavky na pitnou vodu v ČR

Limitní hodnoty pro těžké kovy jsou stanoveny i pro vodu pitnou Vyhláškou č. 252/2004 Sb., Hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody. Úplný rozbor pitné vody stanovuje chemické, fyzikální, mikrobiologické a organoleptické ukazatele jakosti vody. Mezi chemické ukazatele patří i naše zájmové těžké kovy s výjimkou zinku.

V tabulce \* zeleně esenciální TK jsou uvedeny naše zájmové těžké kovy a rizika onemocnění, která mohou u člověka propuknout jejich příčinou. Těžké kovy, které nejsou esenciální, lidskému tělu škodí, zatímco esenciální prvky ve správném množství mohou mít na zdraví člověka pozitivní účinky. Naopak obtíž může být vyvolaná i deficitem esenciální látky. S přehledem rizik jsem uvedla i hygienické požadavky na nejvyšší mezní hodnoty těchto kovů v pitné vodě. Vidíme, že esenciální prvky mají Nejvyšší mezní hodnotu (NMH) buď vyšší, nebo není ani nutno ji určovat.

*Tabulka 2: Zájmové těžké kovy, jejich rizika a limity pro obsah v pitné vodě (Babel, a kol., 2003), (Pitter, 2009, Vyhláška č. 252/2004 Sb.)*

<b>Těžký kov</b>	<b>Rizika</b>	<b>jednotka</b>	<b>limit</b>	<b>typ limitu</b>
<b>Rtuť</b>	poruchy funkce ledvin a nervového systému, vypadávání zubů, akutní účinek se projevuje poruchami trávicího ústrojí	µg/l	1,0	NMH
<b>Kadmium</b>	poruchy funkce ledvin, karcinogenní, dekalifikace kostí	µg/l	5,0	NMH
<b>Měď</b>	poruchy jater, nespavost, Wilsonova choroba	µg/l	1000	NMH
<b>Chrom</b>	bolest hlavy, nevolnost, karcinogenní	µg/l	50	NMH
<b>Nikl</b>	dermatitida, nevolnost, chronické astma, karcinogenní	µg/l	20	NMH
<b>Olovo</b>	poruchy nervového systému, negat. vliv na funkci červených krvinek a vývoj plodu, poruchy ledvin a jater, karcinogenní	µg/l	10	NMH
<b>Zinek</b>	deprese, poruchy imunitního systému, neurologické potíže	–	–	–

\* zeleně esenciální TK

## Limity obsahu těžkých kovů v sedimentu

Těžké kovy se snadno kumulují v sedimentu, ale také se z něj zpětně uvolňují a mohou škodit hlavně vodním organismům. Proto by se koncentrace těžkých kovů i v sedimentech měla limitovat. Bohužel jsou NEK pro sediment v rámci legislativy zavedeny pouze v některých zemích (USA, Austrálie, Nizozemsko ad.). Standardizované hodnoty obsahu těžkých kovů v sedimentu jsou udávány pro každou zemi samostatně, jelikož se zde mohou lišit různé environmentální podmínky.

Česká republika neměla nikdy dokonale vymezené standardy pro obsah škodlivých látek v sedimentu jako takovém. Alespoň částečné NEK pro sediment u nás fungovaly po novelizaci Nařízení vlády 61/2003 Sb.<sup>3</sup>, Nařízením vlády č. 23/2011 Sb.<sup>4</sup> Z těžkých kovů zde byly stanoveny limitní hodnoty pro kadmium, olovo, nikl a rtuť. Limity však byly pro těžké kovy zavedeny pouze ve frakci menší než 20 µm (Nábělková, 2011). Získání dostatečného množství tak jemné frakce pro analýzu je, především pro tekoucí vody, prakticky nemožné. Proto se tento záblesk snahy o kontrolu kvality sedimentu nerozvíjel a poslední novelou nařízení, Nařízením vlády č. 401/2015 Sb. se veškeré limity pro sediment opět zrušily.

V ČR jsou sice vymezeny maximální přípustné hodnoty obsahu rizikových prvků v půdách vyhláškou MŽP č. 153/2016 Sb.<sup>5</sup>, ale ty bohužel nelze používat pro posouzení rizika pro vodní prostředí či organismy ve vodě žijící. Také vyhláška MZem a MŽP č. 257/2009 Sb.<sup>6</sup> se zabývá rizikovými prvky v sedimentu, ale je určena také pro půdní prostředí, nikoliv prostředí vodní.

---

<sup>3</sup> Nařízení vlády 61/2003 Sb., Nařízení vlády 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

<sup>4</sup> 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.

<sup>5</sup> Vyhláška č. 153/2016 Sb., Vyhláška o stanovení podrobností ochrany kvality zemědělské půdy a o změně vyhlášky č. 13/1994 Sb., kterou se upravují některé podrobnosti ochrany zemědělského půdního fondu

<sup>6</sup> Vyhláška č. 257/2009 Sb., Vyhláška o používání sedimentů na zemědělské půdě

*Tabulka 3: Limitní hodnoty analyzovaných těžkých kovů v sedimentu pro zemědělské účely (Vyhláška MZem a MŽP č. 257/2009 Sb.)*

	<b>Cu</b>	<b>Ni</b>	<b>Pb</b>	<b>Zn</b>	<b>Cr</b>	<b>Cd</b>	<b>Hg</b>
limit (mg/kg)	100	80	100	300	200	1	0,8

Pro účely našeho vyhodnocení výsledků si vypůjčíme pro kovy Cd, Cr, Cu, Ni, Pb a Zn kritéria US EPA: PEC (Probable effect concentration) a TEC (Threshold effect concentration) (ES/ER/TM-96/R2, 1996) a pro Hg kanadské limity PEL (Probable effect level) a TEL (threshold effect level) (Canadian Sediment quality guidelines, 2001).

*Tabulka 4: Environmental quality standards - US EPA kritéria PEC a TEC a pro Hg kanadská kritéria PEL a TEL*

	<b>Cu</b>	<b>Ni</b>	<b>Pb</b>	<b>Zn</b>	<b>Cr</b>	<b>Cd</b>	<b>Hg</b>
PEC (mg/kg)	77,7	38,5	396	1532	159	11,7	0,7
TEC (mg/kg)	28	39,6	39,2	159	56	0,592	0,13

# Praktická část

## Obecný popis toku Botič

Botič je potok v povodí Vltavy. Pramení v lese Okrouhlík severně od Křížkového Újezdce ve Středočeském kraji a do Vltavy ústí na Výtoni v Praze pod Vyšehradským železničním mostem. Pramen se nachází v nadmořské výšce 475 m. n. m. (Nábělková, 2011). Koryto potoka je jasně čitelné až po svedení více stružek dohromady u rybníka Ovčáry.

Po své délce 34,5 km je Botič opravdu rozmanitý. Protéká jak zemědělskými oblastmi, přírodními parky, tak i hustě zastavěnými lokalitami. Úsek toku od parku Folimanka k ústí do Vltavy je již veden potrubím pod dopravní komunikací. Potok Botič má 15 menších přítoků (Pokorný a kol., 2018). Celková plocha povodí Botiče činí 134,85 km<sup>2</sup>. Na toku je situováno 12 nádrží či rybníků vybudovaných k různým účelům. Nejvýznamnější z nich je Hostivařská přehrada, která se nachází na kraji Prahy a ovlivňuje městskou část Botiče. Na území Prahy má tok délku téměř 21 km a je ve správě hlavního města Prahy zastoupeného organizací Lesy hl. m. Prahy. Úsek před městem je dlouhý přibližně 13,5 km a je spravován státním podnikem Povodí Vltavy ([www.praha-priroda.cz](http://www.praha-priroda.cz)).

## Zamyšlení k historii Botiče

Již od nepaměti je lidskou tradicí budovat osídlení podél vodních toků. Důkazem již pravěkého osídlení kolem Botiče je kromě různých archeologických nálezů i hradiště Šance (hradiště Hostivař) pocházející ze starší doby železné (Pavlásek, 1981). Po tisíciletí se lidský faktor působící na tento tok prohluboval.

Nejprve na březích Botiče vznikaly mlýny. Jejich počet se mohl pohybovat okolo třiceti ([www.praha-priroda.cz](http://www.praha-priroda.cz)). Dodnes bychom na toku našli pozůstatky některých z nich. Například před Petrovicemi v místě křižovatky starých slovanských obchodních cest zvaném Dobrá voda, jsou patrné rozvaliny Fantova mlýna. V době fungování mlýnů byla voda v Botiči velmi čistá, protože mlynáři o tok v okolí mlýna pečovali. Mlýnská kola

také provzdušňovala vodu, a tak v ní bylo dost kyslíku, potřebného k biologickým procesům samočištění. Postupem času kolem toku rostly vesnice a byl vybudován i ve své době významný Petrovický pivovar. Z vesnic se dále stávaly celé obce. Původně přírodní plochy obklopující potok Botič se měnily v zástavbu, a to s sebou přineslo mnohé problémy s čistotou vody.

## **Charakteristika podélného profilu Botiče**

Během své trasy od pramene až k ústí do Vltavy se Botič setkává s velmi různorodým prostředím. Zprvu je koryto potoka přírodní a okolí toku spíše krajinného rázu. Při průtoku obcemi je koryto v některých úsecích opevněné. Ve vesnicích a obcích Botič čelí znečištění hlavně z vyústění dešťových kanalizací a ze splachu vody ze silnic. Zemědělské plochy, kterých je kolem údolí Botiče opravdu mnoho, mohou zatěžovat tok pesticidy a živinami z hnojiv. V některých přilehlých obcích (např. Čenětice, Dobřejovice, Jesenice) se neustále rozšiřuje zástavba.

V obci Kocanda kříží Botič část Pražského okruhu Jesenice – Vestec. Před Přírodním parkem Botič – Milíčov, na svém 20,7 kilometru, se náš zájmový tok kříží s dálnicí D1 a v Praze za Hamerským rybníkem protéká pod Jižní spojkou Městského okruhu. Dopravní komunikace zatěžují Botič více způsoby. Významným faktorem znečištění je povrchový splach z vozovky. Dále jsou velmi škodlivé emise z provozu motorových vozidel, které se dostanou do atmosféry a následně mohou ve formě srážek spadnout nad zájmovým povodím. Velkému znečištění čelil tok obzvlášť v letech výstavby těchto dopravních tepen.

U vtoku Botiče do Prahy se nachází vodní nádrž Hostivař. Její výstavba v letech 1966–2001 tok velmi zatěžovala a až dodnes má provoz přehrady negativní vliv na kvalitu vody v potoce. Počátkem tohoto roku (březen, 2021) na přehradě Hostivař probíhala výstavba nového bezpečnostního přelivu a v rámci příprav terénu bylo pokáceno asi 30 stromů. Probíhající úpravy mohly mít vliv i na obsah těžkých kovů v nejbližším měrném profilu. V úseku od Hostivaře po ústí je už Botič ryze městským tokem a protéká hustou zástavbou. Tato část povodí je odvodňována převážně jednotnou kanalizací, z které je do Botiče vyvedeno 31 odlehčovacích komor (Pokorný a kol., 2018). Některé z nich v dnešní době již nemusí být funkční nebo jsou rekonstruované. Podle digitální technické mapy

Prahy je však v tomto úseku zaústěno také asi padesát oddílných dešťových kanalizací z oblastí bytové, ale i rodinné zástavby.

## Zásadní vlivy v povodí Botiče

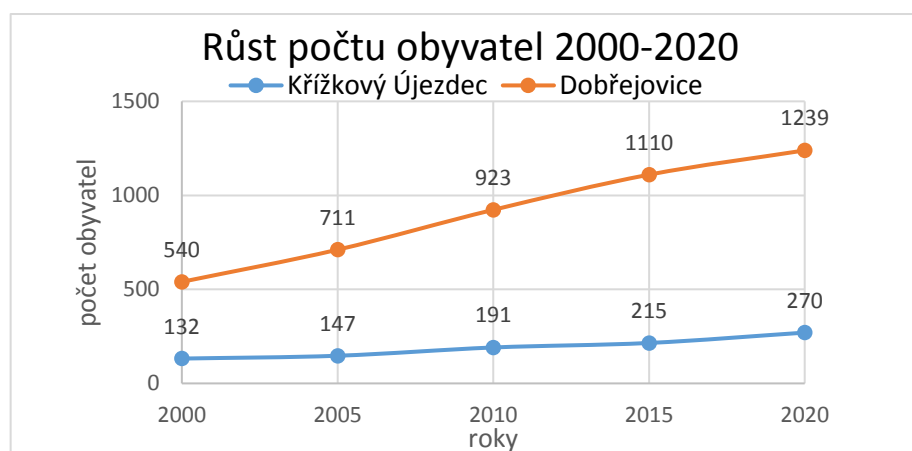
### Pražský okruh a dálnice D1

Trasa silničního okruhu kolem Prahy v úseku Jesenice – Vestec Botič ovlivňuje ve velké míře. Výstavba probíhala od roku 2009 do roku 2012, kdy proběhly poslední úpravy na trase. Vlastní trasa byla uvedena do provozu již 20. 9. 2010. Pražský okruh přemostňuje údolí potoka Botiče v chatové oblasti Kocanda. Výstavba mostního objektu přes Botič vyvolala demolici 3 rekreačních chat nacházejících se přímo pod mostním objektem ([www.okruhprahy.cz](http://www.okruhprahy.cz)).

Provoz dálnice D1 ovlivňuje Botič už řadu let. Dálnice D1 křížuje Botič na svém pátém kilometru přímo u hranice města. Velké dopravní komunikace mají opravdu významnou roli při znečištění prostředí. Do toku se ze silnice dostávají soli, splach z usazených výfukových zplodin, prach i emise.

### Rozšiřování zástavby

Rozsah zastavěného území v povodí toku má podstatný vliv na kvalitu jeho vody. V obci Křížkový Újezdec, konkrétně ve vsi Čenětice na začátku toku Botiče, a také v následující obci Dobřejovice dochází v poslední době k rozšiřování zástavby. Z dat ČSÚ můžeme pozorovat i nárůst počtu obyvatel v zájmových obcích.



Obrázek 2: Graf nárůstu počtu obyvatel v Dobřejovicích a Křížkovém Újezdcu v letech 2000-2020, (Český statistický úřad)



## Výstavby přímo na toku

Od roku 2000 proběhlo na Botiči několik rekonstrukcí, sanací i revitalizací. V roce 2004 byla nutná obnova Záběhlického jezu a v roce 2006 se konala obnova jezu Petrovického formou balvanitého skluzu. V roce 2013 proběhla sanace vývaru pod Hostivařskou přehradou.

Rekonstrukce objektů na toku jsou nutné, jelikož jak samotné objekty, tak i koryto toku a jeho opevnění podléhají síle času a stárnou. Musí být tedy sledováno, aby vše plnilo své účely. Co je ale zajímavé, hlavně z pohledu dnešní doby jsou revitalizace na toku. Současnou ideou vodohospodářství je zdržet vodu co nejdéle v zájmovém povodí a s tím se pojí úprava toků. Botič byl revitalizován v několika úsecích, kde bylo snahou docílit zpřírodnění koryta. Nejnovější revitalizace na Botiči byla dokončena v roce 2017. Jednalo se o protipovodňové opatření u Kozinova náměstí v Praze v místě, kde při povodních v roce 2002 došlo k poškození koryta a narušení břehů. V první etapě revitalizace v roce 2009 byla vytvořena široká berma pro zkapacitnění koryta a namáhané části břehů byly stabilizovány kamennou rovinaninou. Druhá etapa proběhla až o mnoho let později v roce 2017 v rámci výstavby cyklostezky. Byly vybudovány dva ostrůvky v toku a koryto bylo vyčištěno a osázeno vhodnými druhy rostlin ([www.praha-priroda.cz](http://www.praha-priroda.cz)).

## Konkrétní podniky spadající do povodí Botiče

Nemalý vliv na tok mají právě průmyslové, či chemické podniky spadající do zájmového povodí. Dle zdroje PVS,a.s., 2003 Botič potenciálně zatěžují tyto podniky:

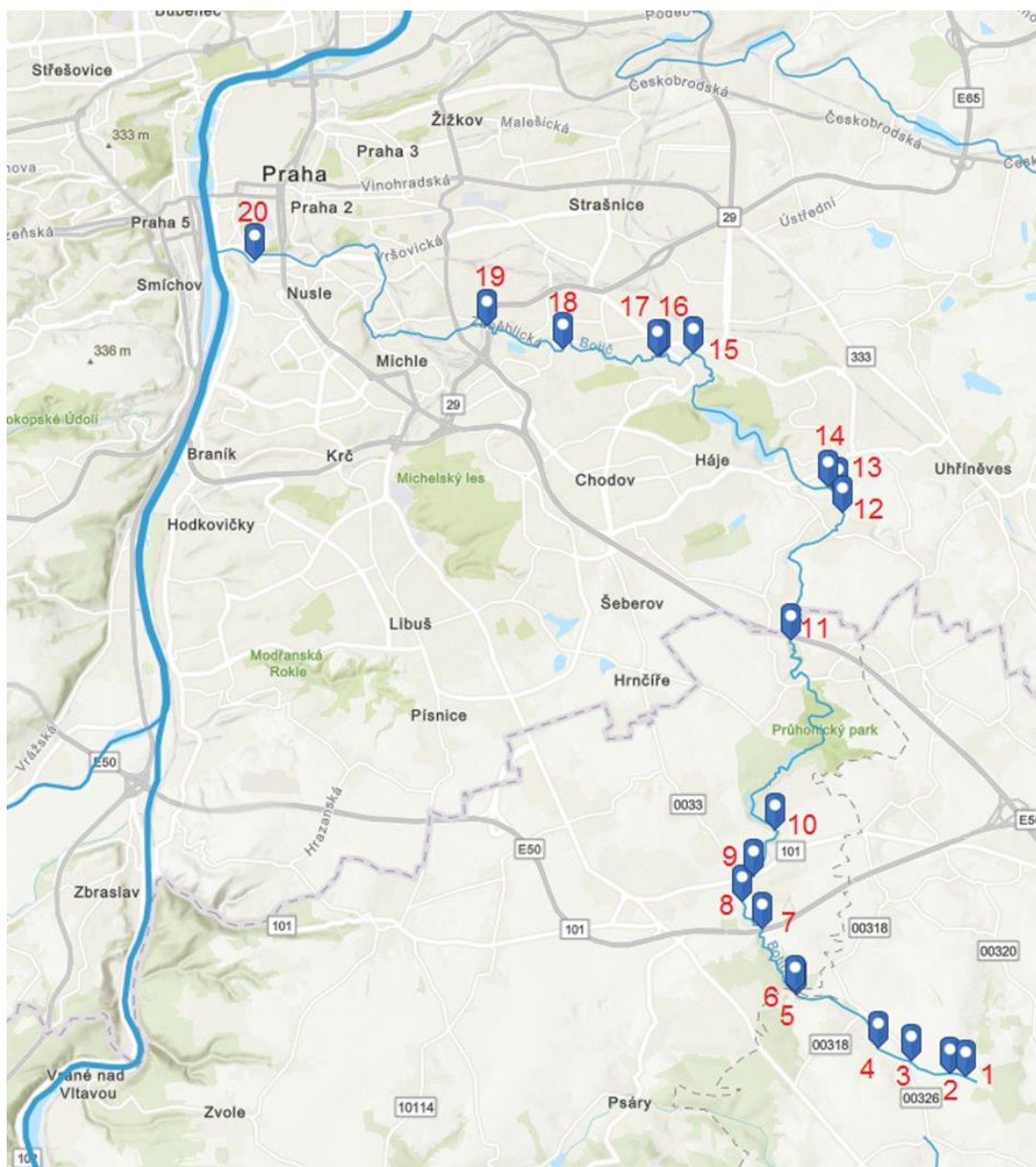
- *Kovošrot Praha a.s. (zpracování odpadu)*
- *Prakab (průmysl elektrotechnický)*
- *Tesla Karlín (průmysl elektrotechnický)*
- *Zentiva a.s. (průmysl farmaceutický)*
- *Barvy a laky s.r.o. (průmysl chemický)*
- *CTY PRŮMYSLOVÁ, s.r.o.*
- *KOH-I-NOR a.s.*

## **Monitoring Botiče Katedrou zdravotního a ekologického inženýrství**

Pracoviště, kde zpracovávám bakalářskou práci, sleduje kvalitu vody v Botiči od roku 2000. Až do roku 2015 se Ktedra zdravotního a ekologického inženýrství zaměřovala pouze na úsek toku v Praze pod Hostivařskou přehradou, který je označován jako „Práčské meandry Botiče“ a je asi 2 km dlouhý. Daný úsek byl vybrán z důvodu pozorování vlivu městského odvodnění na tok (v úseku jsou zaústěny v té době problematické odlehčovací komory OK83 a OK81+82 a byl patrný i vliv zaústění kanalizací dešťových). Od roku 2015 byl monitoring rozšířen na celý tok v rámci řešení projektu TAČR (Smart Regions – Buildings and Settlements Information Modelling, Technology and Infrastructure for Sustainable Development), kdy byla vyvíjena Metodika identifikace vlivu bodových a nebodových zdrojů znečištění na drobné vodní toky (Pokorný a kol., 2018). Sledované profily včetně základní identifikace viz následující tabulka (Tabulka 5) a mapka (Obrázek 3).

Tabulka 5: Popis odběrových profilů (Pokorný a kol., 2018):

označení	umístění profilů	říční km	vliv
BP1	prameniště	0	rybník na prameni, les
BP2	pod rybníkem Oleška	0,5	rybník
BP3	před obcí Čenětice	1,3	zemědělství
BP4	pod obcí Čenětice a bezejmenným levostranným přítokem	2	obec, zemědělství
BP5	pod obcí Olešky a chatovou osadou	3,7	chatová osada
BP6	pod bezejmenným levostranným přítokem	3,75	přítok
BP7	pod chatovou osadou, v blízkosti Pražského okruhu	5,15	chatová osada
BP8	pod levostranným bezejmenným přítokem v obci Kocanda	5,95	obec, doprava
BP9	pod Osnickým potokem v obci Osnice	6,4	přítok
BP10	pod nádrží Osnice, před Průhonickým parkem	7,4	rybník, zemědělství
BP11	za Průhonicemi, pod zaústěním dešťové nádrže z dálnice D1	13,8	rybníky, ČOV, doprava
BP12	za obcemi Újezd a Křelice, nad Pitkovickým potokem	17,2	les
BP13	pod Pitkovickým potokem	17,5	přítok
BP14	pod dešťovými nádržemi v Petrovicích	17,7	dešťová nádrž
BP15	pod Hostivařskou nádrží, pod odlehčovací komorou	23,2	nádrž, odlehčovací komora
BP16	nad odlehčovací komorou, v blízkosti Kozinova náměstí	23,9	urbanizace
BP17	pod odlehčovací komorou, v blízkosti Kozinova náměstí	24	odlehčovací komora
BP18	před Záběhlickým jezerem, v blízkosti opravny aut	26,3	doprava
BP19	pod Hamerským rybníkem a Jižní spojkou, průmyslová oblast	28	rybník, doprava, průmysl
BP20	nad zatrubněním, před ústím do Vltavy	34,2	odlehčovací komora



Obrázek 3: Mapa umístění odběrových profilů, autor Lenka Langhammerová

## Metodika

### Odběr vzorků v terénu

Terénní odběr vzorků na Botiči proběhl dne 20. 4. 2021. Počasí v den odběru bylo slunečné bez výskytu srážek. V několika předchozích dnech se vyskytly slabší, poměrně vytrvalé dešťové přeháňky. Teplota vzduchu: 17°C. Normální stav vody.

Vzorky sedimentu byly ze dna zájmového toku odebírány plastovou naběračkou do plastových vzorkovnic. Proto aby mohl být vzorek správně zpracován, se muselo dbát na to, aby nebyly nabrány větší částice anorganických či organických splavenin nereprezentující složení sedimentu v daném profilu. Na každém profilu bylo provedeno i měření teploty, pH, konduktivity a rozpuštěného kyslíku jako pomocných ukazatelů pro případné odhalení zdroje znečištění. Měření ukazatelů probíhalo pomocí multimetru Hach HQ, jehož elektrody byly položeny přímo do vody v zájmovém místě.

### Metodika předúpravy a analýzy vzorků sedimentu

Kromě vzorků sedimentu z letošního roku 2021, které byly osobně odebrány na zájmovém toku, jsem se věnovala analýze i vzorků loňských (2020), které mi byly Katedrou poskytnuty již předsušené.

Odebrané vzorky sedimentu byly mrazeny na teplotu -20°C a sušeny vakuovým vymrazováním (lyofilizací) v lyofilizátoru Christ Alpha 1-4. Vysušené vzorky byly přesítovány pro získání vhodné frakce. Frakce byla vytríděna pomocí nekovového síta o průměru ok 0,6 mm a nežádoucí větší částice byly odstraněny.

### ***Analýza obsahu organických látek***

Obsah organické hmoty byl stanovován jako doprovodný ukazatel kvality sedimentu pro možnost lepší interpretace výsledků těžkých kovů. Byla použita metoda stanovení ztráty žiháním podle ČSN EN 15169 (83 8026).

Z každého vzorku sedimentu byly naváženy dva vzorky do keramických kelímků. Hmotnosti kelímků i vzorků byly zaznamenány do tabulky. Kelímky se vzorky byly vloženy na 5 hodin do muflové pece, kde byly žihány při teplotě 550°C. Během tohoto

procesu se ze vzorků vypálila organická hmota. Po vytemperování na pokojovou teplotu v exikátoru byly vzorky váženy a vypočítán hmotnostní úbytek vyjádřený jako ztráta žiháním v %.

Stanovení ztráty žiháním:

$$LI = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \cdot 100 (\%)$$

$m_1$  ..... hmotnost vzorku vysušeného do konstantní hmotnosti

$m_2$  ..... hmotnost vzorku po vyžihání

### ***Extrakce kovů pro analýzu atomovou absorpční spektrometrií***

Před vlastní analýzou kovů Cd, Cr, Cu, Ni, Pb a Zn metodou atomové absorpční spektrometrie je nutné kovy z pevné matrice extrahovat. Pro extrakci je zvolena metoda mikrovlnného tlakového rozkladu kyselinou dusičnou s přidavkem peroxidu vodíku. Do speciálních teflonových nádobek bylo naváženo malé množství vzorku (cca 3 g). Pro každý odběrový profil byly z důvodu snahy o redukci chyb vytvořeny vzorky dva. K naváženému sedimentu se do nádobek přidalo 10 ml 67% HNO<sub>3</sub> a 1 ml 30% H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. Nádobky byly pečlivě uzavřeny a pomocí momentového klíče utaženy do krycích bloků. Následně byly v tomto stavu vzorky vloženy do mikrovlnné trouby Milestone One Touch, kde byl spuštěn rozklad dle metody EPA 3052 (1993). Po vychlazení byly vzorky přefiltrovány do padesátimililitrových odměrných baněk a doplněny na příslušný objem (50 ml). Takto k analýze připravené vzorky byly přelity do označených PE lahvíček pro možnost případného dlouhodobějšího uchování.



*Obrázek 4: Filtrace vzorků po dokončení rozkladu dle EPA 3052, autor Lenka Langhammerová, 13. 4. 2021*

### ***Analýza atomovou absorpční spektrometrií***

V připravených extraktech byly analyzovány koncentrace Cu, Zn, Ni, Pb a Cr pomocí atomového absorpčního spektrometru Solar s plamennou atomizací (FAAS) a koncentrace Cd stejným zařízením, jen s atomizací elektrotermickou (ET AAS).

### ***Metodika měření na AAS s plamennou atomizací***

Plamenná atomová absorpční spektrometrie (FAAS) je časově poměrně nenáročná a snadná technika analýzy prvků v rozpuštěné fázi. Vzorek je atomizován v plamenu, skrz který prochází světelný paprsek určité vlnové délky. Množství absorbovaného záření udává kvantitativní míru koncentrace analyzovaného prvku. Jako zdroj plamene (palivo) se používá směs plynů buď vzduch a acetylen, nebo oxid dusný a acetylen. Vzduch a acetylen se používá pro prvky, které se snadno atomizují, z našich prvků jsou to Cu, Ni, Pb a Zn. Oxid dusný s acetylenem má vyšší účinnost atomizace a je mimo jiné vhodný pro analýzu Cr.

Roztok vzorku je nasán kapilárou a v rozstříkovači se vzduchem nebo oxidem dusným převede na aerosol. Aerosol je mísen s plynným palivem (acetylen) a štěrbinovým ústím

proudí do hořáku. V plamenu, kde teplota dosahuje 2100–2800 °C (podle typu použitého plynu) dochází k žíhání vzorku. Lampa, jejíž katoda je vyrobena ze sledovaného prvku, poskytuje světelný paprsek, který prochází skrze plamen do monochromátoru a k detektoru. Volné atomy prvku absorbují charakteristické vlnové délky dopadajícího záření. Snížení energie na analytické vlnové délce odpovídá množství prvku ve zkoumaném vzorku ([https://fch.upol.cz/skripta/zfcm\\_pred/9\\_AAS.pdf](https://fch.upol.cz/skripta/zfcm_pred/9_AAS.pdf)), (Doležalová, 2010)



*Obrázek 5.I a 5.II: FAAS analýza vzorku, vlevo palivo vzduch a acetylen vpravo oxid dusný a acetylen, autor Lenka Langhammerová, 4. 5. 2021*



### *Metodika měření na AAS s elektrotermickou atomizací*

Elektrotermická atomizace (ET AAS) umožňuje analyzovat o tři řády nižší koncentrace než FAAS (analyzujeme koncentrace v řádu  $\mu\text{g/l}$ ). Pomocí autosampleru se do miniaturní grafitové odporově vyhřívané kyvety elektrotermického rozprašovače dávkuje velmi malé množství vzorku (10-40  $\mu\text{l}$ ). Postupným ohřevem kyvety probíhajícím v několika krocích dochází k atomizaci vzorku.

#### **Průběh teploty při analýze:**

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

Pro různé analyzované prvky jsou různé teplotní programy, které musí být předem optimalizovány. Výhodou je, že k analýze na ET AAS jsou dostačující malé objemy vzorků a vysoká citlivost měření. ([https://fch.upol.cz/skripta/zfcm\\_pred/9\\_AAS.pdf](https://fch.upol.cz/skripta/zfcm_pred/9_AAS.pdf))



*Obrázek 6: Spektrometr s elektrotermickou atomizací, autor Lenka Langhammerová, 4.5. 2021*

## ***Analýza rtuti***

Rtuť byla analyzována na přístroji AMA 254 bez nutnosti její extrakce ze sedimentu. Vzorky jsou detekovány v niklových spalovacích lodičkách. Dávkovaný objem je cca 500 µl kapalného vzorku nebo hmotnost cca 300 mg pevného vzorku, v našem případě sedimentu.

Zdroj Altec s.r.o., Praha 9, 2010: Návod 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 nabožením na zlatém amalgamátoru se dosahuje mimořádně vysoké citlivosti stanovení a nezávislosti výsledku stanovení na matici vzorku. Automatické dávkovače ALS 254 a ASS 254 slouží k automatizaci provozu analyzátoru.“*



*Obrázek 7: Advanced Mercury Analyser AMA 254, autor Lenka Langhammerová, 4. 5. 2021*

## Zpracování výsledků

Výsledky koncentrací těžkých kovů v sedimentu jednotlivých profilů jsou zpracovány do grafů s vyznačením potenciálních zdrojů znečištění a hodnoty zvoleného ekotoxikologického kritéria (TEC a PEC). Mé kompletní výsledky jsou uvedeny v tabulkách v příloze.

V části 1. jsou uvedeny grafy porovnávající stav koncentrací jednotlivých těžkých kovů Cu, Cd, Ni, Zn, Pb a Hg v průběhu celého toku z let 2020 a 2021, což jsou mnou analyzovaná data. V části 2. jsou zpracovány grafy porovnávající vybrané problematické kovy s jejich koncentrací z minulých let. Jelikož v letech 2000-2009 byly monitorovány pouze 3 pražské profily shodující se s aktuálně sledovanými, porovnání se týká pouze těchto tří profilů: B15 (dříve značený jako BP2), B16 (dříve BP3) a B17 (dříve BP4). V části 3. následují grafy zahrnující stav koncentrací v letech 2015-2021 pro šest zájmových profilů B3, B6, B11, B15, B16, B17, které se v posledních letech monitoringu jevily jako nejvíce zatížené.

## Výsledky a jejich zhodnocení

### Popis odběrových profilů a aktuální situace během odběru

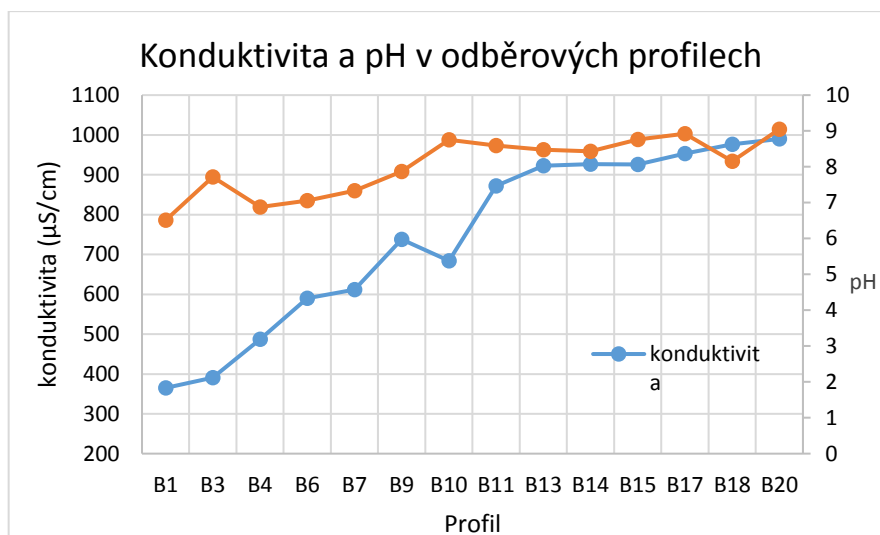
Letošní vzorky sedimentu byly odebrány na patnácti profilech Botiče. Jednalo se o profily: B1, B3, B4, B6, B7, B9, B10, B11, B13, B14, B15, B17, B18 a B20. Na každém z těchto stanovišť bylo provedeno jak odebrání sedimentu, tak doplňkové měření vlastností vody, jako je konduktivita, koncentrace rozpuštěného kyslíku, teplota vody a pH.

Než budu popisovat jednotlivé profily, na kterých jsme v rámci mé bakalářské práce vzorkovali, dovoluji si nejdříve souhrnně predikovat vývoje koncentrací těžkých kovů v průběhu toku, a poté při popisu jednotlivých profilů připojuji své domněnky, co by mohlo ovlivnit chování těžkých kovů v dané odběrové lokalitě.

#### *Obecná predikce:*

Na Botiči postupně od pramene k ústí působí čím dál více antropogenních zdrojů znečištění. Zprvu, v prostředí přírodního rázu, bych odhadovala, že je Botič zatěžován pesticidy a hnojivy aplikovanými v zemědělství. Poté se přidá splach vody ze silnic a zastavěných ploch, ústí dešťových kanalizací a odlehčovacích komor jednotných kanalizací i černých zaústění splaškových vod z chatových oblastí. Na toku je několik rybníků a nádrží, které se mohou na kvalitě vody v Botiči negativně projevovat především ve vegetačním období a krátce po jeho skončení. V neposlední řadě jsou zde podniky, které ve městě či na jeho okraji Botič znečišťují. Jelikož se koncentrace antropogenních zdrojů s postupem toku zvyšuje – přibývá zastavěných ploch a dopravních komunikací, roste počet podniků tok zatěžujících, pak bychom mohli očekávat i postupné zvyšování koncentrací těžkých kovů v sedimentu Botiče směrem k jeho ústí do Vltavy. Moje predikce vznikla i na základě naměřených hodnot pH a konduktivity ve vodě. Obě tyto veličiny v průběhu toku rostou, což je ukázáno na grafu: Obrázek 8: Graf vývoje konduktivity a pH v průběhu toku. Vysoké pH může přispět k imobilizaci těžkých kovů do sedimentu a konduktivita jen potvrzuje rostoucí míru obsahu solí z rozšiřování zastavěných ploch.

Mimo předešlé predikce očekávám i zvýšené koncentrace zájmových kovů na místech, kde jsou odběrové profily situovány v bezprostřední blízkosti zdroje znečištění.



Obrázek 8: Graf vývoje konduktivity a pH v průběhu toku

### Popis profilů:

**B1**  $t = 7,5^{\circ}\text{C}$   $\text{O}_2 = 10,39 \text{ mg/l}$   $\text{pH} = 6,51$   $\text{konduktivita } 356 \mu\text{S/cm}$

Popis: Naše první odběrová lokalita se nachází u Křížkového Újezdu blízko za prameništěm Botiče v malém rybníčku Ovčáry. I přesto, že jde o stojatou vodu v podmínkách relativně nízké teploty, je koncentrace rozpuštěného kyslíku poměrně vysoká. Nižší pH by mohlo poukazovat na vysoký obsah huminových látek ve vodě. Vzhledem k lokalizaci rybníčku v zemědělsky využívaném území bych predikovala zvýšené množství těžkých kovů.



Obrázek 9I a 9II: Rybník Ovčáry, autor Lenka Langhammerová, obě fotografie ze dne 20. 4. 2021



**B2**

Na profilu B2, nacházejícím se hned za rybníkem Ovčáry, nebylo možné odebrat vzorky, protože zde koryto Botiče bylo vyschlé a zarostlé travinami. Pro zajímavost do příloh přikládám fotografie profilů z letošního měření a z odběru vzorků v roce 2018.



Obrázek 10.I a 10.II.: Vlevo stav k 20. 4. 2021- koryto bez vody a zarostlé, autor Lenka Langhammerová, vpravo stav vodný z roku 2018, autor doc. Mgr. Jana Nábělková, Ph.D.

**B3**     $t= 7,3^{\circ}\text{C}$      $\text{O}_2= 9,75 \text{ mg/l}$      $\text{pH}= 7,72$     konduktivita 391  $\mu\text{S/cm}$

Popis: Třetí odběrný profil se nachází před obcí Čenětice. Koryto Botiče je zatím velmi malé a jeho břehy jsou opevněny výsadbou vrbiček. Oproti profilu B1 se zde zvýšilo pH, což by mohlo nahrát vazbě těžkých kovů do sedimentu.

**B4**     $t= 7,1^{\circ}\text{C}$      $\text{O}_2= 10,01 \text{ mg/l}$      $\text{pH}= 6,88$     konduktivita 487  $\mu\text{S/cm}$

Popis: Odběrový profil B4 je situován za Čeněticemi za malým přítokem z nádrže. Případné zvýšení koncentrací těžkých kovů by zde mohlo souviset s rozšiřující se zástavbou v obci. Poměrně nízké pH by mohlo poukazovat na zvýšený obsah huminových látek stejně, jako v profilu B1.

**B5**

Profil vynecháváme z důvodu předpokladu stejných hodnot koncentrací těžkých kovů jako v profilu B6 po zkušenostech z předchozích let.

**B6** t= 7,2°C      O<sub>2</sub>= 10,11 mg/l      pH= 7,06      konduktivita 590 μS/cm

Popis: Profil B6 je od pramene vzdálen 3,75 km a nachází se za chatovou osadou Kršovice. Oproti předchozí lokalitě (B4) je zde pozorován náhlý vzrůst konduktivity zapříčiněn pravděpodobně solením dopravních komunikací a následným splachem do vody.

**B7** t= 8,1°C      O<sub>2</sub>= 10,36 mg/l      pH= 7,33      konduktivita 612 μS/cm

Popis: Měrný profil se nachází za chatovou oblastí u Jesenice. Je situován přímo pod Pražským okruhem. V těchto místech do Botiče velmi pravděpodobně ústí i odvodnění z dopravní komunikace. V Botiči byl pozorován i odpad. Předpokládám, že kvůli všem popsaným faktům bude koncentrace těžkých kovů v tomto profilu vyšší.

### **B8**

Profil vynecháváme z důvodu předpokladu obdobných hodnot koncentrací těžkých kovů jako v blízkém profilu B7. Předpokládám tak, dle výsledků měření z minulých let, kdy profily B7 a B8 vycházely velmi podobně.

**B9** t= 9,4 °C      O<sub>2</sub>= 11,48 mg/l      pH= 7,87      konduktivita 738 μS/cm

Popis: Profil se nachází za přítokem Osnického potoka. Zvýšená konduktivita by mohla být způsobena vlivem zaústění povrchového odtoku ze silnic, s čímž by mohlo souviset i případné zvýšení koncentrace těžkých kovů.

**B10** t= 9,5 °C      O<sub>2</sub>= 10,84 mg/l      pH= 8,75      konduktivita 684 μS/cm

Popis: Profil B10 je situován těsně před vtokem Botiče do Průhonického parku. Nachází se za menším rybníkem, kde může docházet k výrazné změně kvality k horšímu (očekáváno spíše v létě) nebo i lepšímu, jako v den našeho odběru. Pozorujeme pokles konduktivity oproti předchozímu profilu.

**B11**  $t= 9,5\text{ °C}$   $O_2= 11,26\text{ mg/l}$   $pH= 8,59$  konduktivita 872  $\mu\text{S/cm}$

Popis: Měrný profil se nachází přímo pod dálnicí D1 za retenční nádrží. Prudký nárůst konduktivity značí vysoký obsah solí, které se do vody dostaly ze silnice a zastavěných ploch. V přilehlých Dobřejovicích dochází k rozšiřování zástavby. U tohoto profilu očekávám zvýšené koncentrace těžkých kovů v sedimentu.

### **B12**

Profil vynecháváme z důvodu předpokladu stejných hodnot koncentrací těžkých kovů jako v profilu 13, což se ukazovalo v předchozích letech.

**B13**  $t= 9,9\text{ °C}$   $O_2= 12,16\text{ mg/l}$   $pH= 8,48$  konduktivita 923  $\mu\text{S/cm}$

Popis: Profil B13 se nachází u brodu před Petrovicemi na místě zvaném Dobrá voda. Jsou zde také vidět pozůstatky bývalého Fantova mlýna. Profil je situován za přítokem Pitkovického potoka. Tato oblast je sice přírodního rázu (park), ale i přesto je součástí urbanizovaného prostředí. Případné významnější koncentrace kovů by mohly souviset s okolní zástavbou.

**B14**  $t= 9,4\text{ °C}$   $O_2= 11,92\text{ mg/l}$   $pH= 8,43$  konduktivita 927  $\mu\text{S/cm}$

Popis: Profil se nachází u Petrovic blízko profilu B13, jen je situován pod vyústěním odtoku z dešťové usazovací nádrže. Očekávala bych zde vyšší hodnoty koncentrací TK než v předcházejícím profilu.



**B15**  $t = 11,7\text{ }^{\circ}\text{C}$   $\text{O}_2 = 11,63\text{ mg/l}$   $\text{pH} = 8,76$   $\text{konduktivita } 926\text{ }\mu\text{S/cm}$

Popis: Měrný profil je situován asi 1 km pod Hostivařskou přehradou těsně za vyústěním odlehčovací komory – OK83 Průmyslová. V minulosti byla odlehčovací komora zdrojem významného znečištění pro Botič (včetně těžkých kovů), po rekonstrukci v roce 2004 se ale situace zlepšila. Jelikož ale na Hostivařské přehradě docházelo v době odběru k výstavbě bezpečnostního přelivu, mohly by být koncentrace TK ovlivněny těmito aktivitami.

### **B16**

Profil byl původně brán jako srovnávací pro hodnocení vlivu OK81+82 – Švehlova a Hostivařská. Odlehčovací komory prošly i zde rekonstrukcí a výsledky z předchozích let zde ukazovaly podobnou kvalitu vody i sedimentu, jako v následujícím profilu, proto B16 vynecháváme.

**B17**  $t = 11,2\text{ }^{\circ}\text{C}$   $\text{O}_2 = 13,45\text{ mg/l}$   $\text{pH} = 8,92$   $\text{konduktivita } 953\text{ }\mu\text{S/cm}$

Popis: Profil B17 se nachází u Kozinova náměstí pod ústím OK 81+82. Koryto potoka je zde poměrně nově revitalizováno (2017). Okolo profilu B17 se rozléhá zástavba s měděnými okapy a střechami. Kvůli tomu se zde opakovaně objevovaly zvýšené koncentrace mědi v sedimentu i vodě.



*Obrázek 11.I Revitalizace stěn koryta a 11.II Ostrůvek v toku, autor Lenka Langhammerová, 20. 4. 2021*

**B18**  $t= 12,1\text{ }^{\circ}\text{C}$   $\text{O}_2= 12,82\text{ mg/l}$   $\text{pH}= 8,16$   $\text{konduktivita } 977\text{ }\mu\text{S/cm}$

Popis: Profil B18 je situován před rybníkem u Záběhlického zámku. V blízkosti se nachází autoservis, který bych odhadovala jako potenciální zdroj těžkých kovů v našem odběrovém místě. Zaznamenáváme také malou výpusť ústící do Botiče z přilehlé zástavby.

### B19

Profil vynecháváme, jelikož je zde obvykle problematické odebrat sediment. Koryto je vydlážděno kameny a vyšší průtok neumožňuje sedimentaci materiálu.

**B20**  $t= 14,4\text{ }^{\circ}\text{C}$   $\text{O}_2= 13,57\text{ mg/l}$   $\text{pH}= 9,05$   $\text{konduktivita } 990\text{ }\mu\text{S/cm}$

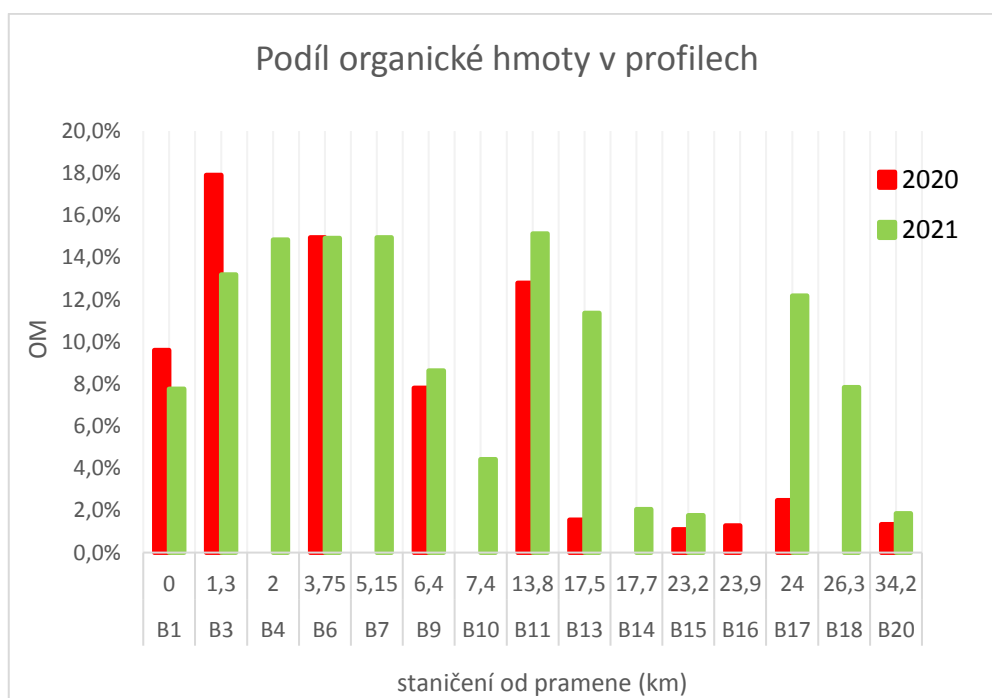
Popis: Profil B20 je posledním odběrovým profilem před zatrubněním Botiče. Z podmínek ve vodě je pH a konduktivita nejvyšší za celý průběh toku. Jsou zde pozorovány i odpadky ve vodě. Očekávám zde vysoké koncentrace TK z důvodu zatížení Botiče mnoha antropogenními faktory ve městě se vyskytujícími.



*Obrázek 12.I: Narovnané koryto Botiče před zatrubněním a 12.II: Vtok do potrubí, autor Lenka Langhammerová, 20. 4. 2021*

## Organická hmota

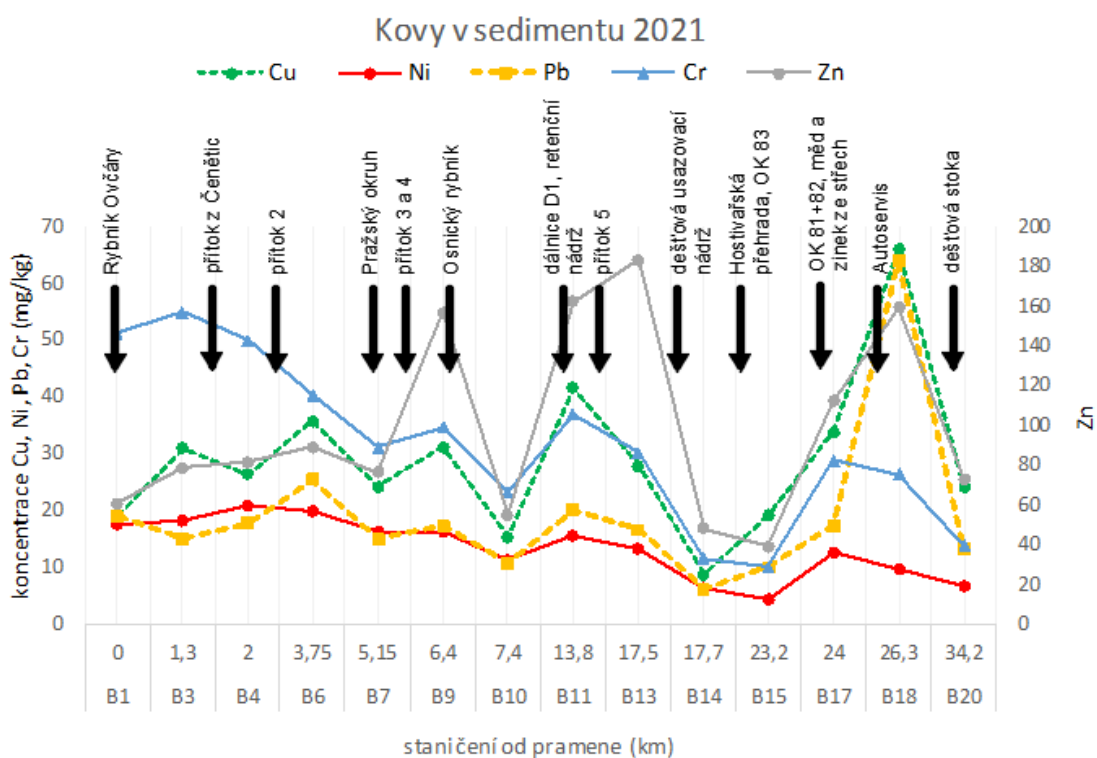
Vysoký podíl organické hmoty nahrává vyššímu podílu těžkých kovů v sedimentu (Pitter, 2009, Nábělková, 2011). Graf (Obrázek 13) znázorňuje množství organické hmoty v sedimentu na jednotlivých profilech. Organická hmota se ve vyšším množství objevovala převážně na profilech v první polovině toku. Její hodnoty v roce 2020 se pohybovaly od 1,34 % (B15) do 17,22 % (B3) a v roce 2021 kolísaly v rozmezí hodnot 1,77 % (B15) a 14,96 % (B11). Nejméně organické hmoty se oba roky nacházelo v profilu B15 pod Hostivařskou přehradou. Na některých profilech byly výrazné rozdíly mezi lety 2020 a 2021. Zejména na profilu B17. To může být dáno i podmínkami během odběru, ne vždy vodní stav umožňuje odebrat z identického místa. Navíc, v drobném vodním toku může snadno docházet k odnosu a znovusazování sedimentu v závislosti na průtoku, který se v čase mění.



Obrázek 13: Podíl organické hmoty v jednotlivých profilech

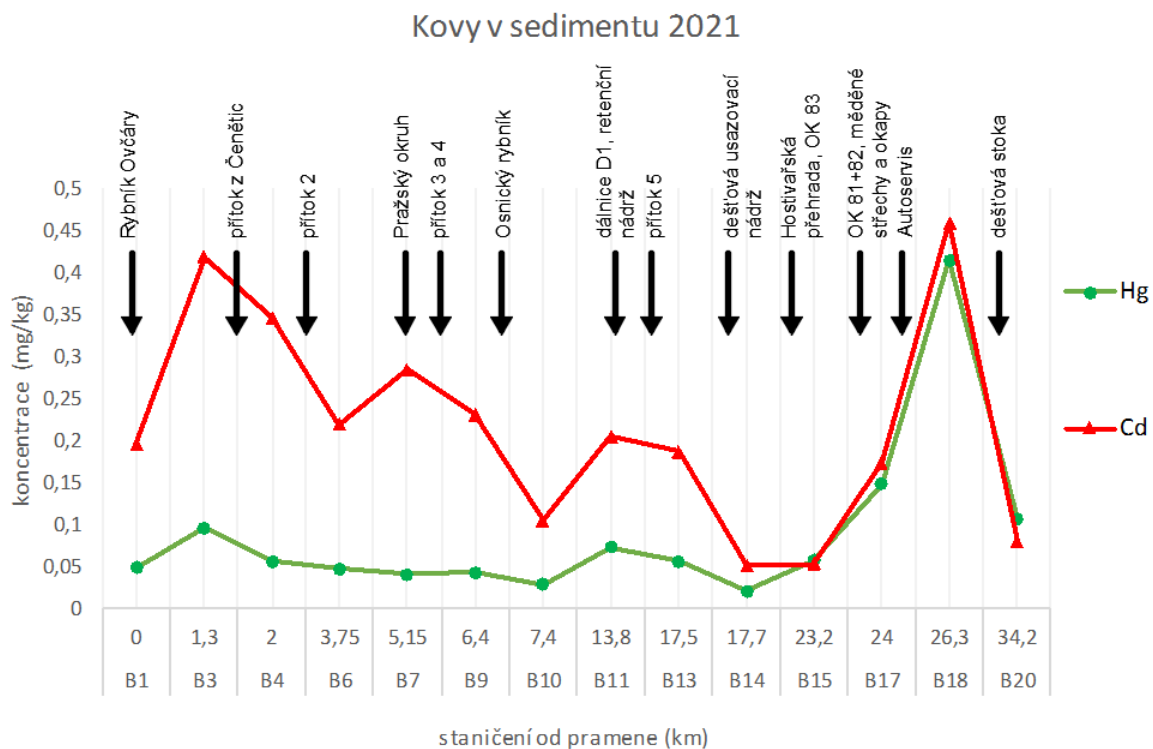
## Výsledky analýzy těžkých kovů v sedimentu

Obrázek 14 dokumentuje stavy koncentrací těžkých kovů v sedimentu v celém podélném profilu Botiče v roce 2021. Z grafu zjišťujeme, že nikl se v trendu odlišuje od ostatních hodnocených kovů, je na toku v poměrně stálých koncentracích a má spíše klesající trend. Kolísavý trend u ostatních kovů (Cu, Pb, Cr, Zn) je patrný z gravu, jsou vidět dva prudké vzestupy, k nimž dochází v profilu B11 a B18. Podíváme-li se na Obrázek 13 shrnující podíl organické hmoty v sedimentu, vidíme v těchto profilech v roce 2021 vysoké hodnoty. B11 je profil pod dálnicí D1 a B18 se nachází v blízkosti autoservisu a malé výpusti ústící z přilehlé zástavby. V obou těchto profilech byla zvýšená koncentrace těžkých kovů predikována. Zajímavý je i nárůst hodnot v profilu B9, který se nachází za přítokem Osnického potoka. Nejvyšší vliv přítoku se projevil na zinku. Chrom zmíněným vlivům také podléhá, ale jeho hodnoty byly vysoké i na začátku toku v zemědělských oblastech. Nejnížší hodnoty koncentrací všech kovů byly naměřeny v okolí Hostivařské přehrady (profile B14, B15).



Obrázek 14: Koncentrace Cu, Ni, Pb, Cr a Zn v sedimentu Botiče

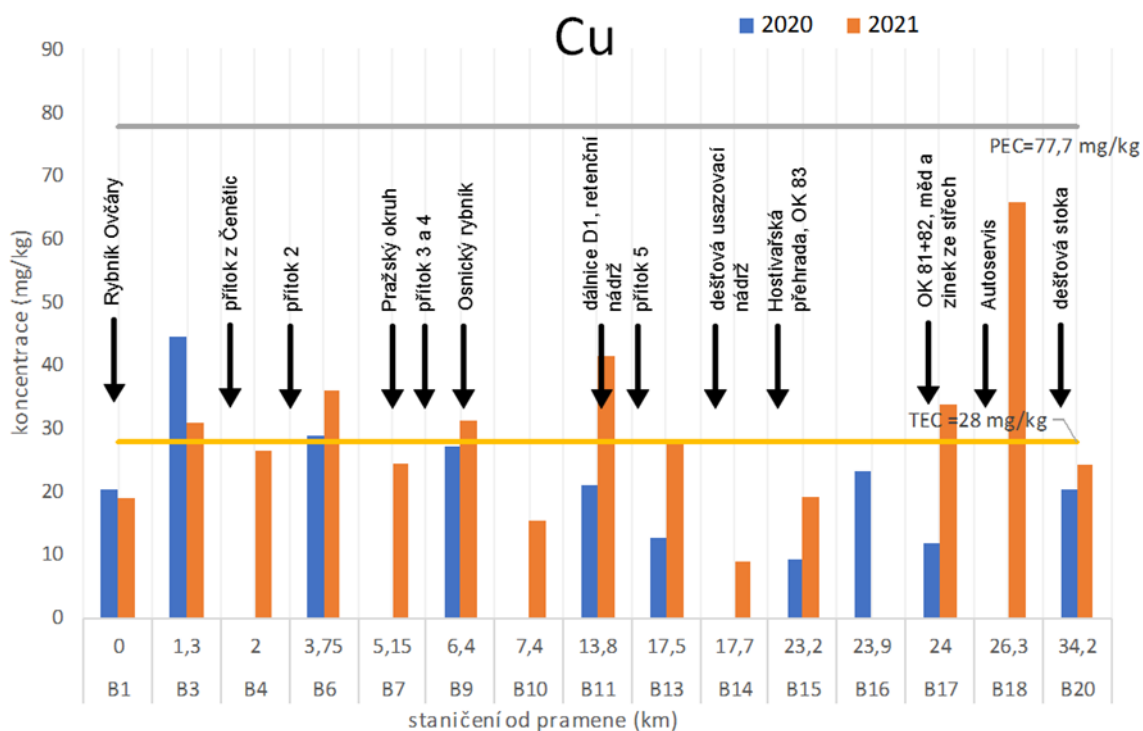
Separovaně jsou na grafu (Obrázek 15) pro přehlednost znázorněny koncentrace rtuti a kadmia, jelikož tyto kovy dosahují řádově nižších hodnot. Pozorujeme, že oba tyto kovy poměrně dobře kopírují graf obsahu organických látek. Kadmium je v průběhu toku více proměnlivé a roste v profilech B3, B7, B11, B18, tedy ve stejných profilech jako předešlé těžké kovy s přírůstkem profilů B3, který se nachází před obcí Čenětice a indukuje vliv zemědělství a B7 nacházející se pod Pražským okruhem. Rtuť je zvýšená na stejných profilech kromě B7.



Obrázek 15: Koncentrace Cd a Hg v sedimentu Botiče

Porovnání koncentrací těžkých kovů pro roky 2020 a 2021

Koncentrace mědi je v roce 2021 ve většině profilů vyšší než v roce 2020. (Obrázek 16). V roce 2021 v několika profilech vystupuje nad limitní hodnotu TEC= 28 mg/kg. Nejvyšší hodnoty jsou pozorovány na profilech B11, B17 a B18. V B11 je poznat vliv dálnice D1, v profilu B17 se nám potvrdila predikce zvýšené koncentrace s ohledem na okolní zástavbu s měděnými střechami a vysoká koncentrace v profilu B18 by mohla být způsobena blízkým autoservisem.

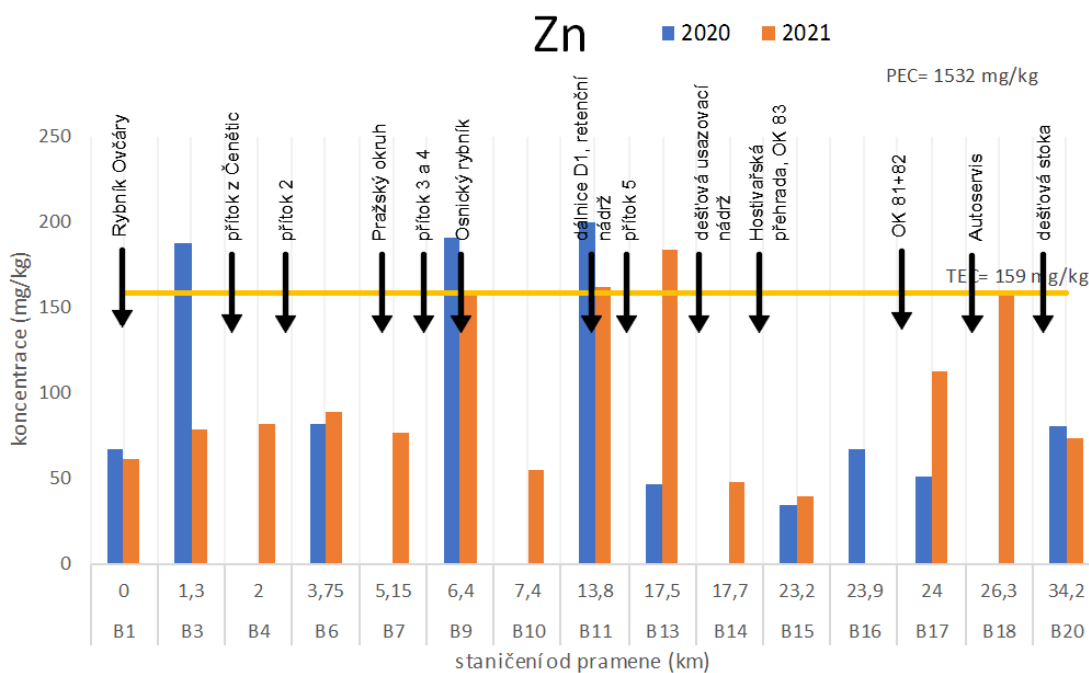


Obrázek 16: Koncentrace mědi 2020 a 2021



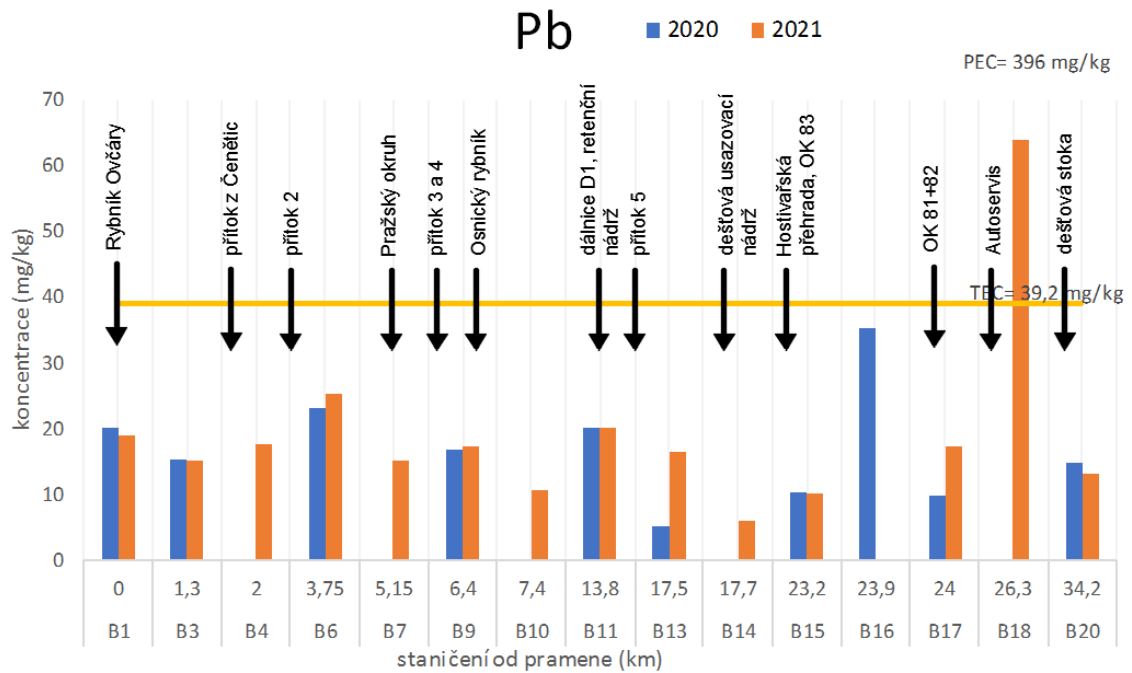
Obrázek 17 popisuje koncentrace zinku. Zinek potvrzuje mou predikci zvýšené hodnoty v profilu B11 a roste také vlivem přítoku v profilu B9. Při zaznamenání vyšších hodnot i na profilech B17 a B18 mě napadá spojitost s pozinkovým materiálem střech v okolní zástavbě, podobně jako v případě mědi. Zinek v roce 2020 třikrát překročil hranici TEC= 159 mg/kg. V letošním roce jsme zaznamenali překročení limitu na dvou profilech, a tím jsou B11 a B13.

Zajímavé je také zvýšení koncentrací v profilu B3 v roce 2020, které vyčnívá nad koncentrace v okolních profilech. V roce 2021 se tento stav změnil, tak můžeme předpokládat, že vliv v profilu B3 na zinek nebyl dlouhodobý.



Obrázek 17: Koncentrace zinku 2020 a 2021

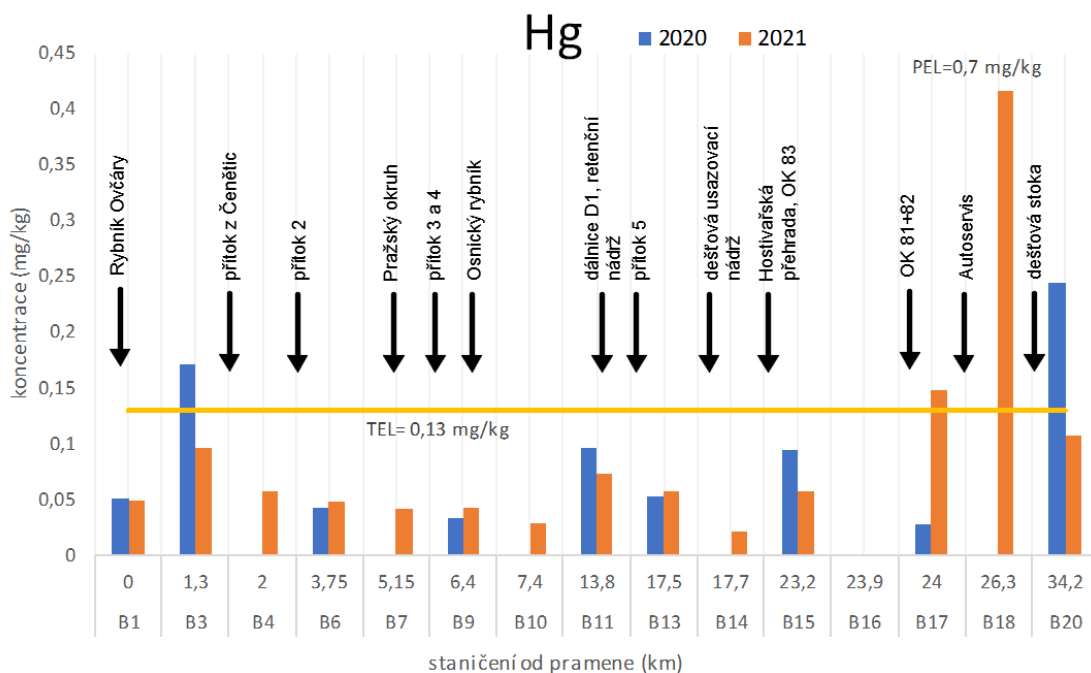
Obrázek 18 znázorňuje koncentrace olova v sedimentu. Olovo v mnoha profilech vykazovalo velmi podobné hodnoty koncentrací jak v roce 2020 tak v roce následujícím. Jeho množství v sedimentu překročilo limit TEC= 39 mg/kg pouze v roce 2021 v profilu B18. Je to stejný profil v blízkosti autoservisu, v němž vykazovala vyšší hodnoty i měď.



Obrázek 18: Koncentrace olova 2020 a 2021

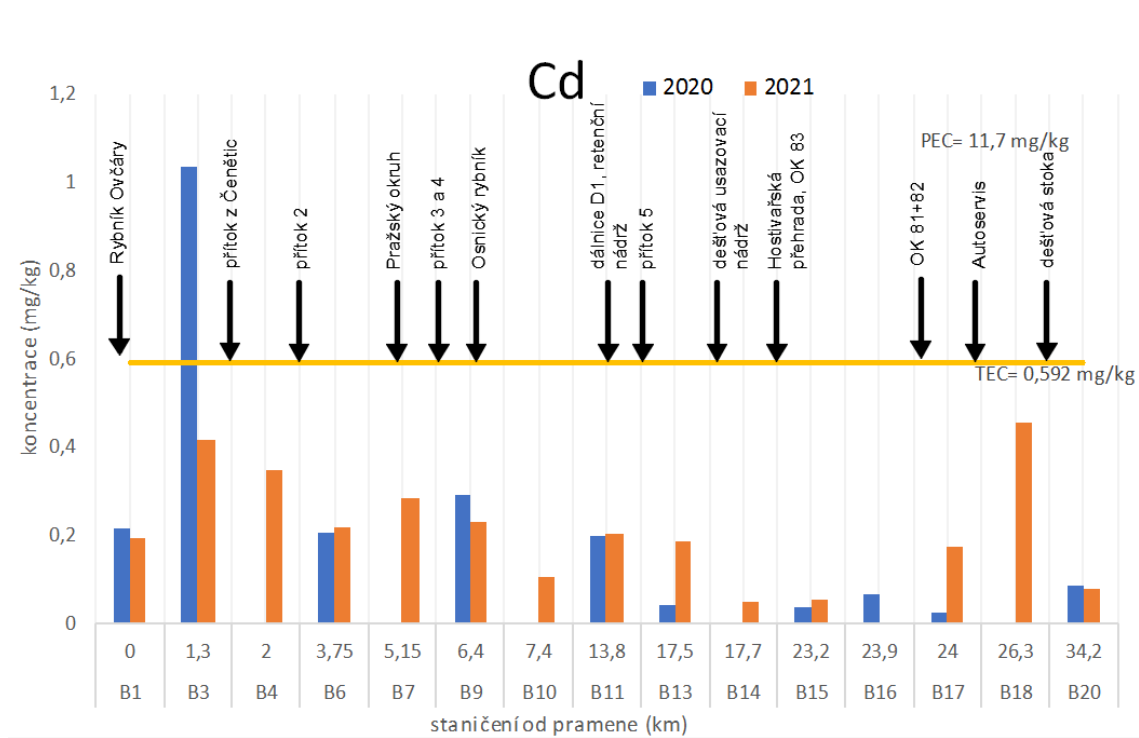


Obrázek 19 ukazuje zajímavý průběh koncentrací rtuti na toku. Rtuť překročila limitu TEL= 0,13 mg/kg na dvou profilech v loňském roce a na dvou profilech tohoto roku. Problémové profily jsou v roce 2020 a 2021 odlišné. V profilech B3 (2020) a B17 (2021) je zvýšená i hodnota organické hmoty, s čímž by vyšší koncentrace rtuti mohla souviset. Nejvyšší koncentrace je pozorována opět na profilu B18 jako u obou předchozích zájmových kovů.



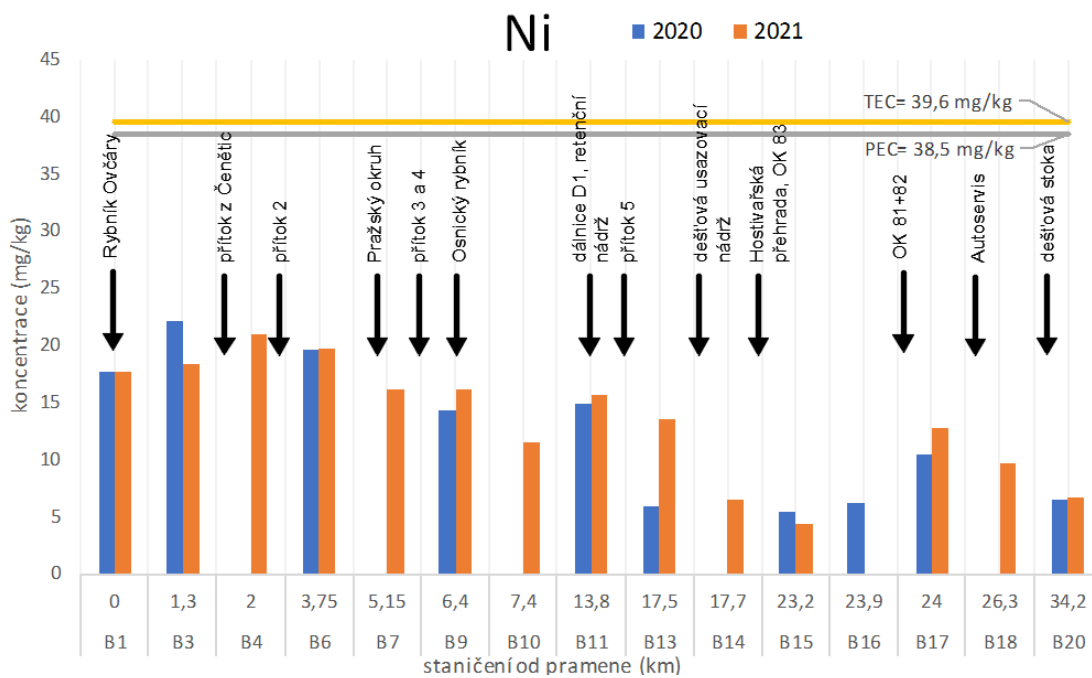
Obrázek 19: Koncentrace rtuti 2020 a 2021

Obsah kadmia na Botiči podle grafu (Obrázek 20) není v posledních dvou letech výrazně zvýšený. Nejvyšší hodnota koncentrace byla měřena na profilech B18 a B3, na kterém dokonce v roce 2020 kadmium překročilo limitní hodnotu  $TEC = 0,592 \text{ mg/kg}$ . B3 se nachází na okraji obce, kde může mít vliv i zemědělství. Koncentrace kadmia dobře koreluje s obsahem organické hmoty (Obrázek 13).



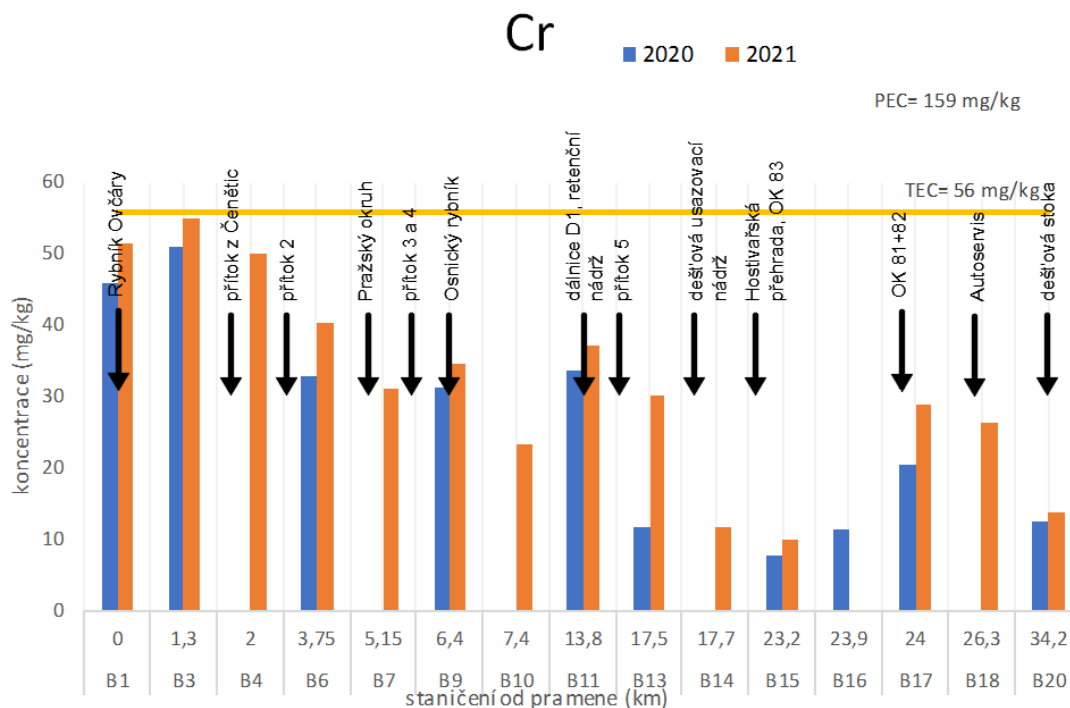
Obrázek 20: Koncentrace kadmia 2020 a 2021

Nikl je podle grafu (Obrázek 21) jedním z méně rizikových kovů na toku. Ani v roce 2020 ani 2021 nebyly překročeny limitní hodnoty TEC a PEC na žádném z profilů. Průběhem svých koncentrací na toku je porovnatelný s průběhem množství organické hmoty.



Obrázek 21: Koncentrace niklu 2020 a 2021

Chrom se dle grafu (Obrázek 22) ani na jednom z profilů nedostal nad hodnotu TEC= 56 mg/kg. To vzbuzuje dojem, že daný prvek by nemusel být jedním z více problémových kovů na toku. Hodnoty jsou v obou letech podobné.



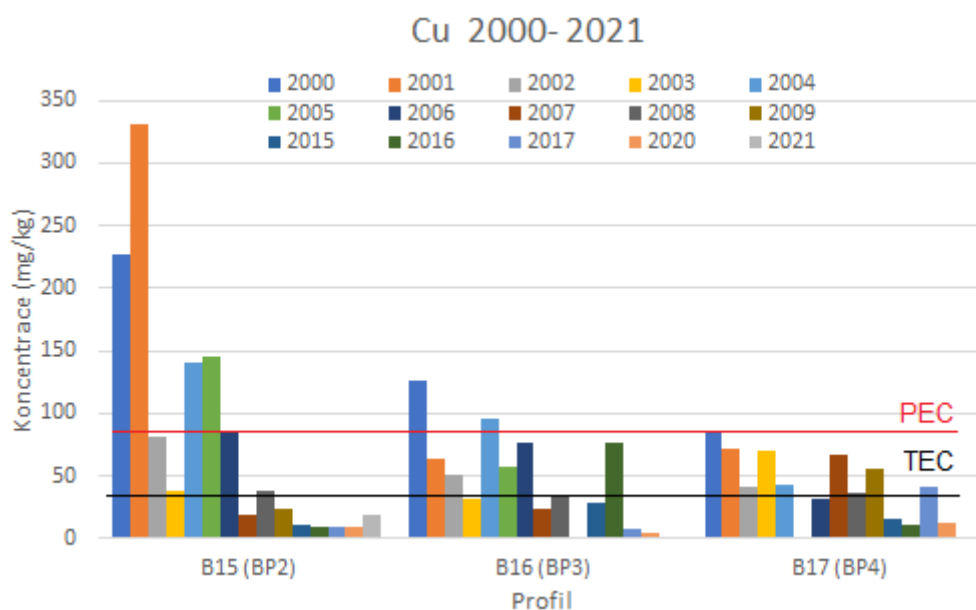
Obrázek 22: Koncentrace chromu 2020 a 2021

### Porovnání pražských profilů v letech 2000-2021

Pro porovnání vývoje koncentrací v celém období od roku 2000 do současnosti byly vybrány tři nejproblémovější kovy a tři profily, které jsou od roku 2000 sledovány. Tj. profily B15, B16, B17 (dříve značené BP2, BP3 a BP4). Tyto lokality byly v minulosti sledovány především pro významný vliv odlehčovacích komor jednotné kanalizace: B15 ovlivněn OK83 a B17 ovlivněn OK81+82, navíc byl patrný i vliv kanalizace dešťové na profilu B16.

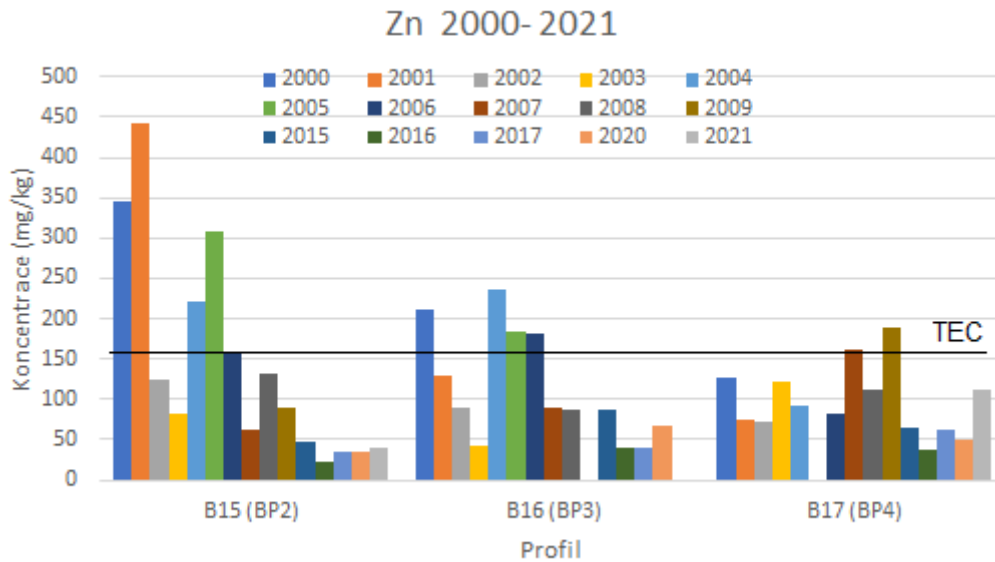
Na grafu pro měď (Obrázek 23) vidíme v daných letech velmi zajímavé výsledky. V profilu B15 byly koncentrace mědi nejextrémnější a až třikrát převyšovaly limitní hodnotu PEC (konkrétně v roce 2000 a 2001). Po povodni v roce 2002 došlo k výraznému snížení koncentrace mědi na profilu B15. Rekonstrukce odlehčovacích komor, která probíhala v letech 2000 až 2004, měla pozitivní vliv na kvalitu vody v Botiči. Náhle

zvýšená koncentrace v roce 2008 na profilu B15 by mohla být způsobena počátkem nové bytové výstavby v okolí. Výsledky koncentrací z profilu B17 potvrdily mojí predikci, že okolní stavby s měděnými střechami tok ovlivňují. Na všech profilech v grafu vidíme koncentrace mědi i nad limitou TEC. Zřetelně je zde ale vidět klesající trend, díky kterému se měď dostala do přípustných hodnot. V letech 2016 a 2017 byl klesající trend vysokými hodnotami přerušen. V roce 2017 na profilu B17 probíhala revitalizace toku a předpokládám, že se právě tento vliv v grafu ukazuje.



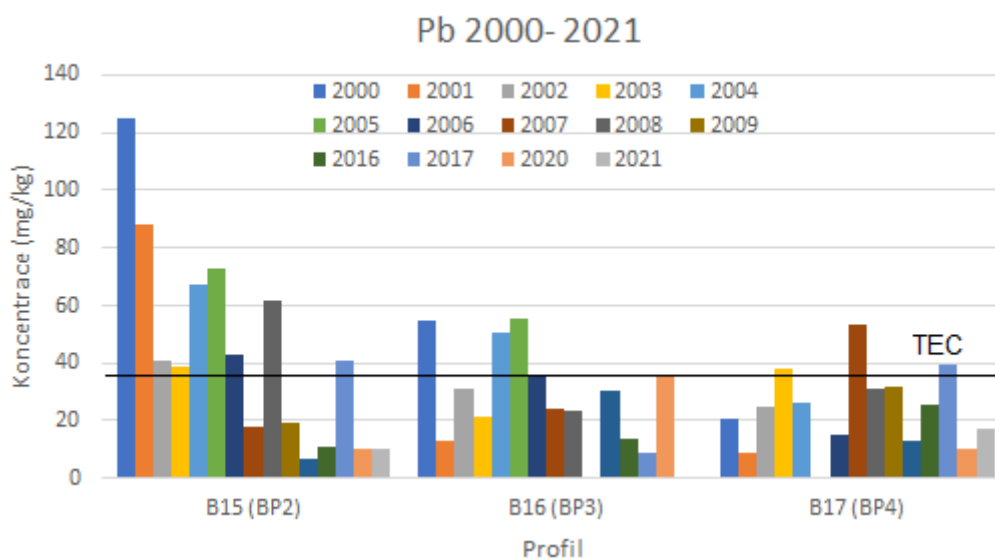
Obrázek 23: Měď v sedimentu na pražské části toku 2000-2021

U zinku (Obrázek 24) vidíme stejný průběh jako u mědi z toho důvodu, že zvýšené koncentrace obou kovů bývají vyvolány stejnými vlivy. Na rozdíl od mědi zinek nikdy v průběhu let nepřekročil hodnotu PEC (1532 mg/kg).



Obrázek 24: Zinek v sedimentu na pražské části toku 2000-2021

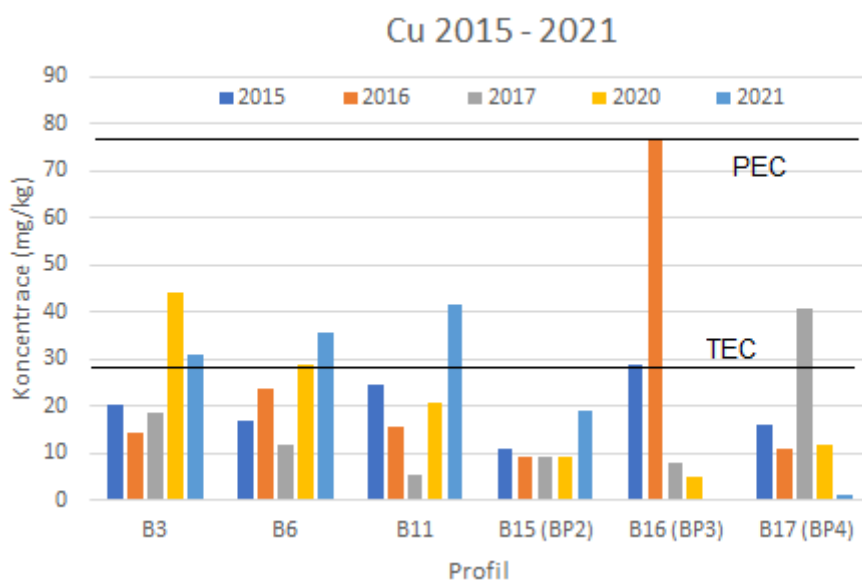
Obrázek 25 popisuje vývoj koncentrací olova od roku 2000 do roku 2021. Vidíme, že v průběhu let docházelo na profilu B15 a B16 k častému překračování limitu TEC. Míra překročení limitu TEC se s postupem času snižovala. K výraznému snížení došlo po povodni v roce 2002, rekonstrukce odlehčovacích komor zlepšení stavu napomohla, ale stavební aktivity v těsném okolí toku koncentrace sledovaných kovů ovlivňovaly negativně. Na profilu B17, který byl v průběhu let poměrně stálý, je zajímavá vyšší hodnota koncentrace v roce 2007. Z toho bych soudila, že mohlo docházet k nějaké výstavbě na toku či v okolí profilu B17.



Obrázek 25: Olovo v sedimentu na pražské části toku 2000-2021

### Porovnání výsledků na vybraných pražských i mimopražských profilech v letech 2015- 2021

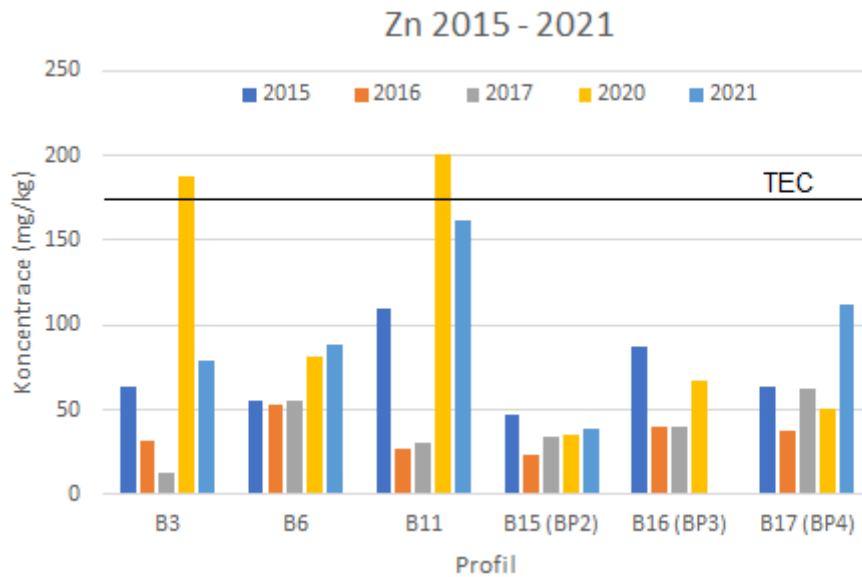
Porovnáním situace na pražských a mimopražských tocích (Obrázek 26) je patrné, že již v mimopražském území se měď vyskytuje často ve vyšších koncentracích než v Praze. Navíc je vidět rostoucí trend (v posledních letech hodnoty vystoupaly nad limitní hodnotu TEC), který může souviset s rozvojem bytové zástavby v povodí toku.



Obrázek 26: Koncentrace mědi 2015-2021

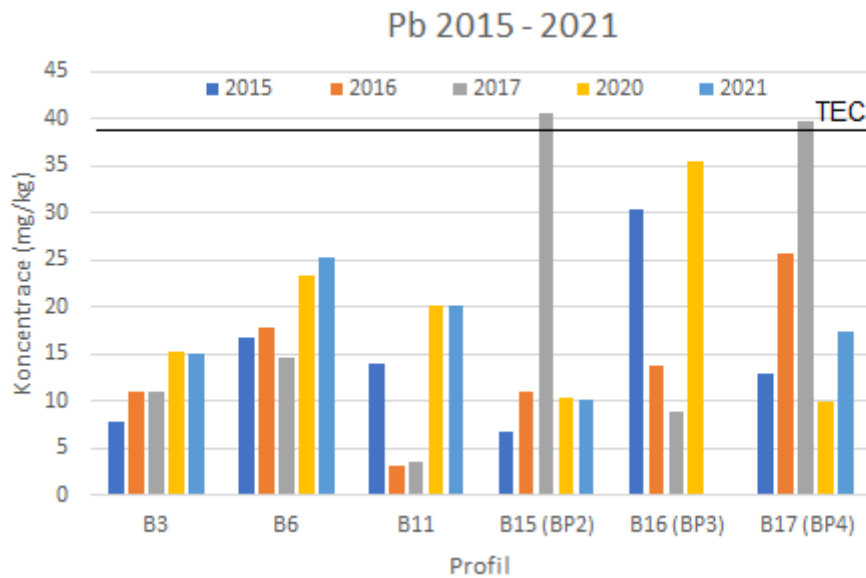


Hodnoty zinku (Obrázek 27) v sedimentu překračují své limity TEC v roce 2020 na dvou analyzovaných profilech B3 a B11. B3 je již zmiňovaný profil nad Čeněticemi nevystavující se kromě vlivu zemědělství nijak velké zátěži. Profil B11 je profil přímo pod dálnicí D1 a vysoké hodnoty těžkých kovů jsem zde předpokládala.



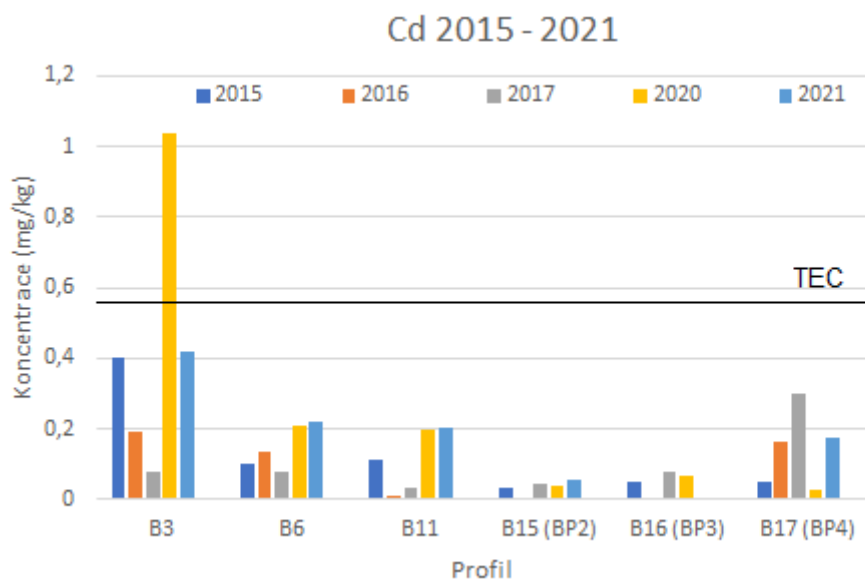
Obrázek 27: Koncentrace zinku 2015-2021

Koncentrace olova (Obrázek 28) je výrazná v době probíhající revitalizace na profilu B17. V tom samém roce stoupá nad hodnotu TEC i v profilu B15. Ale i v případě olova je zřejmé, že na profilech ve volné (spíše zemědělské) krajině je tok zatížen významněji než v Praze.



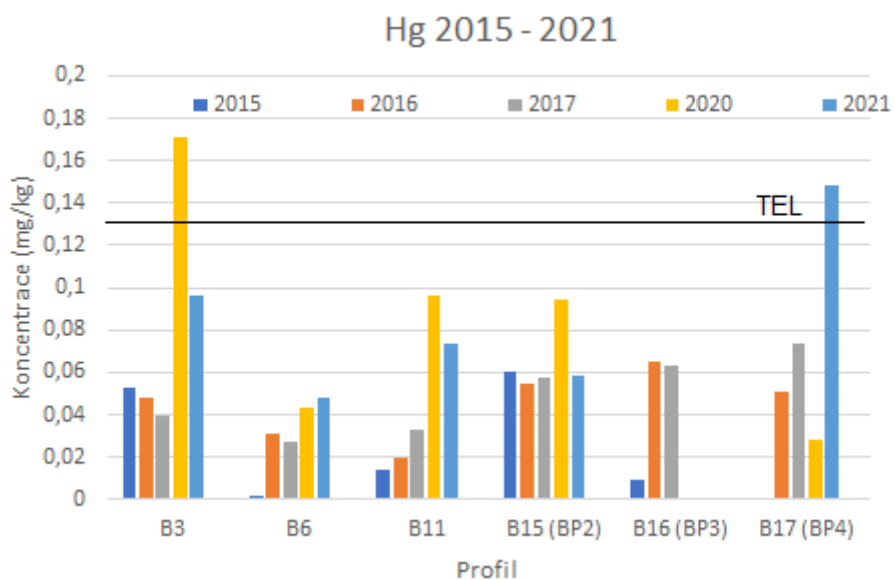
Obrázek 28: Koncentrace olova 2015-2021

Kadmium v letech 2015-2021 nejčastěji dosahovalo hodnot kolem 0,2 mg/kg. (Obrázek 29) V profilech B15 a B16 jsou v zájmové řadě let koncentrace nižší než na jiných profilech. Nejvyšší hodnota koncentrace kadmia byla dosažena v roce 2020 na profilu B3 a převýšila svou limitní hodnotu TEC.



Obrázek 29: Koncentrace kadmia 2015-2021

Posledním grafem k nahlédnutí je koncentrace rtuti (Obrázek 30). Rtuť vykazuje rostoucí trend a na třech profilech v roce 2020 byla koncentrace významně navýšena oproti předešlým výsledkům (B3, B11, B15). Svou limitní hodnotu TEL= 0,13 mg/kg překračuje v roce 2020 na profilu B3 a v roce 2021 na profilu B17.



Obrázek 30: Koncentrace rtuti 2015-2021

## Shrnutí výsledků

Grafické zpracování výsledků nám v několika případech ověřilo predikci. Z výsledků z roku 2021 vyplývá, že nejproblémovějšími profily na zájmovém toku jsou v dnešní době profily B11 a B18. B11, jakožto profil situovaný přímo pod dálnicí D1, je zatěžován téměř všemi analyzovanými těžkými kovy. Vysokou koncentraci v daném profilu měly Zn, Cu, Cr, Pb i Cd. Stejnou predikci jsem provedla u profilu B7, který se nachází pod Pražským okruhem, zde se očekávání vyšších koncentrací kovů v sedimentu nepotvrdilo, ba naopak. Všechny zájmové těžké kovy s výjimkou kadmia zde jevíly nižší koncentrace než v profilu předcházejícím (B6). V profilu B18 vycházely hodnoty opět vysoké u všech těžkých kovů. Důvodem by mohl být blízko situovaný autoservis, ale dle mého předpokladu může jít i o celkovou zvyšující se míru působení antropogenních zdrojů. Profil B18 se nachází v zastavěné oblasti, kde dochází ke splachu povrchových vod. Vlivy jako tento jsou dobře názorné na grafu popisujícím stav konduktivity v průběhu toku (Obrázek 8). Také postupem toku k ústí do Vltavy přibývá zaústěných dešťových kanalizací nebo odlehčovacích komor jednotných kanalizací. O výrazném vlivu „města“ na tok jsem byla přesvědčená, takže mě překvapilo, že koncentrace kovů v posledním profilu B20 opět klesly. Musíme si ale uvědomit, že pokles kovů v sedimentu nemusí znamenat pokles znečišťujících faktorů. Fakt, že koncentrace kovů v městské zástavbě opět klesly, může být připsán jiným podmínkám vazby kovů do sedimentu, či odlišnou strukturou sedimentu.

Grafické vyhodnocení z let 2020 a 2021 také nápadně poukazuje na profil B3, kde se objevují vysoké koncentrace Zn, Cu, Cd, Cr i Hg. V daném profilu tak vysoké koncentrace nebyly očekávány, jelikož se zde Botič nachází ještě v přírodním prostředí s potenciálním zatížením zemědělstvím. Z toho důvodu byl profil B3 také vybrán do porovnání vývoje obsahu těžkých kovů v sedimentu v dlouhodobé řadě.

Z porovnání s minulým stavem vyplynulo, že rok 2020 je pro profil B3 nejnepříznivější. V grafech se v profilu B3 objevují opravdu vysoké koncentrace těžkých kovů (hlavně Hg, Cd, Zn) a s minulými lety jsou v nepoměru. Zvýšené hodnoty nám mohou indikovat nový zdroj znečištění, rozvíjející se výstavbu či blízký bodový zdroj.

## Závěr

Povodí Botiče je znečištěním výrazně zatíženo a na koncentraci těžkých kovů ve vodním prostředí se to projevuje ve velké míře. Z naší analýzy vyplývá, že se koncentrace těžkých kovů za období dvaceti let spíše zvýšila anebo v průběhu časové řady silně kolísala v závislosti na vyskytujících se vlivech zatížení. U některých kovů je pozorován však i pozitivní vývoj, například postupné snižování koncentrací mědi a zinku v určitých městských profilech dříve velmi problematických a přesahujících hodnoty TEC. Přesto, nejvíce problémovými kovy zůstávají Cu, Zn a Pb, bez významu nejsou ani Cd a Hg.

Rozvoj urbanismu s sebou přináší i významné zdroje znečištění těžkými kovy. Mezi očekávané zdroje znečištění těžkými kovy patří především průmysl a automobilová doprava, které obvykle vážeme spíše k velkým městům, zde k Praze. Pokud ale systém městského odvodnění je správně nastaven, do stokového systému města je zaústěno minimum průmyslových odpadních vod a odlehčovací komory jsou dostatečně kapacitní, aby nedocházelo k častým přepadům, může být jednotná kanalizace méně významným zdrojem zatížení toku kovy než dešťová kanalizace zahrnující nejen odtok z dopravních tepen, ale i odvodnění bytové zástavby.

Zažitá představa, že velkoměsto zhoršuje kvalitu vodního prostředí, se dokonce nemusí setkávat s realitou. V případě Botiče a jeho zatížení těžkými kovy se ukazuje, že již v pramenné oblasti nacházející se ve volné krajině s několika nenápadnými vesnicemi, může být tok zatížen kovy dokonce více, než je většina lokalit v Praze. Stále se rozvíjející výstavba pro bydlení mimo Prahu, ale v její blízkosti, pravděpodobně tento fenomén posiluje. Povrchový odtok a dešťová kanalizace může být významnějším zdrojem kovů než kanalizace jednotná.

## Seznam použité literatury

Babel a Kurniawan (2003). Various treatment technologies to remove arsenic and mercury from contaminated groundwater: an overview. In: Proceedings of the First International Symposium on Southeast Asian Water Environment

Doležalová, L., 2010. TOXICKÉ KOVY VE VODNÍCH NÁDRŽÍCH NA ÚZEMÍ PRAHY. Diplomová Práce, 6(11), 951–952.

Kobielska, P. A., Howarth, A. J., Farha, O. K., & Nayak, S. (2018). Metal–organic frameworks for heavy metal removal from water. *Coordination Chemistry Reviews*, 358, 92–107. <https://doi.org/10.1016/j.ccr.2017.12.010>

M. Al Osman, F. Yang, I.Y. Massey. 2019. Exposure routes and health effects of heavy metals on children. 2019. 563-573.

Mamta Pujari, Dhriti Kapoor,. 2021. Heavy metals in the ecosystem: Sources and their effects. Vinod Kumar, Anket Sharma, Artemi Cerdá, 2021.

Nábělková, J. a Nekovářová, J. 2010. Chemie životního prostředí. 2010

Nábělková, Jana. Těžké kovy v sedimentech drobných městských toků. Praha, 2011. Habilitační práce. České vysoké učení technické v Praze

Pavlásek, J. (1981). Naučná stezka povodím Botiče. Nika. [http://www.praha-priroda.cz/priloha/519f38d91c9e4/ns-povodim-botice\(nika2-81\).pdf](http://www.praha-priroda.cz/priloha/519f38d91c9e4/ns-povodim-botice(nika2-81).pdf)

Pitter, Pavel. 2009. Hydrochemie. Praha : vydavatelství VŠCHT Praha, 2009

Pokorný, J., Ďurišová, K., Hesslerová, P., Nábělková, J., Procházka, J., Pollert, J., Kröpfelová, L., Šulcová, J., & Baxa, M., 2018. METODIKA IDENTIFIKACE VLIVU BODOVÝCH A NEBODOVÝCH ZDROJŮ ZNEČIŠTĚNÍ NA DROBNÉ VODNÍ TOKY A HODNOCENÍ ÚLOHY KRAJINNÉHO POKRYVU V TOCÍCH SLUNEČNÍ ENERGIE, VODY A LÁTEK

PVS,a.s., 2003: Pražská vodohospodářská společnost, a.s. (2003): Kanalizační řád kanalizace pro veřejnou potřebu na území hlavního města Prahy v povodí Ústřední čistírny odpadních vod Praha

Lucie Večeřová, Dana Komínková, Jana Nábělková. Dlouhodobý vývoj obsahu toxických kovů ve vodě a sedimentu Botiče

#### Webové adresy:

Botič. Pražská příroda [online]. b.r. [cit. 2018-02-20]. Dostupné z:  
<http://www.prahapriroda.cz/vodni-plochy-a-potoky/vodni-toky/botic/>

Webové stránky Pražského okruhu, dostupné z: (<http://www.okruhprahy.cz/#home>)

Prezentace pro metody AAS : [https://fch.upol.cz/skripta/zfcm\\_pred/9\\_AAS.pdf](https://fch.upol.cz/skripta/zfcm_pred/9_AAS.pdf)

#### Legislativa:

Vyhláška č. 153/2016 Sb., Vyhláška o stanovení podrobností ochrany kvality zemědělské půdy a o změně vyhlášky č. 13/1994 Sb., kterou se upravují některé podrobnosti ochrany zemědělského půdního fondu

Nařízení vlády č. 401/2015 Sb. Nařízení vlády 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



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.

Příloha č. 1 k vyhlášce – Vyhláška č. 257/2009 Sb., Vyhláška o používání sedimentů na zemědělské půdě

Vyhláška č. 252/2004 Sb., Hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody

Nařízení vlády 61/2003 Sb., Nařízení vlády 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

#### Normy:

Canadian Sediment quality guidelines, 2001 dostupné z:

<https://www.pla.co.uk/Environment/Canadian-Sediment-Quality-Guidelines-for-the-Protection-of-Aquatic-Life>

ČSN EN 15169 (838026), Charakterizace odpadů – Stanovení ztráty žíháním v odpadech, kalech a sedimentech

US EPA Method 3052 (1993) Microwave Assisted Acid Digestion of Siliceous and Organically Based Matrices

ES/ER/TM-96/R2 Toxicological Benchmarks for Screening Potential Contaminants of Concern for Effects on Aquatic Biota: 1996 Revision

#### Návod na obsluhu:

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

## Seznam obrázků

Obrázek 1: Koloběh těžkých kovů, autor Lenka Langhammerová, (Kobielska a kol., 2018) .....	7
Obrázek 2: Graf nárůstu počtu obyvatel v Dobřejovicích a Křížkovém Újezdci v letech 2000-2020, (Český statistický úřad) .....	20
Obrázek 3: Mapa umístění odběrových profilů, autor Lenka Langhammerová.....	24
Obrázek 4: Filtrace vzorků po dokončení rozkladu dle EPA 3052, autor Lenka Langhammerová, 13. 4. 2021 .....	27
Obrázek 5.I a 5.II: FAAS analýza vzorku, vlevo palivo vzduch a acetylen vpravo oxid dusný a acetylen, autor Lenka Langhammerová, 4. 5. 2021 .....	28
Obrázek 6: Spektrometr s elektrotermickou atomizací, autor Lenka Langhammerová, 4.5. 2021 .....	29
Obrázek 7: Advanced Mercury Analyser AMA 254, autor Lenka Langhammerová, 4. 5. 2021 .....	30
Obrázek 8: Graf vývoje konduktivity a pH v průběhu toku .....	33
Obrázek 9I a 9II: Rybník Ovčáry, autor Lenka Langhammerová, obě fotografie ze dne 20. 4. 2021 .....	33
Obrázek 10.I a 10.II.: Vlevo stav k 20. 4. 2021- koryto bez vody a zarostlé, autor Lenka Langhammerová, vpravo stav vodný z roku 2018, autor doc. Mgr. Jana Nábělková, Ph.D. ....	34
Obrázek 11.I Revitalizace stěn koryta a 11.II Ostrůvek v toku, autor Lenka Langhammerová, 20. 4. 2021 .....	37
Obrázek 12.I: Narovnané koryto Botiče před zatrubněním a 12.II: Vtok do potrubí, ....	38
Obrázek 13: Podíl organické hmoty v jednotlivých profilech .....	39
Obrázek 14: Koncentrace Cu, Ni, Pb, Cr a Zn v sedimentu Botiče.....	40
Obrázek 15: Koncentrace Cd a Hg v sedimentu Botiče .....	41
Obrázek 16: Koncentrace mědi 2020 a 2021 .....	42
Obrázek 17: Koncentrace zinku 2020 a 2021 .....	43
Obrázek 18: Koncentrace olova 2020 a 2021 .....	44
Obrázek 19: Koncentrace rtuti 2020 a 2021 .....	45
Obrázek 20: Koncentrace kadmia 2020 a 2021 .....	46

---

Obrázek 21: Koncentrace niklu 2020 a 2021 .....	47
Obrázek 22: Koncentrace chromu 2020 a 2021 .....	48
Obrázek 23: Měď v sedimentu na pražské části toku 2000-2021 .....	49
Obrázek 24: Zinek v sedimentu na pražské části toku 2000-2021 .....	50
Obrázek 25: Olovo v sedimentu na pražské části toku 2000-2021 .....	51
Obrázek 26: Koncentrace mědi 2015-2021 .....	52
Obrázek 27: Koncentrace zinku 2015-2021 .....	53
Obrázek 28: Koncentrace olova 2015-2021 .....	54
Obrázek 29: Koncentrace kadmia 2015-2021 .....	55
Obrázek 30: Koncentrace rtuti 2015-2021 .....	56

## Seznam tabulek

Tabulka 1: Zájmové těžké kovy a jejich vliv na vodní organismy (Pitter, 2009, Nařízení vlády č. 401/2015 Sb.) .....	14
Tabulka 2: Zájmové těžké kovy, jejich rizika a limity pro obsah v pitné vodě (Babel, a kol., 2003), (Pitter, 2009, Vyhláška č. 252/2004 Sb.) .....	15
Tabulka 3: Limitní hodnoty analyzovaných těžkých kovů v sedimentu pro zemědělské účely (Vyhláška MZem a MŽP č. 257/2009 Sb.) .....	17
Tabulka 4: Environmental quality standards - US EPA kritéria PEC a TEC a pro Hg kanadská kritéria PEL a TEL .....	17
Tabulka 5: Popis odběrových profilů (Pokorný a kol., 2018): .....	23

## Seznam příloh

Příloha 1: Zájmový tok Botič.....	66
Příloha 2: Kácení stromů u Hostivařské přehrady .....	67
Příloha 3: Jednotlivé odběrové profily: .....	68
Příloha 4: Tabulka výsledků analýzy vzorků 2020.....	74
Příloha 5: Tabulka výsledků analýzy vzorků 2021 .....	75

## Příloha 1: Zájmový tok Botič



1. Koryto potoka Botič u Dobré Vody, foto: Lenka Langhammerová, 23. 3. 2021

## Příloha 2: Kácení stromů u Hostivařské přehrady



*2.1. Kácení stromů na Hostivařské přehradě, foto: Lenka Langhammerová, 23. 3. 2021*



*2.2. Příprava pro výstavbu bezpečnostního přelivu, foto: Lenka Langhammerová, 23. 3. 2021*



### Příloha 3: Jednotlivé odběrové profily:



*B 3: Stav koryta 20. 4. 2021, autor doc. Mgr. Jana Nábělková, Ph.D.*



*B 4: Stav koryta a přítok, 20. 4. 2021, autor Lenka Langhammerová*





*B 6: Brod a odpad ve vodě, 20. 4. 2021, autor Lenka Langhammerová*



*B 6: Přítok a odběrný profil, 20. 4. 2021, autor Lenka Langhammerová*





*B 7: Botič pod Pražským okruhem, 20. 4. 2021, autor Lenka Langhammerová*



*B 9: Stav koryta toku, 20. 4. 2021, autor Lenka Langhammerová*





*B 10: Vtok do Průhonického parku, 20. 4. 2021, autor Lenka Langhammerová*



*B 11: Botič pod dálnicí D1, 20. 4. 2021, autor Lenka Langhammerová*





*B 13: Dobrá Voda, 20. 4. 2021, autor Lenka Langhammerová*



*B 14: Dokumentace profilu, 20. 4. 2021, autor Lenka Langhammerová*





*B 15: Botič za vyústěním OK 83, 20. 4. 2021, autor Lenka Langhammerová*



*B 18: Dokumentace koryta a malého vyústění, 20. 4. 2021, autor Lenka Langhammerová*

## Příloha 4, Tabulka výsledků analýzy vzorků 2020

2020		Cu	RSD%	Ni	RSD%	Zn	RSD%
km od pramene	profily						
	organická hmota	mg/kg					
0,00	<b>B1</b>	20,31716	1,11	17,68157	0,64	67,57458	7,92
1,30	<b>B3</b>	44,36819	1,94	22,02378	0,51	187,9928	8,30
2,00							
3,75	<b>B6</b>	28,89798	4,14	19,56122	0,13	81,24297	2,59
5,15							
6,40	<b>BP9</b>	27,15363	22,94	14,28506	1,37	191,3496	0,17
7,40							
13,80	<b>B11</b>	20,97388	1,56	14,92557	4,57	200,603	4,01
17,50	<b>B13</b>	12,83854	1,90	5,882426	5,59	46,78578	8,15
17,70							
23,20	<b>B15</b>	9,111257	21,47	5,448727	7,08	34,72407	12,18
23,90	<b>B16</b>	23,27527	5,14	6,241	8,87	66,95156	5,30
24,00	<b>B17</b>	11,98731	2,65	10,38619	4,69	50,69184	2,14
26,30							
34,20	<b>B20</b>	20,32543	6,66	6,555747	3,88	80,58681	2,31

2020		Pb	RSD%	Hg	RSD%	Cr	RSD%	Cd	RSD%
km od pramene	profily								
		mg/kg							
0,00	<b>B1</b>	20,25469	1,91	0,05123	5,01	46,02807	1,98	0,214492	11,12
1,30	<b>B3</b>	15,35725	2,29	0,17153	19,81	51,04949	0,77	1,037107	7,49
2,00									
3,75	<b>B6</b>	23,28178	3,53	0,04312	17,42	32,94869	2,74	0,209414	23,39
5,15									
6,40	<b>BP9</b>	16,71821	1,27	0,03356	3,64	31,3043	1,36	0,293589	39,99
7,40									
13,80	<b>B11</b>	20,13537	1,09	0,09676	20,87	33,54035	5,47	0,199348	25,93
17,50	<b>B13</b>	5,268492	2,18	0,05317	11,34	11,6978	1,72	0,041294	10,85
17,70									
23,20	<b>B15</b>	10,43908	69,04	0,094	0,91	7,636674	8,76	0,036869	6,06
23,90	<b>B16</b>	35,47982	77,04			11,49449	10,07	0,068294	2,27
24,00	<b>B17</b>	9,935001	8,52	0,02773	11,91	20,65766	8,75	0,025234	3,18
26,30									
34,20	<b>B20</b>	14,9627	20,98	0,24506	32,95	12,5592	19,51	0,088647	1,46

## Příloha 5, Tabulka výsledků analýzy vzorků 2021

km od pramene	2021		Cu	RSD%	Ni	RSD%	Zn	RSD%
	profily	organická hmota						
	mg/kg							
0,00	<b>B1</b>	7,77%	18,96845	10,31	17,76529	9,72	61,13703	10,83
1,30	<b>B3</b>	13,19%	31,00333	4,41	18,36799	3,87	78,78008	8,47
2,00	<b>B4</b>	14,85%	26,50163	4,50	20,96763	3,46	81,61346	21,34
3,75	<b>B6</b>	14,92%	35,81682	1,10	19,78763	0,24	89,03091	9,10
5,15	<b>B7</b>	14,96%	24,35581	7,35	16,14125	6,05	76,27477	12,06
6,40	<b>B9</b>	8,64%	31,13165	1,08	16,16121	0,62	156,8393	7,18
7,40	<b>B10</b>	4,43%	15,40487	0,10	11,50526	3,22	55,32377	3,73
13,80	<b>B11</b>	15,14%	41,58057	1,82	15,6856	1,57	162,3431	8,46
17,50	<b>B13</b>	11,37%	27,8591	4,83	13,45157	3,60	183,4142	54,58
17,70	<b>B14</b>	2,06%	8,827939	2,27	6,455505	4,54	48,20255	9,11
23,20	<b>B15</b>	1,77%	19,20988	30,76	4,417325	8,72	39,24912	5,54
23,90								
24,00	<b>B17</b>	12,19%	33,92177	1,37	12,72302	12,08	112,1435	17,39
26,30	<b>B18</b>	7,84%	66,05382	21,50	9,61745	8,15	159,5367	4,18
34,20	<b>B20</b>	1,87%	24,32204	64,23	6,730117	10,66	73,00659	16,48

km od pramene	2021		Pb	RSD%	Hg	RSD%	Cr	RSD%	Cd	RSD%
	profily									
	mg/kg									
0,00	<b>B1</b>	19,09466	10,59	0,04929	2,36	51,37679	8,49	0,195841	10,24	
1,30	<b>B3</b>	15,11529	3,44	0,0962	19,21	54,88312	2,42	0,418324	1,30	
2,00		17,78842	3,96	0,05725	0,97	49,95642	3,67	0,346966	11,48	
3,75	<b>B6</b>	25,36956	1,18	0,04822	0,35	40,43089	0,01	0,219416	0,77	
5,15		15,10963	7,02	0,04139	0,48	31,13346	9,21	0,285004	12,22	
6,40	<b>BP9</b>	17,31027	2,61	0,04312	5,37	34,74613	2,57	<b>0,231127</b>	9,58	
7,40		10,8188	0,75	0,02869	8,79	23,23399	2,19	0,105257	6,29	
13,80	<b>B11</b>	20,19114	4,42	0,07362	10,49	37,05745	0,61	0,204701	3,72	
17,50	<b>B13</b>	16,6405	4,69	0,05702	3,06	30,17968	3,42	0,187667	15,61	
17,70		6,134172	0,94	0,02167	0,55	11,67877	2,54	0,052606	8,09	
23,20	<b>B15</b>	10,19328	6,97	0,05805	19,54	10,09666	13,98	0,053832	4,11	
23,90	<b>B16</b>									
24,00	<b>B17</b>	17,40944	14,81	0,148	27,07	28,9015	10,23	0,174219	7,93	
26,30		64,00704	12,56	0,4154	1,9	26,36911	3,27	0,459124	1,28	
34,20	<b>B20</b>	13,30509	1,65	0,1066	10,2	13,8692	22,00	0,079426	18,18	