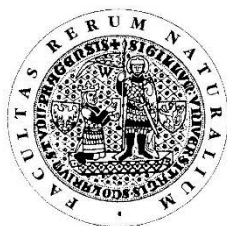


**Univerzita Karlova v Praze**

**Přírodovědecká fakulta**

Studijní program: Chemie

Studijní obor: Chemie životního prostředí



**Adéla Uhrová**

Hodnocení kvality vody a sedimentů v povodí Kunratického potoka

Evaluation of the quality of water and sediments in the basin Kunratice stream

Diplomová práce

Vedoucí závěrečné práce: Ing. Libuše Benešová Csc.

Praha, 2014

### **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze, 13.8.2014

Podpis \_\_\_\_\_

Adéla Uhrová

## **Poděkování**

Ráda bych poděkovala paní Ing. Libuši Benešové, CSc. za vstřícnou spolupráci a cenné rady při zpracování této práce. Dále všem, co mě dopravovali na místa odběru a asistovali při odběru vzorků, tedy RNDr. Jaroslavu Tonikovi, CSc, rodičům a mému příteli. Za pomoc při zpracování vzorků vody bych ráda poděkovala Blance Popelákové a Sylvě Novákové, za pomoc při zpracování sedimentů Ing. Lucii Doležalové.

## **Abstrakt**

Tato diplomová práce se zabývá kvalitou vody a sedimentů v povodí Kunratického potoka. Vzorky vody byly odebírány na šesti profilech po dobu jednoho roku.

Výsledky kvality vody byly vyhodnoceny podle technické normy ČSN 75 7221 Jakost vod – Klasifikace jakosti povrchových vod a podle Nařízení vlády č. 229/2007 Sb.. Podle ČSN 75 7221 je Kunratický potok klasifikován jako velmi silně znečištěná voda. Limitní hodnoty environmentální kvality nařízení vlády č. 229/2007 Sb. přesahují biologická spotřeba kyslíku, amoniakální a dusičnanový dusík.

Vzorky sedimentů byly odebrány jednorázově na čtyřech profilech. V sedimentech byl stanoven obsah kovů. Výsledky kvality sedimentů byly vyhodnoceny podle vyhlášky č. 257/2009 Sb.. Také byly porovnány s limity US EPA, konkrétně s PEC a TEC. Sedimenty odebrané v rybníku Šeberák jsou plně vyhovující. V sedimentech z Kunratického potoka přesahují limitní hodnoty zinek, olovo a měď.

**Klíčová slova:** kvalita vody, kvalita sedimentů, povodí

## **Abstract**

This thesis deals with the monitoring of water quality and aquatic sediments analysis in the basin of Kunratický brook.

Water samples were collected at six locations during once year. The results of analysis were evaluated according to CSN 75 7221 Water quality – Classification of surface water quality and Regulation 229/2007. According to CSN 75 7221 Kunratický brook is classified as very strong polluted water. Biological consumption of oxygen, ammoniated and nitrate nitrogen meet not the conditions of environmental quality according to Regulation 229/2007.

Sediment samples were collected once for whole period at 4 locations. In sediment was determine the content of metals. The results of analysis were evaluated according to Regulation 257/2009. The results were compared with limits of US EPA, specifically PEC and TEC. Sediments of pond Šeberák are full obliged. Zinc, lead and cooper are in excess of sediments of Kunratický brook.

**Key words:** water quality, sediments quality, basin

## Seznam použitých zkratk a symbolů

AAS – Atomic Absorption Spectroscopy - atomová absorpční spektrometrie

AMA - Advanced Mercury Analyzer - jednoúčelový analyzátor rtuti

BSK – Biologická spotřeba kyslíku

ČOV – Čistírna odpadních vod

ČSN – Česká státní norma

EO – Ekvivalentní obyvatel

ETA – AAS – Electrothermal Atomisation – Atomic Absorption Spectroscopy

atomová absorpční spektrometrie – elektrotermická atomizace

F-AAS – Flame – Atomic Absorption Spectroscopy - plamenová atomová spektrometrie

HQ – Hazard Quotient – koeficient rizika

CHSK – Chemická spotřeba kyslíku

KNK<sub>4,5</sub> – Kyselinová neutralizační kapacita

PEC - Probable Effect Concentration – koncentrace pravděpodobného účinku

PP – Přírodní památka

TEC - Threshold Effect Concentration – koncentrace prahového účinku

ZNK<sub>8,3</sub> – Zásadová neutralizační kapacita

# Obsah

|                                                                         |    |
|-------------------------------------------------------------------------|----|
| 1 Úvod.....                                                             | 8  |
| 2 Teoretická část.....                                                  | 9  |
| 2.1 Povodí Kunratického potoka .....                                    | 9  |
| 2.1.1 Vestecký potok .....                                              | 10 |
| 2.1.2 Rybník Šeberák .....                                              | 10 |
| 2.1.3 Přírodní památka Hrnčířské louky .....                            | 10 |
| 2.1.4 Přírodní památka Údolí Kunratického potoka .....                  | 11 |
| 2.1.4 Rybník Labuť .....                                                | 12 |
| 2.2 Sledované ukazatele kvality vody .....                              | 13 |
| 2.2.1 Teplota vody.....                                                 | 13 |
| 2.2.2 Hodnota pH.....                                                   | 13 |
| 2.2.3 Elektrolytická konduktivita.....                                  | 14 |
| 2.2.4 Neutralizační kapacita.....                                       | 14 |
| 2.2.5 Vápník a hořčík.....                                              | 15 |
| 2.2.6 Rozpuštěný kyslík.....                                            | 15 |
| 2.2.7 Organické látky.....                                              | 16 |
| 2.2.8 Sloučeniny dusíku.....                                            | 17 |
| 2.2.9 Sloučeniny fosforu .....                                          | 18 |
| 2.2.10 Chloridy .....                                                   | 18 |
| 2.2.11 Železo.....                                                      | 19 |
| 2.2.12 Mangan .....                                                     | 19 |
| 2.3 Hodnocení kvality vody .....                                        | 19 |
| 2.3.1 ČSN 75 7221 Jakost vod – Klasifikace jakosti povrchových vod..... | 20 |
| 2.3.2 Nařízení vlády č. 229/2007 Sb.....                                | 21 |
| 2.4 Sedimenty .....                                                     | 21 |
| 2.4.1 Vznik a původ sedimentů.....                                      | 21 |
| 2.4.2 Rozdělení sediment.....                                           | 22 |
| 2.4.3 Kovy v sedimentech.....                                           | 23 |
| 3 Praktická část.....                                                   | 29 |
| 3.1 Analýza vody .....                                                  | 29 |
| 3.1.1 Odběr vzorků .....                                                | 29 |
| 3.1.2 Analýza v laboratoři.....                                         | 30 |
| 3.1.3 Vyhodnocení výsledků kvality vody.....                            | 33 |
| 3.1.4 Výsledky a diskuze .....                                          | 35 |
| 3.2 Analýza sedimentů.....                                              | 43 |
| 3.2.1 Odběr vzorků .....                                                | 43 |
| 3.2.2. Analýza v laboratoři.....                                        | 43 |
| 3.2.3 Vyhodnocení výsledků sedimentů.....                               | 46 |
| 3.2.4 Výsledky a diskuze .....                                          | 47 |
| 4 Závěr.....                                                            | 53 |
| Seznam použité literatury .....                                         | 54 |
| Přílohy .....                                                           | 58 |

# 1 Úvod

Kunratický potok pramení jižně za hranicemi Prahy a do Vltavy se vlévá v Praze – Braníku. Ve své střední části protéká přírodní památkou Údolí Kunratického potoka. Sám potok nejeví na první pohled žádné známky znečištění, rybníky které cestou napájí už ano. Rybník Šeberák, na němž je provozováno koupaliště se každý rok potýká s komplikacemi kvůli nevhodnosti vody ke koupání. Rybník Labuť podléhá v letních měsících eutrofizaci.

Z dosud provedených rozborů je známo, že je Kunratický potok dlouhodobě zatížen zvýšenými koncentracemi fosforu, vyššími hodnotami pH a vyššími hodnotami celkového organického uhlíku. Z charakteru ukazatelů, které nesplňují imisní limity přípustného znečištění povrchových vod dle nařízení vlády 61/2003 Sb., vyplývá, že jde hlavně o organické znečištění vody, zvýšené pH a nerozpuštěné látky.

Cílem této práce je zhodnocení celkového znečištění ve vybraných profilech Kunratického potoka. Pozornost je také věnována rybníku Šeberák a rybníku Labuť. Výsledky analýzy vzorků vody a sedimentů jsou vyhodnoceny podle platné legislativy v ČR. Výsledky jsou dále porovnány se staršími daty.

## 2 Teoretická část

### 2.1 Povodí Kunratického potoka

Kunratický potok je tok III. řádu, je dlouhý 11,8 km a plocha povodí činí 31,6 km<sup>2</sup>. Pramení nedaleko za jihovýchodní hranicí města Prahy u obce Vestec ve výšce 320 m n.m. a vlévá se do Vltavy zprava na 59,6 km v Braníku před Barrandovským mostem ve výšce 187 m n.m..

Kunratický potok má 5 přítoků, z nichž 2 jsou bezejmenné. Pravostrannými přítoky jsou Roztylský a Kateřinský potok, z levé strany se vlévá Vestecký potok. [1]

Tok na své trase protéká Přírodní památkou Hrnčířské louky, dále zástavbou v Kunraticích, Kunratickým lesem a Přírodní památkou Údolí kunratického potoka, částečně areálem Thomayerovy nemocnice a Institutu klinické a experimentální medicíny (IKEM) a dále přes Krč až k Braníku. Na horním úseku je koryto přírodní, jen místy jsou zpevněny břehy kamením, v dolním úseku je koryto technicky upraveno. Cestou napájí Kunratický potok řadu rybníků a rybníčků: Šeberák, Hornomlýnský, Dolnomlýnský, Pivovarský, Zámecký, Statkový, Olšanský, Labuť, Sýkorka, Ohrada a rybník v Thomayerově nemocnici. [2] Správci toku jsou: Povodí Vltavy s.p. na úseku 0,00 - 0,05 km a na úseku 0,05 – 11,00 km Odbor ochrany prostředí Magistrátu hlavního města Prahy. O údržbu toku se starají Lesy hlavního města Prahy.

Kunratický potok je z hlediska morfologie v dobrém stavu. Je to tok méně úživný [3] [4].

Hlavními negativními faktory, které ovlivňují kvalitu vody v toku, jsou výpustě kanalizačních systémů. Kunratický potok přijímá celkem 6 jednotných kanalizačních systémů a několik výstupů dešťové kanalizace. [5] Vliv na jakost vody mohou mít také ČOV Vestec a ČOV Thomayerovy nemocnice. V nedávné minulosti byly zaznamenány 2 zdroje úniku splaškové vody přímo do Kunratického potoka z rodinných domů v blízkosti rybníčku patřícího Thomayerově nemocnici.[6] Negativní vliv se projevuje i na rybím společenstvu. Jediným dlouhodobě prosperujícím druhem je hrouzek obecný, v hlubších částech toku přežívají okoun říční a plotice obecná. Tok není z hlediska sportovního rybolovu obhospodařován, některé rybníky ano. [2]

Orientační mapka je umístěna v příloze A.

### **2.1.1 Vestecký potok**

Vestecský potok pramení na východní straně obce Vestec. Přes retenční rybník směřuje na území hlavního města Prahy, do Olšanského rybníka a na území Kunratic. Vestecský potok je ze všech vodotečí na území městské části Praha – Kunratic nejvodnatější, dlouhý je 3,5 km. [4]

V obci Vestec jsou dvě čistírny odpadních vod, jedna obecní a druhá společnosti SAFINA a.s.. Obecní čistírna je nyní modernizována, jelikož již nevyhovuje z důvodů kapacity. V obci se totiž staví nové výzkumné centrum BIOCEV a jeho provozem se zvýší nárok na čistírnu o 1700 EO [7]. Do Vestecského i Kunratického potoka jsou zaústěny jak dešťové vody ze zpevněných ploch a komunikací, tak v některých případech i odpadní vody vytékající z čističek odpadních vod (Vestecský potok). Mezi významné znečišťovatele patří i někteří obyvatelé, kteří nelegálně vypouštějí osobní kanalizace a splaškové vody. [4]

### **2.1.2 Rybník Šeberák**

Největším rybníkem, který napájí Kunratický potok je rybník Šeberák. Nachází se na klidném místě na okraji městské části Praha 4 – Kunratic. Je velký 0,1 km<sup>2</sup> a hluboký kolem 2 m. Šeberák je z jedné strany obklopen mírným svahem a listnatými stromy, na straně druhé travnatou plochou, na níž je vybudován uzavřený areál koupaliště s restaurací, půjčovnou lodiček atd.. Rybník je v soukromém vlastnictví firmy Ogopogo a.s. (Zdeněk Syrovátko) a provozovatelem koupaliště je Pohoda Team a.s.. Koupání zde bylo zahájeno již v roce 1933.[8] Kvalita vody zde není ovšem vůbec dobrá, každoročně se zde objevují přemnožené řasy a sinice. I na první pohled je rybník hodně zelený. V roce 2013 nebyla voda v rybníku ani jednou hodnocena jako voda vhodná ke koupání, dokonce začátkem srpna byla voda koupání nebezpečná. [9]

V březnu 2014 byl rybník Šeberák vypuštěn a vyloven. V dubnu opět hladina vody v rybníce stoupla, téměř 1 metry pod původní úroveň. Načež od května je rybník definitivně skoro celý vypuštěn. Podle majitele zde bude probíhat tzv. letnění a následně i zimění, což je způsob regenerace dna rybníka, při kterém se nechá rybník samovolně vysychat. [8]

### **2.1.3 Přírodní památka Hrnčířské louky**

Přírodní památka Hrnčířské louky se nachází na jihovýchodním okraji Prahy, mezi Šeberovem a Hrnčíří. Jedná se o mozaiku vlhkých luk a soustavu rybníků v nadmořské výšce okolo 300 m

n.m. [10] o celkové rozloze 29,5 ha. Přírodní památka byla vyhlášena roku 1988. Celé území se nachází v relativně dost zvodnělé oblasti, díky čemuž se na řadě míst drží hladina spodní vody velmi vysoko. Proto se zde nachází celá škála luk, od poměrně suchých až po louky, kde se minimálně třetinu roku drží nízký vodní sloupec. Stupeň zamokření je jedním z faktorů, které ovlivňují, jaké rostliny na daném místě budou růst. Dalším omezením pro jednotlivé druhy je množství a termín seči během roku. Prakticky na každé zdejší louce je možné najít rozdílné druhové složení rostlin. Rostou zde například: bezkolonec modrý, úpolín nejvyšší, svízel severní, kosatec sibiřský, žluťucha lesklá, nízké ostřice. Na jednotlivé druhy rostlin jsou svým vývojem vázány různé druhy bezobratlých. Hrnčířské louky představují také významnou ptačí oblast, navíc slouží jako migrační biokoridor a biocentrum. Z fauny zde můžeme spatřit bekasinu otavní, jespáka bojovného, motáka pochopa, kuňku obecnou, rosničku zelenou, čolka obecného a další.[11]

#### **2.1.4 Přírodní památka Údolí Kunratického potoka**

Přírodní památka Údolí Kunratického potoka se nachází v Kunraticko – Michelském lese, lidově zvaném Krčský les. Lemuje potok od Mlýnského rybníka až k rybníku Labuť, zahrnuje údolní nivu a přilehlé pravostranné svahy, část je součástí Thomayerovy nemocnice. Chráněné území se nachází v nadmořské výšce 220 – 300 m n. m. a jeho rozloha činí 151,99 ha. Přírodní památka Údolí Kunratického potoka byla vyhlášena roku 1988. Spolu s celým Kunratickým lesem je obhospodařována podle zásad trvale udržitelného hospodaření v lesích v lesích hl.m. Prahy. Od roku 2007 je držitelem mezinárodního ekologicky velmi přísného lesnického certifikátu Forest Stewardship Council, který směřuje hospodaření v lesích k dosažení přírodě blízkých lesních porostů. Hlavním důvodem ochrany tohoto území je soubor polopřirozených lesních společenstev a pozůstatků xerothermních stepí v morfoloicky členitém údolí okolí Kunratického potoka. Geologicky je památka velmi cenná díky dobře přístupnému profilu celým spodním ordovikem. Podloží je tvořeno břidlicemi a prachovci štěchovické skupiny svrchního proteozoika, tyto horniny jsou v některých místech překryty hlinitými a písčítými sedimenty. Kunratický potok je lemován porosty střemchové jaseniny a ptačincové olšiny. Kolem potoka je květena nejpestřejší. Dále zde rostou duby, javory, habry i zplanělý tis červený. Mimořádně zajímavá je navíc reliktní spráše nad hospodou Na zelené louce, zde se vyskytují mimo jiných bylin vzácná třemdava bílá a bělozářka liliovitá. Mezi další vzácné druhy flóry zde rostoucí patří: bělozářka větevnatá, koniklec luční český, kruštík širokolistý pravý, křivatec český pravý a

třemdava bílá.

Z fauny se v Přírodní památce Kunratického potoka vyskytuje mnoho druhů brouků a motýlů. Mezi brouky v nivě jsou nejvzácnější 3 druhy nosatce (*Acalles echinatus*, *Notaris maerkeli*, *Orthocerus crassicornis*). Z ptáků se zde žijí strakapoud prostřední, datel černý, žluna šedá a jiní. Savce zde zastupují hrabošík podzemní, veverka obecná, jezevec lesní a v největší míře mufloni. Ti sem byli vysazeni uměle v 70. letech 20. století, dnes je již stádo natolik velké, že značně poškozují bylinná společenstva a napomáhá erozi. Podobný problém zde způsobují i lidé a volně pobíhající psi. Přírodní památka Kunratického potoka je totiž velmi turisticky využívána, ať už jen kvůli tomu, že v rušném městě poskytuje klid a možnost odpočinku v malebné přírodě nebo pro svůj historický původ úzce spjatý s Václavem IV. a dnes již zříceninou jeho gotického Nového hradu. Vede tudy i naučná stezka s lesnickou tematikou a jednou ročně i běžecký přespolní závod Velká kunratická. Dalším problémem jsou bezdomovci, kteří mají přístřešky obklopené odpadky ve svahu nad Thomayerovou nemocnicí. Vlivem zástavby, která se nachází v okolí, je zde problém i s imisemi.

Přírodní památku Údolí Kunratického potoka prolýná Kunratický les o rozloze 284 ha.

[10][11][12]

#### **2.1.4 Rybník Labuť**

Rybník Labuť je boční obtékaná nádrž napájená z Kunratického potoka, nachází se v Krči těsně pod ČOV Thomayerovy fakultní nemocnice. Rybník byl vybudován roku 1870 a roku 1960 byl rekonstruován. V letech 2008 – 2009 proběhla celková revitalizace rybníka, při které bylo ze dna odtěženo 3000 m<sup>3</sup> sedimentu. Nyní má rybník objem 22 780 m<sup>3</sup> a plocha hladiny činí 11 829 m<sup>2</sup>. Rybník vlastní Hlavní město Praha a správu zajišťují Lesy hl. města Prahy. Z přírodního hlediska je rybník Labuť ekologicky podprůměrnou vodní plochou, ze všech čtyř stran zastíněn olšemi a má minimální litorální pásmo. Břehy jsou devastovány velkým množstvím kachen, krom kterých se zde nevyskytují žádné význačné živočichové ani rostliny. Hlavním problémem rybníka je, že v letních měsících podléhá eutrofizaci a zarůstá okřehkem, který vytváří na hladině souvislou zelenou vrstvu. Avšak rybník plní funkci požární nádrže a je také využíván k chovu ryb jako sportovní rybářský revír č. 401 018 VLTAVA 6 podrevír č. 3 - rybník Labuť, obhospodařovaný Českým rybářským svazem. [11]

## **2.2 Sledované ukazatele kvality vody**

Sledovanými ukazateli jsou organoleptické vlastnosti vody, které jsou zjišťovány přímo v terénu pouze za využití lidských smyslů, jedná se o barvu, průhlednost, zápach. Dále se sledují fyzikálně– chemické ukazatele kvality vody (viz níže). Podstatou hodnocení jakosti vody na základě jejích fyzikálně – chemických vlastností je stanovení míry obsahu vybraných látek ve vzorku vody. Rozsah sledovaných látek odpovídá rozsahu znečišťujících látek, jež lze v toku očekávat. [13]

### **2.2.1 Teplota vody**

Teplota je jedním z významných ukazatelů jakosti a vlastností vody. Teplota v povrchových vodách ovlivňuje zejména rozpustnost kyslíku, rychlost biochemických pochodů a tím i celý proces samočištění. Obsah rozpuštěného kyslíku ve vodě je nepřímo úměrný teplotě vody v toku.[13] [14]. U povrchových vod se teplota značně mění v průběhu ročních období i během dne. Nejnižší teplota vody bývá u nás v lednu a únoru, nejvyšší v červnu a červenci, v tocích pod nádržemi až v srpnu. Denní teploty se v průběhu roku pohybují od 0 do 34°C. Denní teplotní změny jsou u malých vodních toků 3-6°C, u větších řek kolem 1°C. Roční průběh teploty v tocích se mírně zpožďuje za změnou teploty vzduchu. Maximální denní teplota v celoročním průměru nastává mezi 14 – 17 hodinou, v zimě dříve a v létě později. U malých a mělkých toků se v zimě vytváří ledová pokrývka, která způsobuje změnu světelného režimu a zabraňuje výměně plynů. Tvoření ledu a zamrzání koryta do dna zvyšují negativní účinek na organismy toku. Již při teplotách pod 5°C probíhají biochemické procesy velmi pomalu.[15] S teplotou souvisí pojem tepelné znečištění vod, kdy jsou vypouštěny oteplené (odpadní) vody do vod povrchových. Při vypouštění odpadních vod do vod povrchových teplota v povrchových vodách nesmí překročit 25°C. [14]

### **2.2.2 Hodnota pH**

Hodnota pH je definována jako záporný dekadický logaritmus aktivity vodíkových iontů.[16] V přírodních vodách se hodnota pH pohybuje v rozmezí 4,5 - 9,5 a je obvykle dána uhličitánovou rovnováhou. Pokles pH pod 4,5 značí přítomnost anorganických a organických kyselin, vyšší hodnota pH než 8,3 je způsobena uhličitany a při hodnotě pH nad 10 se již na pH významně podílejí i ionty OH<sup>-</sup>. Hodnota pH významně ovlivňuje chemické a biochemické

procesy ve vodách a má vliv na oživení toku. [15]

Podle imisních limitů nařízení vlády 82/1999 nesmí u vodárenských toků překročit pH pásmo hodnot 6 – 8, u ostatních toků potom 6 – 9. Některé biologické procesy přírodních vod mohou ovlivnit pH, tak např. fotosyntéza, denitrifikace a desulfatace způsobují zvýšení pH a naopak respirace, nitrifikace, oxidace síry a methanizace vedou ke snížení pH. [13]

### **2.2.3 Elektrolytická konduktivita**

Elektrolytická konduktivita neboli měrná vodivost je definována jako převrácená hodnota elektrického odporu roztoku, mezi dvěma vloženými platinovými elektrodami.[16] Je to míra koncentrace ionizovatelných anorganických a organických součástí vody, tedy iontů. Její jednotkou je Siemens na metr (S/m) v hydrochemii jsou hodnoty konduktivity malé, proto se obvykle používá spíše jednotek menších. Konduktivita závisí na koncentraci iontů, jejich nábojovém čísle, pohyblivosti a teplotě. Měří se při konstantní teplotě 25°C. Vzrůst, nebo pokles teploty o 1°C vyvolá změnu konduktivity nejméně o 2%. [14] Hodnoty konduktivity v toku výrazně kolísají v závislosti na úrovni antropogenní zátěže. Míru přítomnosti kationtů a aniontů ve vodě zvyšuje výskyt znečišťujících látek v toku. Vysoké hodnoty konduktivity tedy značí přítomnost antropogenní zátěže, ukazatel však neumožňuje vyhodnotit charakter znečištění. Na úroveň konduktivity má vliv aktuální vodnost toku, dochází k ředění. [13]

### **2.2.4 Neutralizační kapacita**

Neutralizační kapacita je schopnost vody vázat vodíkové, nebo hydroxidové ionty. Je významnou obecnou vlastností všech vod a je způsobena různými protolytickými systémy. U přírodních vod zpravidla převažuje uhličitanový systém. Neutralizační kapacitou se rozumí látkové množství silné jednosytné kyseliny, nebo silné jednosytné zásady v mmol., které spotřebuje 1 litr vody k dosažení určité hodnoty pH. Rozeznává se proto kyselinová neutralizační kapacita - KNK a zásadová neutralizační kapacita – ZNK. Pro přírodní a užitkové vody se pracuje zpravidla s hodnotami pH bodů ekvivalence 4,5 (KNK<sub>4,5</sub> – celková alkalita) a 8,3 (ZNK<sub>8,3</sub> – celková acidita), které odpovídají průměrné koncentraci veškerého oxidu uhličitého v těchto typech vod. [14]

### 2.2.5 Vápník a hořčík

V povrchových vodách se převážně vyskytují ve formě jednoduchých iontů  $\text{Ca}^{2+}$  a  $\text{Mg}^{2+}$ . Spolu se sodíkem a draslíkem patří mezi čtyři základní kationty přírodních vod. Zastoupení vápníku je obvykle větší než hořčíku. V povrchových vodách se koncentrace vápníku pohybuje v řádu desítek až stovek a koncentrace hořčíku v řádu jednotek až desítek.[16] Do vod se přirozeně dostávají rozkladem hlinitokřemičitanů vápenatých a hořečnatých a rozpouštěním minerálů. Antropogenními zdroji mohou být některé průmyslové odpadní vody. Ve spojitosti s vápníkem a hořčíkem se často hovoří o tzv. „tvrdosti vody“. Od tohoto názvu se však v poslední době upouští, protože pojmem „tvrdost vody“ jsou vápníku i hořčíku přisouzeny stejné vlastnosti, avšak pozitivní či negativní vlivy „tvrdosti vody“ nejsou ve většině případů ve vztahu k celkové koncentraci Ca a Mg, ale ve vztahu ke koncentraci jen jednoho z nich. Větší význam než celková koncentrace Ca a Mg má v některých případech spíše jejich poměrné zastoupení. Zvýšená koncentrace vápníku a hořčíku v přírodních vodách nemá přílišný význam. [14]

### 2.2.6 Rozpuštěný kyslík

Koncentrace rozpuštěného kyslíku ve vodě je velmi důležitým indikátorem celkové čistoty vody v toku. Přítomnost či nepřítomnost kyslíku indikuje stav jakosti vod a rozhoduje o tom, zda ve vodě budou probíhat aerobní či anaerobní pochody. Anaerobní pochody jsou ve vodách nežádoucí, oproti tomu aerobní pochody jsou velmi důležité především při procesu samočištění povrchových vod. Kyslík je velmi důležitý pro život vodních organismů. Na jeho obsahu závisí život ryb a vodních organismů. Jako kritická mez pro většinu druhů ryb je považována hranice 3 – 4 mg/l, pro citlivější druhy (lososovité) 6mg/l.[13] Kyslík se do vody dostává difúzí z atmosféry a při fotosyntetické asimilaci vodních rostlin a řas. Množství adsorbovaného kyslíku z ovzduší přímou difúzí závisí nejen na teplotě, koncentraci rozpuštěných látek a atmosférickém tlaku, ale také na pohybu a turbulenci povrchových vrstev vody vyvolaných větrem. Kyslík je spotřebováván bakteriemi na rozklad organického materiálu, na rozklad organického a amoniakálního dusíku na nitrátový a dusitanový dusík. Dále při respiraci vodních rostlin a živočichů, při biochemické oxidaci horních vrstev sedimentů a při oxidaci produktů anaerobního rozkladu spodních vrstev sedimentů. Koncentrace kyslíku závisí na organickém znečištění vody, protože biochemickými rozkladnými procesy se kyslík z vody vyčerpává. Pokles koncentrace kyslíku ve vodách je jedním z prvních příznaků organického znečištění povrchových vod. Nasycení povrchových vod kyslíkem se pohybuje mezi 85% až 95%. Obsah rozpuštěného

kyslíku ve vodě vykazuje v dlouhodobém pohledu nepřímou závislost na teplotě vody. Kolísání je patrné jak v dlouhodobém, tak i v denním režimu. [14]

### **2.2.7 Organické látky**

Organické látky se do vod dostávají přirozeně hlavně výluhem z půd a sedimentů, činností organismů, tlením rostlinných zbytků a rozkladem odumřelých organismů. Většinou jde o látky biogenního původu, především o huminové látky. Organické látky antropogenního původu pocházejí hlavně ze splaškových a průmyslových odpadních vod, z odpadů ze zemědělství a ze skládek. Z hlediska odbouratelnosti se látky dělí do dvou skupin a to na látky, které podléhají biochemickému rozkladu a na látky rezistentní.

Organické látky významně ovlivňují chemické a biologické vlastnosti vod. Řada organických látek má toxické, karcinogenní, mutagenní, alergenní a teratogenní účinky. Mohou ovlivňovat barvu vody (huminové látky, barviva), pach, chuť vody (uhlovodíky, chlorfenoly, látky produkované řasami a sinicemi) a pěnivost vody (tenzidy, ligninosulfonany). Dále mohou vytvářet povrchový film na hladině a tím zhoršovat přístup kyslíku do vody (ropa, oleje). Ovlivňují desorpci toxických kovů ze sedimentů.

Organických látek je široké spektrum a jejich zjišťování je obtížné, proto pokud není nutná podrobná identifikace jednotlivých organických látek, zjišťuje se jejich obsah souhrnně. K tomu slouží nepřímé stanovení, které je založeno na chemické nebo biochemické oxidaci těchto látek. [14]

#### **Chemická spotřeba kyslíku (CHSK)**

Chemická spotřeba kyslíku představuje komplexní ukazatel veškerého organického znečištění, odráží hlavně průmyslové znečištění. CHSK je definována jako množství kyslíku, které se za určitých podmínek spotřebuje na oxidaci ve vodě přítomných organických látek. [16] Výsledky se přepočítávají na kyslíkové ekvivalenty a udávají se v jednotkách mg/l. Jako oxidační činidlo se v současné době používá dichroman draselný a výjimečně manganistan draselný. [14]

#### **Biochemická spotřeba kyslíku (BSK)**

Biochemická spotřeba kyslíku je definována jako množství rozpuštěného kyslíku spotřebovaného aerobními mikroorganismy za stanovených podmínek při biochemické oxidaci organických látek ve vodě. BSK je mírou znečištění vody organickými látkami biologicky rozložitelnými na rozdíl od CHSK, která postihuje látky biologicky rozložitelné i nerozložitelné.

Rozložitelné znečištění představují splaškové vody, odpady ze zemědělství a některé průmyslové odpadní vody.[14]

BSK<sub>5</sub> je ukazatel udávající množství rozpuštěného kyslíku, spotřebovaného k biochemické oxidaci látek ve vodě za dobu 5 dní při teplotě 20°C. Výsledky se též přepočítávají na kyslíkové ekvivalenty a udávají se v jednotkách mg/l. [13]

## 2.2.8 Sloučeniny dusíku

Dusík je důležitým makrobiogenním prvkem. Ve vodách se vyskytuje anorganicky i organicky vázaný. Formy anorganického dusíku jsou amoniakální, dusitanový a dusičnanový. Přírodním zdrojem dusíku ve vodách je na dusík bohaté geologické podloží, vzdušný dusík, který je fixován některými prokaryoty a biologický rozklad organické hmoty.[17] Antropogenním zdrojem dusíku jsou hlavně atmosférické depozice, zvláště v oblastech se znečištěným ovzduším. Dalším zdrojem jsou odpady ze zemědělství a živočišné výroby, splachy ze zemědělské půdy hnojené dusíkatými hnojivy, splaškové odpadní vody a některé průmyslové odpadní vody. [18]

### Amoniakální dusík

V závislosti na teplotě a hodnotě pH je amoniakální dusík ve vodě zastoupen v disociované formě jako  $\text{NH}_4^+$  a nedisociované formě jako  $\text{NH}_3$  a  $\text{NH}_3\text{H}_2\text{O}$ , anebo v aminokomplexech. Zdrojem amoniakálního dusíku jsou převážně bodové zdroje znečištění, komunální i průmyslové. V povrchových vodách koncentrace amoniakálního dusíku většinou nepřesahuje hodnotu 1. Za aerobních podmínek je oxidován nitrifikačními bakteriemi na dusitany a dusičnany. Amoniakální dusík působí velmi toxicky na ryby a zooplankton. Toxicita je však značně ovlivněna hodnotou pH vody, protože toxický účinek má hlavně nedisociovaná molekula  $\text{NH}_3$ . [14]

### Dusitany

Dusitany jsou odvozeny od kyseliny dusité ( $\text{HNO}_2$ ) a ve vodách se vyskytují ve formě jednoduchého aniontu  $\text{N}^-$ . Jsou velmi nestálé, proto bývá jejich koncentrace dosti nízká, ale při nízké koncentraci mohou působit toxicky na ryby a jiné vodní organismy. Toxicita však značně závisí na celkovém složení vod. V aerobních podmínkách jsou nitrifikovány na dusičnany. [16]

### Dusičnany

Dusičnany jsou odvozeny od kyseliny dusičné ( $\text{HNO}_3$ ) a vznikají nitrifikací amoniaku. Za určitých podmínek podléhají chemické redukci na dusík a oxid dusný, ve výjimečných případech

vznikají dusitany a amoniakální dusík.[16] Hlavním zdrojem dusičnanového znečištění povrchových vod jsou plošné splachy ze zemědělsky využívaných ploch. V nízkých koncentracích jsou přítomny prakticky ve všech povrchových vodách. [13] Dusičnany jsou při vyšších koncentracích toxické pro vodní organismy. U ryb se však tato toxicita projevuje velmi slabě a až při vysokých koncentracích v řádu desítek. [17]

### **2.2.9 Sloučeniny fosforu**

Fosfor se ve vodách dělí na rozpuštěný a nerozpuštěný a tyto formy se dále dělí na fosfor anorganický a organicky vázaný. Nejvíce se ve vodách vyskytuje ve formě fosforečnanů. Koncentrace fosforečnanů se v povrchových vodách pohybuje v setinách až desetínách. Přírodním zdrojem fosforu je rozpouštění a vyluhování některých půd, minerálů a zvětralých hornin. Přírodním zdrojem je také rozkládající se biomasa planktonu. [16] Antropogenním zdrojem jsou hlavně fosforečná hnojiva, používaná v zemědělství, živočišný odpad a splaškové odpadní vody, obsahující fosforečnany z různých prostředků používaných v domácnostech.[19]

Sloučeniny fosforu mají velký význam při přírodním koloběhu látek, kdy vyšší organismy anorganické formy přeměňují na formy organické, a když tyto organismy uhynou, fosforečnany se uvolní do prostředí. Fosfor ve vysoké koncentraci způsobuje eutrofizaci vod, která vede k masovému rozvoji řas. [14]

### **2.2.10 Chloridy**

Chloridy jsou nejčastějším zastoupením chloru ve vodách. Ve vodách jsou přítomny ve formě jednoduchého iontu. Koncentrace chloridů se v tocích obvykle pohybuje v rozsahu jednotek až desítek.[16] Chlor je obsažen v základních druzích hornin a půd. Jejich zvětráváním a vyluhováním se dostávají chloridy do vod. Hlavním antropogenním zdrojem jsou splaškové a některé průmyslové odpadní vody a v zimních měsících také splachy ze silnic.[14] Vysoké koncentrace chloridů jsou nebezpečné pro vodní organismy svou přímou a nepřímou toxicitou. Chloridy způsobují vyplavování některých kovů a vytváří s nimi komplexy. Chlor také může reagovat s řadou organických látek ve vodách a vzniklé chlorované organické látky jsou obvykle toxické, biologicky stabilní a ovlivňující sensorické vlastnosti vod. Velmi nebezpečný je aktivní chlor (formy chloru, které v kyselém prostředí oxidují jodidy na jod), který působí toxicky na vodní organismy včetně ryb. [20]

### **2.2.11 Železo**

Železo se ve vodách vyskytuje v rozpuštěné i nerozpuštěné formě a v oxidačních stupních II nebo III. Formu výskytu ovlivňuje hodnota pH, oxidačně redukční potenciál a komplexotvorné látky přítomné ve vodě. V bezkyslíkatém prostředí vod převládá  $\text{Fe}^{\text{II}}$ , naopak za přítomnosti rozpuštěného kyslíku, dominuje  $\text{Fe}^{\text{III}}$ . Železo v malých koncentracích je obvyklou součástí přírodních vod a v povrchových vodách se vyskytuje v řádu setin až desetin. Přírodním zdrojem železa ve vodách je rozpouštění železných rud a přírodních hlinitokřemičitanů. K antropogenním zdrojům železa patří některé průmyslové odpadní vody. Obsah železa asi nad 0,5 negativně ovlivňuje organoleptické vlastnosti vody. Již při nízkých koncentracích  $\text{Fe}^{\text{II}}$  ve vodě dochází k rozvoji železitých bakterií, při jejichž odumírání voda zapáchá. Vysoké koncentrace  $\text{Fe}^{\text{II}}$  mohou být nebezpečné pro ryby. [14]

### **2.2.12 Mangan**

Mangan se ve vodách vyskytuje v rozpuštěné i nerozpuštěné formě, organicky i anorganicky vázaný především v oxidačních číslech II, III a IV. Za nepřítomnosti rozpuštěného kyslíku se vyskytuje hlavně v oxidačním čísle II. K přírodním zdrojům manganu patří manganové rudy. Mangan může do vod přecházet také z půd, sedimentů a některých rostlin, hlavně z listů. Antropogenními zdroji jsou některé průmyslové vody. Mangan je esenciální prvek nezbytný pro rostliny a živočichy Jeho zvýšená koncentrace nemá žádné negativní účinky, kromě zhoršení organoleptických vlastností. Hydratované oxidy manganu barví přírodní vodu dohněda. [16]

## **2.3 Hodnocení kvality vody**

Kvalitou vody se obecně rozumí vyhodnocení souboru jejích vlastností a porovnání se stanovenými předpisy. Vlastnosti vody se však mění v závislosti na průběhu času prostoru a mnoha dalších faktorech. [13]

Ochrana vody je sektor nejkomplexnějšího pokrytí ekologických předpisů v Evropské unii. Základním legislativním předpisem vodního hospodářství EU je Rámcová směrnice o vodní politice 2000/60/ES. Vychází ze zásad trvale udržitelného rozvoje. Vysvětluje běžné přístupy a cíle pro management vody v členských státech EU. Cílem směrnice je komplexní ochrana kvality i kvantity vod, prevence zhoršování a dosažení alespoň „dobrého stavu“ vod a s nimi spojených ekosystémů. [21] Veškeré cíle a záměry rámcové směrnice 2000/60/ES shrnuje v ČR

zákon č. 254/2001 Sb. o vodách tzv. Vodní zákon. Dále je v ČR platný zákon č. 274/2001 Sb. o vodovodech a kanalizacích a mnoho dalších nařízení vlády, vyhlášek a norem. Pro tuto práci jsou důležité: Nařízení vlády č. 229/2007 Sb. a ČSN 75 7221 Jakost vod – Klasifikace jakosti povrchových vod.

### **2.3.1 ČSN 75 7221 Jakost vod – Klasifikace jakosti povrchových vod**

Kvalita povrchových vod je v České republice hodnocena podle technické normy ČSN 75 7221 Jakost vod – Klasifikace jakosti povrchových vod vydané v říjnu roku 1998. Tato norma zajišťuje porovnávání kvality tekoucích povrchových vod na různých místech v různém čase. Klasifikace je velmi blízká klasifikaci jakosti vod používané v členských státech Evropské unie. Tuto klasifikaci lze použít minimálně pro 11 hodnot získaných během jednoho roku. Jakost vody je vyhodnocována pro každý ukazatel kvality vody zvlášť.

Norma rozděluje povrchové vody dle jakosti do pěti tříd:

#### **Třída I – Neznečištěná voda**

Stav povrchové vody, který nebyl významně ovlivněn lidskou činností, při kterém ukazatele jakosti vody nepřesahují hodnoty odpovídající běžnému přirozenému prostředí v tocích.

#### **Třída II – Mírně znečištěná voda**

Stav povrchové vody, který byl ovlivněn lidskou činností tak, že ukazatele jakosti vody dosahují hodnot, které umožňují existenci bohatého, vyváženého a udržitelného ekosystému.

#### **Třída III – Znečištěná voda**

Stav povrchové vody, který byl ovlivněn lidskou činností tak, že ukazatele jakosti vody dosahují hodnot, které nemusí vytvořit podmínky pro existenci bohatého, vyváženého a udržitelného ekosystému.

#### **Třída IV – Silně znečištěná voda**

Stav povrchové vody, který byl ovlivněn lidskou činností tak, že ukazatele jakosti vody dosahují hodnot, které vytvářejí podmínky umožňující existenci pouze nevyváženého ekosystému.

#### **Třída V – Velmi silně znečištěná voda**

Stav povrchové vody, který byl ovlivněn lidskou činností tak, že ukazatele jakosti vody dosahují hodnot, které vytvářejí podmínky, umožňující existenci pouze silně nevyváženého ekosystému.

[22]

### **2.3.2 Nařízení vlády č. 229/2007 Sb.**

Nařízení vlády č. 229/2007 Sb. je novelou 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. Nařízení č. 61/2003 Sb. je důležitým prováděcím předpisem zákona č. 254/2001 Sb., o vodách.

Novelizované nařízení je pro hodnocení kvality povrchových vod velmi důležité, jelikož určuje imisní standardy přípustného znečištění, které by neměly být překročeny. [23]

## **2.4 Sedimenty**

Sedimenty jsou nedílnou součástí sladkovodních ekosystémů, vod stojatých (jezerní, rybníční sedimenty) i tekoucích (sedimenty pramenů, potoků i řek). Sedimenty stojatých a tekoucích vod jsou souhrnně označovány jako dnové sedimenty. Dnové sedimenty jsou kaly, které se usadily na dně řek, jezer nebo nádrží. Sedimenty jsou tvořeny směsí splavených půdních částic zastoupených v různých zrnitostních frakcích, těžko rozložitelných organických zbytků, biologicky rozložitelných látek a vysrážených minerálních sloučenin [15]. Sedimenty lze definovat jako heterogenní polyfázový systém, který je utvářen anorganickou krystalickou a amorfni fází, organickou hmotou, vodou a plyny. Je to dynamický a otevřený systém, v němž dochází k výměně hmoty a energie, ustanovuje se krátkodobá rovnováha [24]. Sedimenty jsou tedy dynamickou, intergrální a esenciální složkou vod [25].

### **2.4.1 Vznik a původ sedimentů**

Dnové sedimenty vznikají prostou gravitační sedimentací erodovaných pevných částic, které jsou přirozeně unášeny vodou. Při poklesu rychlosti proudění, a to jak rozšířením profilu, poklesem spádu toku nebo zvětšení hloubky vodoteče, dochází k přirozenému usazování unášených částic [26]. Podle obecného popisu sedimentace se ke dnu usazují rychleji těžší částice než částice lehčí, které jsou unášeny na větší vzdálenost od svého zdroje a zůstávají déle suspendovány ve vodním sloupci. Za ideálního stavu, bez větších výkyvů vnějších podmínek zůstávají na povrchu jílové a koloidní částice, ve střední části písek, štěrk a kameny tvoří dno sedimentu [27]. Surový sediment vykazuje značný podíl zvodnění (až 80%), může obsahovat

různé látky a cizorodé předměty. Důvodem kumulace sedimentů a zanášení dna jsou nadále přetrvávající splachy zemědělské půdy z okolí rybníků, vodních děl a toků. Nevhodné hospodaření v povodí způsobuje nadměrnou erozi, pronikání a usazování látek v rybnících a tocích [26]. Vodní eroze je zcela přirozený jev, spočívá v narušování půdního profilu vodou, odnášení částic půdy a jejich následné sedimentace. Problémem je ale tzv. zrychlená eroze, ke které dochází v důsledku lidské činnosti, hlavně v zemědělství, kde splachy z polí mohou obsahovat zbytky látek z pesticidů a hnojiv, jenž by mohly kontaminovat vodní prostředí. [28] Sedimenty mohou být velmi nebezpečné, a to i v relativně málo znečištěných oblastech. V anaerobních sedimentech se díky chemickým a mikrobiálním reakcím hromadí polutanty, jejich koncentrace se neustále zvyšuje a sediment se tak stává chemickou časovanou bombou [29].

## **2.4.2 Rozdělení sediment**

Sedimenty lze klasifikovat podle několika parametrů. Klasifikace sedimentů byla několikrát obměněna, proto není úplně jednoznačná a u většiny autorů je jiná.

### **Klasifikace dle Petránka (1963):**

Klasické

Neklasické – chemické, biochemické, organogenní

### **Klasifikace dle Selleye (1976):**

Autochtonní – karbonáty, rezidua

Alochtonní – terigenní

### **Klasifikace dle Friedmana a Sanderse (1978):**

Intrabazinální – karbonáty

Extrabazinální – terigenní [30]

### **Klasifikace podle velikosti částic [31]:**

Jemný jíl < 0,06  $\mu\text{m}$

Střednozrný jíl 0,06 – 0,63  $\mu\text{m}$

Hrubý jíl 0,63 – 2  $\mu\text{m}$

Jemný silt 2 – 6,3  $\mu\text{m}$

Střednozrný silt 6,3 – 20  $\mu\text{m}$

Hrubozrný silt 20 – 63  $\mu\text{m}$

Písek > 63  $\mu\text{m}$

Kameny, štěrky, úlomky > 2  $\mu\text{m}$

### **Klasifikace podle původu [32]:**

Alogenní složky – Vznikají mimo říční sediment. Jedná se o jílové minerály, oxyhydroxidy, oxidy železa a manganu.

Endogenní (akvagenní) složky – Vznikají přímo v říční vodě. Dále je lze rozdělit na anorganické složky vzniklé chemickým srážením (karbonáty vápníku a hořčíku, sulfidy), anorganické složky, které byly součástí organismů (oxid křemičitý, uhličitán vápenatý) a na biogenní úlomky a látky vzniklé degradací mikroorganismů ( akvagenní fulvokyseliny, humnové kyseliny, polysacharidy).

Autigenní (diagenetické) složky – Vznikají sekundárně přímo v sedimentu po jeho uložení, ale ještě před jeho konsolidací. Dochází k přeměnám látek, reorganizaci v sedimentu a vzájemnému promíchávání komponent.

### **2.4.3 Kovy v sedimentech**

Kovy jsou přirozenou součástí životního prostředí, tedy i sedimentů. Pro hodnocení znečištění prostředí kovy nebo polokovy se kovy často rozdělují do samostatných skupin kovů zvaných těžké kovy nebo toxické kovy. Do těžkých kovů se řadí kovy, které mají objemovou hmotnost

větší než  $5 \text{ g/cm}^3$  Také se sem řadí kovy, jejichž soli se srážejí se sulfidem sodným za vzniku málo rozpustných sulfidů. Často se název těžké kovy, ne úplně správně, používá jako synonymum pro kovy toxické. [14] Těžké kovy uložené v sedimentech nejsou pro organismy dostupné, ale změnou pH, salinity, redoxního potenciálu, množství organických látek a hydrodynamických parametrů mohou způsobit uvolnění ze sedimentů do vodního prostředí, kde už jsou přístupné organismům. [33] Řada z nich je esenciální, ale již při mírně vyšších koncentracích mohou být toxické, hlavně Hg, Cd, Pb, As, akumulují se v organismu a mohou působit karcinogenně jako například Cd, As, Cr a Cr. Navíc se díky potravnímu řetězci mohou rozšířit až na vrchol ke člověku a do celého životního prostředí. [34] [35]

#### **2.4.3.1 Rtuť**

Rtuť patří mezi kovy přirozeně se vyskytující ve všech složkách životního prostředí. V přírodních povrchových a podpovrchových vodách se vyskytuje ve velmi malých množstvích. Výjimku může tvořit vyplavování do podzemních vod v oblastech nalezišť rumělky. Výskyt rtuti v povrchových vodách je tak zpravidla spojen s antropogenním znečištěním. Hlavními zdroji emisí rtuti jsou chemický a kovozpracující průmysl, elektrolýza a také zemědělství, neboť toxické vlastnosti rtuti bývají využívány v pesticidech [13].

Rtuť má výborné schopnosti kumulace v sedimentech, biomase rostlin a živočichů, akumulací koeficient je velmi vysoký až  $10^4$  [14]. Výskyt a transport rtuti a jejich sloučenin ve vodních ekosystémech je odlišný od jiných těžkých kovů v důsledku vysoké tenze par kovové rtuti a vysoké reaktivity iontů rtuti se sloučeninami obsahujícími koncové  $-SH$  a alkylové skupiny. Rtuť se ve vodách vyskytuje ve velkém množství chemických forem, které se liší chemickými, fyzikálními i toxikologickými vlastnostmi. Z organokovových sloučenin rtuti se v biologických materiálech nejčastěji nachází halogenidy methylrtuti, které mají výraznou tendenci se akumulovat v potravních řetězcích, zvláště ve vodních ekosystémech [36]. Methylační a transmethylační reakce probíhají ve větším rozsahu v sedimentech, kde je vysoká koncentrace bakterií a anaerobní podmínky [37]. Methylrtuť snadno proniká placentární i mozkovou bariérou a má negativní dopad na reprodukci a imunitu. U člověka jsou prokázány karcinogenní účinky. [38] Při vysokých dávkách je otrava rtutí smrtelná.

#### **2.4.3.2 Nikl**

Nikl jako toxická látka se vyskytuje ve všech typech biotického prostředí. V půdách má tendenci se vázat na jílové minerály a na organickou hmotu. [39] Ve vodách se vyskytuje ve formě

nikelnatých iontů. V alkalickém prostředí vytváří komplexní sloučeniny s anorganickými ligandy ( $\text{OH}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ). Kontaminace vodních ekosystémů nebývá příliš výrazná, jelikož nikl akumulují zejména řasy a bezobratlí. Převážná část je vázána na sedimenty. [14][40]

Nikl se v přírodě vyskytuje především ve formě sulfidů a křemičitanů. Antropogenním zdrojem niklu je spalování fosilních paliv, v menší míře pak těžba a zpracování niklu. Do půdy se může nikl dostat i po aplikaci kalů nebo odpadních vod z čistíren na pole [41].

Nikl je pro rostliny a některé živočichy esenciálním prvkem, avšak pro člověka je toxický. Vykazuje karcinogenní účinky a alergenní reakce[42].

#### **2.4.3.3 Měď**

Měď se v přírodě vyskytuje jen velmi málo v čisté formě, nejčastěji je obsažena v rudách (kuprit, malachit, azurit, chalkopyrit). V sedimentu se váže na jílové částice a na organické látky.

Přirozeným zdrojem mědi je zvětrávání a rozklad biomasy. Antropogenní znečištění pochází z odpadních vod po zpracování kovů, aplikace pesticidů, spalování fosilních paliv a atmosférické depozice [41].

Měď snadno vytváří komplexy, a proto jsou formy, které se vyskytují ve vodě poměrně rozmanité. Z rozpuštěných forem to jsou mědnaté kationty, hydrokomplexy a uhličitanové komplexy. Stejně tak jako v půdách, tak i ve vodách se navazují na organické ligandy, zejména huminové kyseliny a fulvokyseliny [14].

Měď je prvek esenciální, ale v nadměrném množství může působit toxicky, zvláště na vodní organismy. Akutní toxicitu způsobují zejména páry mědi nebo prašné aerosoly mědi obsahující. Ve vysokých dávkách měď způsobuje poškození jater a ledvin a anemii. Soli mědi působí dráždivě na kůži [41].

#### **2.4.3.4 Olovo**

Olovo je nejstarším známým těžkým kovem. Je přirozenou součástí zemské kůry. V přírodě je výskyt olova omezený, může být vázán na důlní vody. Klíčové jsou zdroje antropogenního znečištění. Mezi ně patří hlavně chemický průmysl, hutní průmysl a elektrotechnika. V minulosti byl významným zdrojem polygrafický průmysl a doprava, protože olovo se používalo jako antidetonační příměs do benzínu [14].

Nejčastěji se olovo vyskytuje ve formě olovnatých kationtů a jeho sloučeniny jsou většinou nerozpustné, přičemž ty organické jsou více nebezpečné než ty anorganické. [40].

Olovo má vysoký akumulární koeficient, hromadí se v sedimentech i v biomase. Jeho toxické působení má dopad zejména na organismy vázané na dno povrchových útvarů. Ryby po akutní intoxikaci uhynou udušením v důsledku poškození žaber. U člověka vede expozice olovem k poškození ledvin, jater, nervového systému, červených krvinek, cév a svalstva. Olovo je teratogenní a pravděpodobně karcinogenní [41].

#### **2.4.3.5 Hliník**

Hliník je třetí nejhojnější prvek zemské kůry. Je součástí mnoha minerálů, zejména hlinitokřemičitanů a břidlic, které jsou jeho přirozeným zdrojem ve vodách a půdách. Z antropogenních zdrojů to jsou odpadní vody z kovozpracujícího průmyslu a slitiny. Vlastnosti hliníku jsou silně závislé na pH. V neutrálním prostředí je nerozpustný, ve vodě se vyskytuje jako hydroxid hlinitý. Při zvyšování kyselosti se stává mobilnějším a více rozpustným. V kyselém vodním prostředí se vyskytuje jako hexaaquahlinitý kation, který tvoří různé hydroxokomplexy. Hliník má toxické účinky na živočichy, zvláště na ryby, člověka a také na rostliny [14][43].

#### **2.4.3.6 Chrom**

Chrom se v přírodě vyskytuje výhradně ve sloučeninách. Nejčastěji se vyskytuje v oxidačních stavech  $\text{Cr}^{3+}$  a  $\text{Cr}^{6+}$ , které se významně liší v biologických, geochemických i toxikologických vlastnostech [44]. Trojmocná forma chromu je biogenní. Šestimocná forma chromu je naproti tomu odpovědná za silně toxické účinky tohoto kovu. Navíc ovlivňuje barvu a chuť vody. Trojmocný chrom má tendenci vázat se na hydratované oxidy Fe, Mn a Al, a proto je součástí dnových sedimentů [40].

Chrom se využívá zejména v metalurgickém a chemickém průmyslu, k výrobě pigmentů a ke galvanické povrchové úpravě kovů. Do ovzduší se chrom dostává spalováním fosilních paliv nebo ze spaloven komunálního odpadu či z cementáren. Takto emitovaný chrom se pak atmosférickou depozicí dostává do dalších složek životního prostředí. Do půdy a vody se také může dostat výluhem ze skládek.

Chromový kation je vysoce toxický pro vodní organismy a může vyvolat dlouhodobé nepříznivé účinky ve vodním prostředí. Negativně působí na kůži, má karcinogenní a genotoxické účinky [41].

#### **2.4.3.7 Železo**

Železo je hojně zastoupeno v zemské kůře, v minerálech. Antropogenním zdrojem do životního prostředí je zpracování železa a korozivní materiály [45].

Železo nabývá dvou oxidačních stavů  $\text{Fe}^{3+}$  a  $\text{Fe}^{2+}$ , tyto stavy se od sebe navzájem liší ve vlastnostech, ale také v závislosti na podmínkách, jeden v druhý snadno přecházejí. To je dáno hodnotou pH.  $\text{Fe}^{3+}$  působí jako oxidační činidlo, zatímco  $\text{Fe}^{2+}$  je redukčním činidlem. Rozdíly jsou i v rozpustnosti. Železnaté soli jsou vysoce rozpustné, železité soli postupně s rostoucím pH hydrolyzují [43]. Ve vodách je forma železa také závislá na hodnotě pH, oxidačně redukčním potenciálu a koncentraci komplexotvorných látek. V bezkyslíkatém prostředí se vyskytují železnaté kationty, zatímco ve vodách obsahujících dostatek kyslíku se vyskytují stabilní železité kationty [14].

V rámci důležitosti tohoto prvku pro živé organismy se jeho zastoupení pohybuje mezi mikro a makro polutanty [45].

#### **2.4.3.8 Mangan**

Mangan se v geochemických procesech často nachází v blízkosti železa. Oxidy manganu a železa jsou na zemském povrchu poměrně hojně zastoupeny. Nejvíce stabilním oxidačním číslem je  $\text{Mn}^{2+}$  [43][45]. Přírodními zdroji manganu ve vodách je splach z polí, uvolňování ze sedimentů nebo v menší míře výluh z listů rostlin. Antropogenními zdroji manganu jsou odpadní vody ze zpracování kovů či z průmyslu, kde se manganistan draselný využívá jako oxidační činidlo.

Ve vodách se mangan vyskytuje jak rozpuštěný, tak nerozpuštěný v oxidačních číslech  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{3+}$ ,  $\text{Mn}^{4+}$ . Za nepřístupu kyslíku je nejstabilnější dvojmocná forma. Ve vodách obsahujících kyslík je dvojmocná forma nestabilní, podléhá oxidaci na trojmocnou a čtyřmocnou formu. Mangan podléhá snáze redukci a naopak je stabilnější vůči oxidaci [14]. Mangan je esenciální pro živé organismy.

#### **2.4.3.9 Zinek**

Zinek je přirozenou součástí půd, hornin i sedimentů. Jeho požadovaná koncentrace je asi 80 mg/kg. Do životního prostředí se zinek uvolňuje spalováním fosilních paliv, při těžbě a zpracování zinkových rud a z odpadních vod. Zinek nachází uplatnění zejména jako ochranný

protikorozi materiál. Další upotřebení nalézá při výrobě motorových karburátorů, slitin a barev. Je součástí fungicidů a hnojiv [41].

Ve vodách se zinek nachází buď jako volný iont  $Zn^{2+}$  nebo ve formě komplexů, které se tvoří na základě přítomných ligandů [14].

Zinek je pro vodní organismy toxický, například ovlivňuje morfologii žaber u ryb. Pro člověka ale nepředstavuje velké riziko, naopak nízká koncentrace tohoto prvku je pro život nezbytná [40].

#### **2.4.3.10 Kadmium**

Kadmium se v přírodě vyskytuje společně se zinkem a olovem a dále v rudách obsahujících sulfidy těchto kovů. V převážné většině je však výskyt kadmia v povrchových i podzemních vodách spojen s antropogenním znečištěním. Jedním z hlavních zdrojů je chemický a polygrafický průmysl a úpravný kovů. Kadmium se rovněž může vyluhovat z plastů. Kadmium se ve velké míře uvolňuje do atmosféry při spalování fosilních paliv, nekvalitního uhlí, plastů, odpadů [13]. Kadmium emitované do ovzduší se hromadí v půdě a ve vodě. Ve vodním prostředí se inkorporuje v sedimentech, nejsilněji se váže na částice jílu nebo prachu. Koncentrace kadmia v sedimentech dna je často více než desetkrát vyšší než ve vodě.

Kadmium zvyrazňuje toxicitu dalších kovů, například Zn a Cu. Negativně působí na samočisticí schopnost vody [41]. Narušuje metabolismus vápníku, což se projevuje frakturami a kostními deformacemi. Karcinogenní projevy intoxikace kadmiem postihují trávicí ústrojí, ledviny, játra i plíce. Pozorovány byly rovněž chromozomové aberace a anomálie. Často je tento kov zodpovědný za neplodnost [42].

## 3 Praktická část

### 3.1 Analýza vody

#### 3.1.1 Odběr vzorků

Odběry vzorků vody byly prováděny každý měsíc po dobu jednoho roku, tedy od července 2013 do června 2014, na 6 vybraných profilech v povodí Kunratického potoka.

1. **Šeberák** – říční kilometr 10,4

Vzorky byly odebírány přímo z rybníku Šeberák, kousek od autobusové zastávky, tedy na protějším břehu než je areál koupaliště.

2. **U Krále Václava IV.** – říční kilometr 6,7

Toto odběrové místo se nachází již v PP Údolí Kunratického potoka, nedaleko od místní hájovny. Voda byla odebírána z levého břehu mezi dvěma vzrostlými duby v místě, kde koryto tvoří mírnou prohlubeň.

3. **Na tý louce zelený – nad mostkem** – říční kilometr 5,55

4. **Na tý louce zelený – pod mostkem** – říční kilometr 5,6

Oba profily se také nachází v PP Údolí Kunratického potoka. Mezi nimi vyúsťuje do Kunratického potoka dešťová usazovací nádrž IKEM. Tok nad mostem je zdánlivě klidnější, koryto je zde přírodně bahnitě, pod mostkem je koryto dna zdrsněno kameny a břehy jsou zde vysoké, zpevněné kamením. Vzorky byly na obou místech nabírány z pravého břehu.

5. **U Labutě – nad ČOV** - říční kilometr 4,35

6. **U Labutě – pod ČOV** – říční kilometr 4,2

Tato odběrová místa jsou nazvána podle rybníka Labutě, u který se nachází napravo od potoka. Na levém břehu stojí ČOV Thomayerovy nemocnice. Koryto na ČOV je široké a velmi mělké s bahnitým dnem. Dále už je koryto hlubší a tok vytváří meandry, břehy jsou vysoké. Voda byla odebírána opět z pravého břehu.

Na každém profilu byla odebrána jedna PET-lahev o objemu cca 1,5 litru a 2 až 3 kyslíkové lahve, v závislosti na teplotě, zbarvení vody a zkušenostech z předešlých odběrů. Dále byla na každém z profilů změřena teplota vody a také zaznamenány případné odchylky od normálu nebo výkyvy počasí. Na 3 třech úsecích - U Krále Václava IV., Na tý louce zelený – nad mostkem, U

Labutě – nad ČOV byl experimentálně měřen průtok. V měsících květnu a červnu 2014 nebyla analyzována voda z prvního profilu, protože rybník Šeberák byl vypuštěn.

Přehledová mapka odběrových profilů je umístěna v příloze B.

### **3.1.2 Analýza v laboratoři**

#### **3.1.2.1 pH**

Stanovení pH bylo provedeno potenciometricky. K analýze byl použit pH – metr s jedinou kombinovanou elektrodou. (per – HQ 30 značky HACH) [46]

#### **3.1.2.2 Elektrolytická konduktivita**

Elektrolytická konduktivita neboli měrná vodivost byla stanovena pomocí konduktometru, typu GRYF 107 L vždy nastaveném na aktuální teplotu vzorku.[47]

#### **3.1.2.3 Neutralizační kapacita**

**Celková acidita** - stanovení ZNK<sub>8,3</sub>

Pro zjištění celkové acidity bylo odměřeno 100 ml vzorku do titrační baňky, přidáno 3 – 5 kapek fenolftaleinu a následovala titrace 0,1 M hydroxidem sodným do slabě růžového zbarvení. [48]

**Celková alkalita** - stanovení KNK<sub>4,5</sub>

Celková alkalita byla stanovena ze 100 ml vzorku po přidání 3 kapek směsného indikátoru a následné titraci 0,1 M kyselinou chlorovodíkovou z modrého do cibulovitého zbarvení. [49]

#### **3.1.2.4 Tvrdost vody**

Pro zjištění tvrdosti vody bylo použito 100 ml vzorku z předešlého stanovení celkové alkality. Přidáno 5 ml tlumivého roztoku o pH 10. Dále bylo přisypáno trochu indikátoru eriochrom černě T, který zbarvil analyzovanou vodu vínově červeně. Potom byl roztok titrován 0,05M chelatonem 3 (disodná sůl ethylendiamintetraoctové kyseliny) až do jasně modrého zbarvení. [50]

### **3.1.2.5 Vápník a hořčík**

#### **Vápník**

Chelatometrické stanovení vápníku bylo provedeno tak, že ke 100ml vzorku v titrační baňce bylo přidáno 2 ml 1M hydroxidu sodného. Pak bylo přisypáno trochu indikátoru murexidu a roztok byl titrován chelatonem 3 z růžového do jasně fialového zbarvení. [51]

#### **Hořčík**

Množství hořčíku v mg/l ve vzorku z výpočtu bylo zjištěno z rozdílu spotřeb odměrného roztoku 0,05M chelatonu 3 při stanovení tvrdosti vody a vápníku.

### **3.1.2.6 Organické látky**

#### **Chemická spotřeba kyslíku – stanovení manganistanem draselným podle Kubela**

Pro analýzu CHSK bylo ke vzorku vody přidáno 5 ml kyseliny sírové zředěné v poměru 1:2 a 20 ml odměrného roztoku manganistanu draselného. Vše bylo vařeno přesně 10 minut, poté bylo ještě k horkému roztoku přikapáno 20 ml standardního 0,01 M roztoku kyseliny šťavelové. Směs se z původního růžového zbarvení odbarvila. Následně byla provedena retitraci 0,01M manganistanem draselným, dokud první kapka nezbarvila roztok do světle růžova. [52]

#### **Biologická spotřeba rozpuštěného kyslíku**

Ke stanovení rozpuštěného kyslíku je zapotřebí vzorků odebraných do kyslíkových lahví. Ihned po přinesení vzorků do laboratoře byla jednu řadu vzorků otočena dnem vzhůru na ták naplněný vodou a uložena do skříně, aby byly v temnu. Tyto vzorky byly zanalyzovány po 5 dnech – BSK<sub>5</sub>. Druhá řada byla zanalyzována okamžitě – BSK<sub>0</sub>. Nakonec po výpočtu a odečtení BSK<sub>5</sub> od BSK<sub>0</sub> bylo získáno výsledné množství rozpuštěného kyslíku ve vzorku v mg/l.

Postup analýzy BSK<sub>0</sub> i BSK<sub>5</sub> je stejný, nejprve se provede fixace vzorku a po 12 – 24 hodinách zpracování vzorku.

Fixace vzorku byla provedena přidáním 2 ml srážecího roztoku I (síran manganatý) ode dna k hrdlu kyslíkové láhve a 2 ml srážecího roztoku II (hydroxid draselný a nitrid sodný) těsně pod hladinu vzorku. Láhev byla uzavřena a pečlivě promíchána, vznikla tak světle hnědá sraženina hydroxidu manganitého. Po usazení sraženiny, cca po 22 hodinách, byla pryžovou hadičkou odsáta zhruba jedna třetina roztoku nad sraženinou. Dále bylo přidáno 5 ml kyseliny sírové zředěné v poměru 1:4 a 2 ml jodidu draselného. Uzavřená láhev byla ponechána přesně 5 minut v temnu. Vyloučený jód byl titrován odměrným roztokem sirnatanu sodného z hnědého do světle

žlutého zbarvení. Po přidavku škrobového indikátoru byl roztok dotitrován až do odbarvení.

### **3.1.2.7 Sloučeniny dusíku**

#### **Amonné ionty**

Do 50 ml odměrných baněk bylo napipetováno 40 ml zfiltrovaného vzorku. Přidáno 4 ml vybarvovacího činidla (salicylan sodný, dihydrát citronanu trisodného, demineralizovaná voda a nitroprussid sodný). Dále bylo přidáno 4 ml dichloroisokyanuratanu sodného a doplněno redestilovanou vodou k rysce. Odměrné baňky stály 1 hodinu v laboratoři, aby se roztok zeleně vybarvil. Pak byla změřena na spektrofotometru absorbance v 1 cm kyvetách při 655 nm proti slepému vzorku. [53]

#### **Dusitany**

Do 50 ml odměrných baněk bylo nalito 50 ml zfiltrovaného vzorku, přililo 1 ml kyseliny sulfanilové, po 5 minutách stání ještě přidáno 1 ml alfa-naftylaminu a vše promícháno. Vzorky byly ponechány 40 minut vybarvit se dorůžova. Bylo kolorimetrováno proti slepému vzorku při 520 nm ve 4 cm kyvetách. [54]

#### **Dusičnany**

Hodnoty absorbance dusičnanů byly měřeny přímo z přefiltrovaného vzorku vody. Jako slepý vzorek posloužila redestilovaná voda. Absorbance byla měřena na spektrofotometru v 1 cm kyvetách při 214 nm při UV záření.[55]

### **3.1.2.8 Sloučeniny fosforu**

Do 50 ml odměrných baněk bylo odměřeno 50 ml přefiltrovaného vzorku, přidáno 1 ml kyselého roztoku molybdenanu amonného a po 5 minutách 0,1 ml chloridu cínatého. Do 10 minut se roztoky vybarvily modře. Bylo kolorimetrováno jsem tedy v intervalu 10 až 20 minut proti slepému vzorku při 700 nm ve 4 cm kyvetách.

### **3.1.2.9 Choridy**

Argentometrické stanovení chloridů dle Mohra

Ke 100 ml vzorku odměřeného v titrační baňce bylo přidáno 1 ml chromanu draselného. Titrace byla provedena odměrným roztokem 0,02 M dusičnanu stříbrného do prvního trvalého přechodu

barvy ze žluté do oranžovohnědé. Stejně bylo provedeno stanovení se 100 ml redestilované vody. [56]

### **3.1.2.10 Železo**

Pro stanovení veškerého železa ve vzorku vody bylo napipetováno 40 ml přefiltrovaného vzorku do 50 ml odměrných baněk. Do každé baňky bylo přidáno 1 ml kyseliny chlorovodíkové a 1 ml zředěného peroxidu sodného, po přidání každého činidla byly baňky promíchány. Po 5 minutách bylo ještě přidáno 5 ml thiokyanidu draselného a doplněno po rysku destilovanou vodou.

Absorbance byla měřena v intervalu 5 – 60 minut proti slepému vzorku ve 4 cm kyvetách při vlnové délce 520 nm. [57]

### **3.1.2.11 Mangan**

Stanovení manganu po oxidaci persíranem amonným byla provedena takto. Do kádinek bylo odměřeno 100 ml vzorku a přilito 2 ml koncentrované kyseliny dusičné. Potom bylo přikapáno takové množství dusičnanu stříbrného, dokud vznikl bílý zákal a navíc 2 ml dusičnanu stříbrného jako přebytek. Vzniklá sraženina byla zfiltrována do titračních baněk. K filtrátu bylo přisypáno lžičku peroxodisíranu amonného a roztok byl zahříván po dobu 10 minut. Po vychladnutí byly narůžovělé roztoky kvantitativně převedeny do 100 ml odměrných baněk. Absorbance byla měřena na spektrofotometru ve 4 cm kyvetách při 525 nm proti slepému vzorku.

Všechna kolorimetrická stanovení byla provedena na přístroji Unicam SP 1800 Ultraviolet Spectrophotometr za použití křemenných kyvet. Měřeno bylo vždy proti slepému vzorku, pro jehož přípravu byla použita místo vzorku redestilovaná voda.

## **3.1.3 Vyhodnocení výsledků kvality vody**

Hodnoty jednotlivých ukazatelů vypočtených na základě analýzy vzorků v laboratoři byly vyhodnoceny podle normy ČSN 75 7221 a podle Nařízení vlády č. 229/2007 Sb.. (viz. Kapitola 2.3. Hodnocení kvality vody)

Třída jakosti vody podle ČSN 75 7221 byla zjištěna porovnáním charakteristických hodnot s mezními hodnotami tříd jakosti uvedenými v tabulce 1. Charakteristickou hodnotou byla určena předposlední hodnota ve vzestupně seřazené řadě 12 stanovených hodnot [22].

Tabulka 1: Mezní hodnoty tříd jakosti vody podle ČSN 75 7221

| Ukazatel                       | Jednotky | Třídy jakosti vody |       |       |       |       |
|--------------------------------|----------|--------------------|-------|-------|-------|-------|
|                                |          | I                  | II    | III   | IV    | V     |
| Elektrolytická<br>konduktivita | [mS/m]   | < 40               | < 70  | < 110 | < 160 | ≥ 160 |
| Vápník                         | [mg/l]   | < 150              | < 200 | < 300 | < 400 | ≥ 400 |
| Hořčík                         | [mg/l]   | < 50               | < 100 | < 200 | < 300 | ≥ 300 |
| CHSK <sub>Mn</sub>             | [mg/l]   | < 6                | < 9   | < 14  | < 20  | ≥ 20  |
| BSK <sub>5</sub>               | [mg/l]   | < 2                | < 4   | < 8   | < 15  | ≥ 15  |
| Amoniakální dusík              | [mg/l]   | < 0,3              | < 0,7 | < 2   | < 4   | ≥ 4   |
| Dusičnanový dusík              | [mg/l]   | < 3                | < 6   | < 10  | < 13  | ≥ 13  |
| Chloridy                       | [mg/l]   | < 100              | < 200 | < 300 | < 400 | ≥ 400 |
| Železo                         | [mg/l]   | < 0,5              | < 1   | < 2   | < 3   | ≥ 3   |
| Mangan                         | [mg/l]   | < 0,1              | < 0,3 | < 0,5 | < 0,8 | ≥ 0,8 |

Tabulka 2: Normy environmentální kvality podle přílohy č. 3 nařízení vlády č. 61/2003 Sb.

| Ukazatel                     | Značka/zkratka                 | Jednotky | Hodnoty |
|------------------------------|--------------------------------|----------|---------|
| Reakce vody                  | pH                             |          | 6 - 9   |
| Vápník                       | Ca                             | [mg/l]   | 190     |
| Hořčík                       | Mg                             | [mg/l]   | 120     |
| Chemická spotřeba kyslíku    | CHSK                           | [mg/l]   | 26      |
| Biochemická spotřeba kyslíku | BSK <sub>5</sub>               | [mg/l]   | 3,8     |
| Amoniakální dusík            | N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> | [mg/l]   | 0,23    |
| Dusičnanový dusík            | N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | [mg/l]   | 5,4     |
| Chloridy                     | Cl <sup>-</sup>                | [mg/l]   | 150     |
| Železo                       | Fe                             | [mg/l]   | 1       |
| Mangan                       | Mn                             | [mg/l]   | 0,3     |

### 3.1.4 Výsledky a diskuze

#### 3.1.4.1 Šeberák

Vyhodnocení třídy jakosti vody podle normy ČSN 75 7221 v profilu Šeberák nemohlo být provedeno, protože rybník Šeberák byl od května 2014 vypuštěn. Tudíž bylo na tomto místě odebráno jen 10 vzorků a na zhodnocení výsledků dle ČSN 75 7221 je zapotřebí minimálně 11 vzorků [22].

Tabulka 3: Vyhodnocení environmentální kvality vody podle nařízení vlády č. 61/2003 Sb.

| Ukazatel          | Jednotky | Hodnoty | Splňuje |
|-------------------|----------|---------|---------|
| pH                |          | 8,7     | ano     |
| Vápník            | [mg/l]   | 59,82   | ano     |
| Hořčík            | [mg/l]   | 44,28   | ano     |
| CHSK              | [mg/l]   | 15,56   | ano     |
| BSK               | [mg/l]   | 16,12   | ne      |
| Amoniakální dusík | [mg/l]   | 0,56    | ne      |
| Dusičnanový dusík | [mg/l]   | 7,63    | ne      |
| Chloridy          | [mg/l]   | 54,75   | ano     |
| Železo            | [mg/l]   | 0,11    | ano     |
| Mangan            | [mg/l]   | 0,11    | ano     |

Rybník Šeberák podle nařízení vlády č. 61/2003 Sb. překračuje environmentální kvalitu vody ve třech ukazatelích, biologické spotřebě kyslíku, amoniakálním a dusičnanovým dusíku.

### 3.1.4.2 U Krále Václava IV.

Tabulka 4: Vyhodnocení třídy jakosti vody podle normy ČSN 75 7221

| <b>Hodnocené období</b>        |                 | červenec 2013 - červen 2014 |               |                                 |                      |
|--------------------------------|-----------------|-----------------------------|---------------|---------------------------------|----------------------|
| <b>Počet stanovení</b>         |                 | 12                          |               |                                 |                      |
| <b>Ukazatel</b>                | <b>Jednotky</b> | <b>Průměr</b>               | <b>Medián</b> | <b>Charakteristická hodnota</b> | <b>Třída jakosti</b> |
| Elektrolytická<br>konduktivita | [mS/m]          | 50,63                       | 53,15         | 54                              | II                   |
| Vápník                         | [mg/l]          | 57,52                       | 58,10         | 69                              | I                    |
| Hořčík                         | [mg/l]          | 38,74                       | 39,32         | 49                              | I                    |
| CHSK <sub>Mn</sub>             | [mg/l]          | 12,77                       | 11,12         | 19                              | IV                   |
| BSK <sub>5</sub>               | [mg/l]          | 9,54                        | 8,15          | 13                              | IV                   |
| Amoniakální dusík              | [mg/l]          | 0,42                        | 0,40          | 0,7                             | III                  |
| Dusičnanový dusík              | [mg/l]          | 11,72                       | 12,68         | 16                              | V                    |
| Chloridy                       | [mg/l]          | 57,99                       | 59,14         | 70                              | I                    |
| Železo                         | [mg/l]          | 0,08                        | 0,09          | 0,1                             | I                    |
| Mangan                         | [mg/l]          | 0,14                        | 0,12          | 0,2                             | II                   |
| Průtok                         | [l/s]           | 314                         |               |                                 |                      |
| <b>Výsledná třída jakosti</b>  |                 |                             |               |                                 | <b>V</b>             |

Tabulka 5: Vyhodnocení environmentální kvality vody podle nařízení vlády č. 61/2003 Sb.

| <b>Ukazatel</b>   | <b>Jednotky</b> | <b>Hodnoty</b> | <b>Splňuje</b> |
|-------------------|-----------------|----------------|----------------|
| pH                |                 | 8,05           | ano            |
| Vápník            | [mg/l]          | 57,52          | ano            |
| Hořčík            | [mg/l]          | 38,74          | ano            |
| CHSK              | [mg/l]          | 12,77          | ano            |
| BSK               | [mg/l]          | 9,54           | ne             |
| Amoniakální dusík | [mg/l]          | 0,42           | ne             |
| Dusičnanový dusík | [mg/l]          | 11,72          | ne             |
| Chloridy          | [mg/l]          | 57,99          | ano            |
| Železo            | [mg/l]          | 0,08           | ano            |
| Mangan            | [mg/l]          | 0,14           | ano            |

Odběrové místo U Krále Václava IV. odpovídá podle ČSN 75 7221 V. třídě jakosti vody, tedy se jedná o velmi silně znečištěnou vodu a to kvůli dusičnanovému dusíku. Podle nařízení vlády

č. 61/2003 Sb. porušuje limity environmentální kvality biologická spotřeba kyslíku, amoniakální a dusičnanový dusík.

### 3.1.4.3 Na tý louce zelený – nad mostkem

Tabulka 6: Vyhodnocení třídy jakosti vody podle normy ČSN 75 7221

| Hodnocené období              |          | červenec 2013 - červen 2014 |        |                          |               |
|-------------------------------|----------|-----------------------------|--------|--------------------------|---------------|
| Počet stanovení               |          | 12                          |        |                          |               |
| Ukazatel                      | Jednotky | Průměr                      | Medián | Charakteristická hodnota | Třída jakosti |
| Elektrolytická konduktivita   | [mS/m]   | 50,44                       | 52,45  | 55                       | II            |
| Vápník                        | [mg/l]   | 54,88                       | 58,02  | 67                       | I             |
| Hořčík                        | [mg/l]   | 41,04                       | 39,76  | 60                       | II            |
| CHSK <sub>Mn</sub>            | [mg/l]   | 12,83                       | 11,68  | 19                       | IV            |
| BSK <sub>5</sub>              | [mg/l]   | 8,77                        | 7,13   | 12                       | IV            |
| Amoniakální dusík             | [mg/l]   | 0,38                        | 0,34   | 0,6                      | II            |
| Dusičnanový dusík             | [mg/l]   | 11,13                       | 11,96  | 15                       | V             |
| Chloridy                      | [mg/l]   | 57,20                       | 54,75  | 70                       | I             |
| Železo                        | [mg/l]   | 0,10                        | 0,10   | 0,1                      | I             |
| Mangan                        | [mg/l]   | 0,17                        | 0,15   | 0,3                      | III           |
| Průtok                        | [l/s]    | 232                         |        |                          |               |
| <b>Výsledná třída jakosti</b> |          |                             |        |                          | <b>V</b>      |

Tabulka 7: Vyhodnocení environmentální kvality vody podle nařízení vlády č. 61/2003

| Ukazatel          | Jednotky | Hodnoty | Splňuje |
|-------------------|----------|---------|---------|
| pH                |          | 7,34    | ano     |
| Vápník            | [mg/l]   | 54,88   | ano     |
| Hořčík            | [mg/l]   | 41,04   | ano     |
| CHSK              | [mg/l]   | 12,83   | ano     |
| BSK               | [mg/l]   | 8,77    | ne      |
| Amoniakální dusík | [mg/l]   | 0,38    | ne      |
| Dusičnanový dusík | [mg/l]   | 11,13   | ne      |
| Chloridy          | [mg/l]   | 57,20   | ano     |
| Železo            | [mg/l]   | 0,10    | ano     |
| Mangan            | [mg/l]   | 0,17    | ano     |

Tento odběrový profil patří podle ČSN 75 7221 do V. třídy jakosti vody, velmi silně znečištěné vodě a to kvůli dusičnanovému dusíku. Z hlediska hodnot CHSK a BSK je tok vyhodnocen jako silně znečištěná voda. Podle nařízení vlády č. 61/2003 Sb. porušuje limity environmentální kvality opět biologická spotřeba kyslíku, amoniakální a dusičnanový dusík.

### 3.1.4.4 Na tý louce zelený – pod mostkem

Tabulka 8: Vyhodnocení třídy jakosti vody podle normy ČSN 75 7221

| <b>Hodnocené období</b>        |                 | červenec 2013 - červen 2014 |               |                                 |                      |
|--------------------------------|-----------------|-----------------------------|---------------|---------------------------------|----------------------|
| <b>Počet stanovení</b>         |                 | 12                          |               |                                 |                      |
| <b>Ukazatel</b>                | <b>Jednotky</b> | <b>Průměr</b>               | <b>Medián</b> | <b>Charakteristická hodnota</b> | <b>Třída jakosti</b> |
| Elektrolytická<br>konduktivita | [mS/m]          | 50,88                       | 52,90         | 57                              | II                   |
| Vápník                         | [mg/l]          | 53,40                       | 58,04         | 65                              | II                   |
| Hořčík                         | [mg/l]          | 43,85                       | 44,35         | 56                              | II                   |
| CHSK <sub>Mn</sub>             | [mg/l]          | 12,43                       | 12,16         | 17                              | IV                   |
| BSK <sub>5</sub>               | [mg/l]          | 8,46                        | 7,49          | 12                              | IV                   |
| Amoniakální dusík              | [mg/l]          | 0,37                        | 0,36          | 0,6                             | II                   |
| Dusičnanový dusík              | [mg/l]          | 11,32                       | 12,23         | 16                              | V                    |
| Chloridy                       | [mg/l]          | 57,69                       | 57,22         | 70                              | I                    |
| Železo                         | [mg/l]          | 0,09                        | 0,09          | 0,1                             | I                    |
| Mangan                         | [mg/l]          | 0,15                        | 0,15          | 0,3                             | III                  |
| Průtok                         | [l/s]           | 231                         |               |                                 |                      |
| <b>Výsledná třída jakosti</b>  |                 |                             |               |                                 | <b>V</b>             |

Tabulka 9: Vyhodnocení environmentální kvality vody podle nařízení vlády č. 61/2003 Sb.

| <b>Ukazatel</b>   | <b>Jednotky</b> | <b>Hodnoty</b> | <b>Splňuje</b> |
|-------------------|-----------------|----------------|----------------|
| pH                |                 | 7,98           | ano            |
| Vápník            | [mg/l]          | 53,40          | ano            |
| Hořčík            | [mg/l]          | 43,85          | ano            |
| CHSK              | [mg/l]          | 12,43          | ano            |
| BSK               | [mg/l]          | 8,46           | ne             |
| Amoniakální dusík | [mg/l]          | 0,37           | ne             |
| Dusičnanový dusík | [mg/l]          | 11,32          | ne             |
| Chloridy          | [mg/l]          | 57,69          | ano            |
| Železo            | [mg/l]          | 0,09           | ano            |
| Mangan            | [mg/l]          | 0,15           | ano            |

Kvalita vody na tomto odběrovém místě odpovídá podle ČSN 75 7221 V. třídě jakosti vody, velmi silně znečištěné vodě. Hlavním v nadměře přítomným polutantem je dusičnanový dusík. Podle nařízení vlády č. 61/2003 Sb. porušuje limity environmentální kvality biologická spotřeba kyslíku, amoniakální a dusičnanový dusík.

### 3.1.4.5 U Labutě – nad ČOV

Tabulka 10: Vyhodnocení třídy jakosti vody podle normy ČSN 75 7221

| <b>Hodnocené období</b>        |                 | červenec 2013 - červen 2014 |               |                                 |                      |
|--------------------------------|-----------------|-----------------------------|---------------|---------------------------------|----------------------|
| <b>Počet stanovení</b>         |                 | 12                          |               |                                 |                      |
| <b>Ukazatel</b>                | <b>Jednotky</b> | <b>Průměr</b>               | <b>Medián</b> | <b>Charakteristická hodnota</b> | <b>Třída jakosti</b> |
| Elektrolytická<br>konduktivita | [mS/m]          | 51,81                       | 52,95         | 58                              | II                   |
| Vápník                         | [mg/l]          | 55,87                       | 58,80         | 69                              | I                    |
| Hořčík                         | [mg/l]          | 41,25                       | 41,21         | 53                              | II                   |
| CHSK <sub>Mn</sub>             | [mg/l]          | 12,47                       | 11,52         | 17                              | IV                   |
| BSK <sub>5</sub>               | [mg/l]          | 7,76                        | 6,94          | 13                              | IV                   |
| Amoniakální dusík              | [mg/l]          | 0,41                        | 0,35          | 0,7                             | III                  |
| Dusičnanový dusík              | [mg/l]          | 11,02                       | 10,87         | 16                              | V                    |
| Chloridy                       | [mg/l]          | 61,10                       | 57,99         | 81                              | I                    |
| Železo                         | [mg/l]          | 0,10                        | 0,10          | 0,1                             | I                    |
| Mangan                         | [mg/l]          | 0,13                        | 0,12          | 0,3                             | III                  |
| Průtok                         | [l/s]           | 125                         |               |                                 |                      |
| <b>Výsledná třída jakosti</b>  |                 |                             |               |                                 | <b>V</b>             |

Tabulka 11: Vyhodnocení environmentální kvality vody podle nařízení vlády č. 61/2003 Sb.

| <b>Ukazatel</b>   | <b>Jednotky</b> | <b>Hodnoty</b> | <b>Splňuje</b> |
|-------------------|-----------------|----------------|----------------|
| pH                |                 | 7,98           | ano            |
| Vápník            | [mg/l]          | 55,87          | ano            |
| Hořčík            | [mg/l]          | 41,25          | ano            |
| CHSK              | [mg/l]          | 12,47          | ano            |
| BSK               | [mg/l]          | 7,76           | ne             |
| Amoniakální dusík | [mg/l]          | 0,41           | ne             |
| Dusičnanový dusík | [mg/l]          | 11,02          | ne             |
| Chloridy          | [mg/l]          | 61,10          | ano            |
| Železo            | [mg/l]          | 0,10           | ano            |
| Mangan            | [mg/l]          | 0,13           | ano            |

Odběrové místo U Labutě – nad ČOV je podle ČSN 75 7221 řazeno do V. třídy jakosti vody, tedy se jedná o velmi silně znečištěnou vodu a to kvůli dusičnanovému dusíku. Podle nařízení

vlády č. 61/2003 Sb. porušuje limity environmentální kvality biologická spotřeba kyslíku, amoniakální a dusičnanový dusík.

### 3.1.4.6 U Labutě – pod ČOV

Tabulka 12: Vyhodnocení třídy jakosti vody podle normy ČSN 75 7221

| <b>Hodnocené období</b>        |                 | červenec 2013 - červen 2014 |               |                                 |                      |
|--------------------------------|-----------------|-----------------------------|---------------|---------------------------------|----------------------|
| <b>Počet stanovení</b>         |                 | 12                          |               |                                 |                      |
| <b>Ukazatel</b>                | <b>Jednotky</b> | <b>Průměr</b>               | <b>Medián</b> | <b>Charakteristická hodnota</b> | <b>Třída jakosti</b> |
| Elektrolytická<br>konduktivita | [mS/m]          | 52,25                       | 53,25         | 58                              | II                   |
| Vápník                         | [mg/l]          | 51,74                       | 54,16         | 67                              | I                    |
| Hořčík                         | [mg/l]          | 44,45                       | 42,90         | 63                              | II                   |
| CHSK <sub>Mn</sub>             | [mg/l]          | 12,15                       | 10,88         | 15                              | IV                   |
| BSK <sub>5</sub>               | [mg/l]          | 7,54                        | 7,90          | 12                              | IV                   |
| Amoniakální dusík              | [mg/l]          | 0,43                        | 0,38          | 0,7                             | III                  |
| Dusičnanový dusík              | [mg/l]          | 10,91                       | 11,14         | 15                              | V                    |
| Chloridy                       | [mg/l]          | 60,40                       | 59,75         | 74                              | I                    |
| Železo                         | [mg/l]          | 0,19                        | 0,10          | 0,2                             | I                    |
| Mangan                         | [mg/l]          | 0,14                        | 0,12          | 0,3                             | III                  |
| Průtok                         | [l/s]           | 140                         |               |                                 |                      |
| <b>Výsledná třída jakosti</b>  |                 |                             |               |                                 | <b>V</b>             |

Tabulka 13: Vyhodnocení environmentální kvality vody podle nařízení vlády č. 61/2003 Sb.

| <b>Ukazatel</b>   | <b>Jednotky</b> | <b>Hodnoty</b> | <b>Splňuje</b> |
|-------------------|-----------------|----------------|----------------|
| pH                |                 | 8,01           | ano            |
| Vápník            | [mg/l]          | 51,74          | ano            |
| Hořčík            | [mg/l]          | 44,45          | ano            |
| CHSK              | [mg/l]          | 12,15          | ano            |
| BSK               | [mg/l]          | 7,54           | ne             |
| Amoniakální dusík | [mg/l]          | 0,43           | ne             |
| Dusičnanový dusík | [mg/l]          | 10,91          | ne             |
| Chloridy          | [mg/l]          | 60,40          | ano            |
| Železo            | [mg/l]          | 0,19           | ano            |
| Mangan            | [mg/l]          | 0,14           | ano            |

Odběrové místo U Labutě – pod ČOV, stejně jako všechny předcházející úseky, odpovídá podle ČSN 75 7221 V. třídě jakosti vody, velmi silně znečištěné vodě a to kvůli dusičnanovému dusíku. Podle nařízení vlády č. 61/2003 Sb. porušuje limity environmentální kvality biologická spotřeba kyslíku, amoniakální a dusičnanový dusík.

## **Diskuze**

Výsledky kvality vody v kunratickém potoce nejsou uspokojivé. V porovnání s výsledky prováděnými Lesy hl. města Prahy se hodnoty jednotlivých parametrů pohybují v přibližně stejných číslech. Výsledky na jednotlivých odběrových místech se nedají objektivně srovnat, protože odběrová místa jsou jiná.

Celkově podle rozborů Lesů hl. města Prahy patří úsek kunratického potoka zvaný Nad Šeberákem do IV. třídy kvality vody. Zatímco úsek od rybníku Šeberák až nad Dolnomlýnský rybník spadá do V. třídy jakosti vody. Dále až k ústí Kunratického potoka do Vltavy se kvalita vody pohybuje střídavě na hodnotách IV. nebo V. třídy kvality vody podle ČSN 75 7221. podle výsledků této práce spadá potok v úseku mezi rybníky Šeberák a Labuť do V. třídy kvality vod, což je třída nejhorší – velmi silně znečištěná voda.

Z hlediska dlouhodobého sledování kvality vody v Kunratickém potoce se znečištění vody nepatrně mění. Dokazují to hodnoty sledovaných parametrů, které nesplňují limity stanovené nařízením vlády č. 61/2003 Sb.. Lze říci, že za sledované období 2001 – 2013, v posledních letech mírně kleslo pH, tedy pohybuje se v hodnotách < 9. Obsah rozpuštěného kyslíku má neustále hodnoty nevyhovující limitům stanoveným podle nařízení vlády č. 61/2003 Sb.. Dále se zvýšilo znečištění dusíkem, zejména dusičnany. Tento parametr je však diskutabilní, z analýz pro vypracování této práce vychází obsah dusičnanů zhruba okolo 12 mg/l za období červenec 2013 – červen 2014, zatímco podle analýz Lesů hl. města Prahy za rok 2013 je obsah dusičnanů přibližně roven 8 mg/l. [58]

## **3.2 Analýza sedimentů**

### **3.2.1 Odběr vzorků**

Odběr vzorků sedimentů byl proveden 16. 12. 2013, na 4 vybraných profilech v povodí Kunratického potoka. Jednalo se o profily: Šeberák, U Krále Václava IV., Na tý louce zelený – nad mostkem, U Labutě - nad ČOV. Zároveň se sedimenty byly odebrány i vzorky vody. Vzorky sedimentů byly odebrány špachtlí do polyethylenových uzavíratelných lahvíček.

### **3.2.2. Analýza v laboratoři**

#### **3.2.2.1 Lyofilizace**

Zamrazené vzorky byly lyofilizovány v přístroji CHRIST Alpha 1–4. Lyofilizátor je připojen na vývěvu, která zajišťuje podmínky vakua, lyofilizace probíhá při -53 °C. Lyofilizace bývá také nazývaná vakuovým vymrazováním. Jejím principem je totiž šetrné sušení matric při velmi nízké teplotě a tlaku. Metoda je vhodná zejména pro biologický materiál. Výhodou lyofilizace je, že nedochází k přechodu vody z kapalného do plynného skupenství, což je v mnohých případech příčina poškození sušeného materiálu a ztráty části analytu [59].

#### **3.2.2.2 Sítování**

Vysušené vzorky byly rozsítovány pomocí síťovacího stroje Analysette 3 Spartan, pulverisette 0. Nejprve byly odděleny nejhrubší části sedimentu pomocí klasického nylonového síta. Při vlastním sítování s použitím síťovacího stroje byla použita síta o velikosti ok 0,609 mm a 0,061 mm. Sediment tak byl rozdělen na 2 frakce, celkovou a jemnou.

Sítovací stroje pracují na principu třepačky. Prosévačka je opatřena elektromagnetickým pohonem, který zajišťuje vertikální kmitavý pohyb – vibrace. Při práci tak lze regulovat amplitudu kmitů.

#### **3.2.2.3 Mikrovlnný rozklad**

Z každé frakce bylo naváženo asi 2 g sedimentu přesně do vysušených teflonových kelímků. Ke vzorku bylo přidáno 9 ml koncentrované kyseliny dusičné (65 %) a 1 ml peroxidu vodíku (30 %). Směs začala ihned reagovat za vzniku žlutého roztoku. Teflonové lahvičky proto bylo třeba kvůli možnosti vypěnění ihned zavíčkovat a zajistit do držáků a vložit do mikrovlnného systému ETHOS. Aparatura byla spuštěna v režimu EPA 3052.

Metodika EPA 3052 představuje postup rozkladu s mikrovlnným ohřevem v kyselém prostředí. Metoda je určena pro rozklad křemičitých, organických a dalších komplexních matric, tedy také sedimentů. Metoda je navržena pro celkový rozklad vzorku, ve kterém je třeba zjistit obsah kovů. Během rozkladu jsou zapečetěné vzorky ohřívány mikrovlnným systémem. V jednotlivých fázích rozkladu se řízeně zvyšuje teplota a tlak. Maximální dosaženou teplotou je cca 180 °C. Během tohoto procesu dochází k vyluhování analytu do roztoku kyseliny a peroxidu. Po ukončení mikrovlnného procesu byly vychladlé vzorky kvantitativně přefiltrovány přes filtrační papír do 50 ml odměrných baněk, které byly doplněny po rysku destilovanou vodou. Podle metody EPA 3052 bylo dále pro stanovení kovů v takto zpracovaných vzorcích vhodné použít atomovou absorpční spektrometrii [60]

#### **3.2.2.4 Atomová absorpční spektrometrie**

Atomová absorpční spektrometrie je významnou analytickou metodou pro zjišťování prvkového složení v roztoku. Principem metody je měření úbytku elektromagnetického záření (absorbance), který je způsoben absorpcí záření volnými atomy prvků v plynné fázi. Do plynné fáze jsou prvky převáděny atomizací [61]. Rozdíly energií mezi jednotlivými elektronovými stavy atomu jsou charakteristické pro každý prvek. Množství absorbovaného záření je kvantitativní mírou koncentrace stanovovaného prvků. Tento vztah je popsán Lambert-Beerovým zákonem [62].

#### **Plamenová atomová spektrometrie**

FAAS je plamennou technikou, při které je atomizace uskutečněna plamenem hořící směsi paliva a okysličovadla. Palivem je acetylen a jako okysličovadlo se využívá vzduch nebo oxid dusný. Směs oxid dusný/acetylen má vyšší účinnost atomizace, poskytuje tedy lepší detekční limity. Směs vzduch/acetylen se využívá pro snadno atomizovatelné prvky. Korekce pozadí lze dosáhnout deuteriovými lampami. Nevýhodou metody FAAS je nelinearita kalibrační křivky při vyšších absorbancích.

Kapalný vzorek se do plamene zavádí ve formě drobných kapek aerosolu. Směs plynů a vzorku je žíhána v plamenu při teplotách do 2 500 K pro vzduch/acetylen nebo do 2900 K pro oxid dusný/acetylen. Zdrojem záření je výbojka s katodou vyrobenou ze stanovovaného kovu. Světelný paprsek prochází plamenem přes monochromátor do detektoru. Před každým stanovením je třeba provést optimalizaci přístroje. Optimalizace spočívá v nastavení průtoku plynu, výšky plamene a nastavení spektrometru [61].

## **Atomová absorpční spektrometrie – elektrotermická atomizace**

Elektrotermická atomizace (ETA - AAS) spočívá v postupném programovaném ohřevu kyvety, do které je dávkováno velmi malé množství vzorku (desítky  $\mu\text{l}$ ). K atomizaci vzorku dochází postupným ohřevem kyvety průchodem elektrického proudu. Teplota kyvety je zvyšována v několika krocích:

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

ETA - AAS má v porovnání s F-AAS vyšší citlivost měření a nižší detekční limity [61] [63].

Pomocí ETA – AAS jsem stanovila množství kadmia v sedimentu.

## **Analyzátor rtuti AMA 254**

Analyzátor rtuti AMA 254 je jednoúčelový atomový absorpční spektrometr pro stanovení celkového obsahu rtuti v pevných i kapalných vzorcích bez potřeby předchozí úpravy vzorku. Spektrometr využívá techniku generování par kovové rtuti tepelným rozkladem vzorku ve spalovací trubici s následným zachycením a zakoncentrováním na zlatém amalgamátoru, opětovným tepelným vypuzením a detekcí. Tímto je možno dosáhnout vysoké citlivosti stanovení. Nosným plynem je kyslík. Jako zdroj záření slouží nízkotlaká rtuťová výbojka [64]. Rtuť byla stanovena přímo z pevného vzorku. Navážka sedimentu se pohybovala od asi 0,1 g do 0,2 g přesně. Vzorek ve spalovací lodičce byl zaveden do spalovací trubice, ve které je vysušen a spálen. Rtuť byla tímto procesem uvolněna. Absorbance byla měřena při vlnové délce 253,65 nm a je vyhodnocena metodou kalibrace vnějšího standardu.

## **Kalibrace**

AAS je metodou srovnávací. Stanovení je založeno na porovnání signálů roztoků vzorků a roztoků standardů. Ke zjištění koncentrací kovů se používá metoda vnějšího standardu. Vztah mezi odezvou přístroje a koncentrací analytu je určen kalibrací přístroje. Kalibrace se provádí proměřením standardních roztoků o známé koncentraci. Ze získaných odezev přístroje a z koncentrací standardů je sestrojena kalibrační křivka. Signál získaný ze vzorku se pak porovná s touto kalibrační křivkou [61].

### 3.2.2.5 Podíl organické hmoty

Ve vzorcích sedimentů byl stanoven podíl organické hmoty pomocí žihání. Bylo naváženo přesně 5g sedimentu, ten byl pak žihán v peci při teplotě 650°C asi 3 hodiny do konstantní hmotnosti. Množství organické hmoty ve vzorku bylo zjištěno odečtením vysušeného vzorku od původní navážky.

### 3.2.3 Vyhodnocení výsledků sedimentů

Sedimenty byly vyhodnoceny podle vyhlášky č. 257/2009 Sb. o používání sedimentů na zemědělské půdy. Získané koncentrace byly porovnány s limitními hodnotami rizikových prvků v sedimentu uvedenými v příloze č. 1 této vyhlášky [65].

Tabulka 14: Limitní hodnoty rizikových prvků v sedimentu dle vyhlášky č. 257/2009 Sb.

| Polutant          | Hg  | Cd | Ni | Pb  | Cu  | Cr  | Zn  |
|-------------------|-----|----|----|-----|-----|-----|-----|
| Limity<br>[mg/kg] | 0,8 | 1  | 80 | 100 | 100 | 200 | 300 |

Dále byly sedimenty zhodnoceny podle kritérií daných US EPA Standards, podle kterých se určují koeficienty rizika. Ze stanovených koncentrací prvků byly tedy vypočteny koeficienty rizika (HQ) podle vzorce:  $HQ = \frac{C_s}{TC}$ , kde  $C_s$  odpovídá zjištěné koncentraci látky v sedimentu a TC odpovídá ekotoxikologickému kritériu neboli benchmarkeru pro daný polutant. Konkrétně se jedná o koncentraci prahového účinku (TEC) a koncentraci pravděpodobného účinku (PEC). Pokud hodnota koeficientu rizik u jediného prvku překročí hodnotu 1, je indikováno ekologické riziko [60] [66].

Tabulka 15: Hodnoty PEC a TEC pro sladkovodní sedimenty v [mg/kg] podle US EPA Standards

| Polutant | Al    | Cd    | Cr  | Cu   | Ni   | Pb   | Zn   | Mn   |
|----------|-------|-------|-----|------|------|------|------|------|
| TEC      | -     | 0,592 | 56  | 28   | 39,6 | 34,2 | 159  | 1673 |
| PEC      | 58030 | 11,7  | 159 | 77,7 | 38,5 | 396  | 1532 | 1081 |

## 3.2.4 Výsledky a diskuze

### 3.2.4.1 Šeberák

Tabulka 16: Vyhodnocení sedimentů podle vyhlášky č. 257/2009 Sb.

| Polutant   | Celková frakce | Splnění limitů | Jemná frakce | Splnění limitů |
|------------|----------------|----------------|--------------|----------------|
| Hg [μg/kg] | 0,05           | ano            | 0,06         | ano            |
| Cd [μg/kg] | 27,37          | ano            | 32,42        | ano            |
| Ni [mg/kg] | 15,57          | ano            | 8,73         | ano            |
| Pb [mg/kg] | 19,64          | ano            | 18,07        | ano            |
| Cu [mg/kg] | 15,81          | ano            | 15,95        | ano            |
| Cr [mg/kg] | 24,05          | ano            | 25,31        | ano            |
| Zn [mg/kg] | 50,73          | ano            | 54,54        | ano            |

Tabulka 17: Vyhodnocení sedimentů podle koeficientů rizika (US EPA Standards)

| Polutant   | TEC            |              | PEC            |              |
|------------|----------------|--------------|----------------|--------------|
|            | Celková frakce | Jemná frakce | Celková frakce | Jemná frakce |
| Al [mg/kg] | -              | -            | 0,69           | 0,67         |
| Cd [mg/kg] | 0,05           | 0,05         | 0,00           | 0,00         |
| Cr [mg/kg] | 0,43           | 0,45         | 0,15           | 0,16         |
| Cu [mg/kg] | 0,56           | 0,57         | 0,20           | 0,21         |
| Ni [mg/kg] | 0,39           | 0,22         | 0,40           | 0,23         |
| Pb [mg/kg] | 0,57           | 0,53         | 0,05           | 0,05         |
| Zn [mg/kg] | 0,32           | 0,34         | 0,03           | 0,04         |
| Mn [mg/kg] | 0,30           | 0,28         | 0,46           | 0,44         |

Pokud je hodnota TEC nebo PEC větší než 1, daný polutant představuje ekologické riziko.

Sedimenty z rybníku Šeberák dopadly výborně. Jednotlivé prvky splňují limity stanovené vyhláškou č. 257/2009 Sb.. Koeficienty ekologického rizika TEC a PEC také nebyly překročeny ani v jednom případě.

### 3.2.4.2 U Krále Václava IV.

Tabulka 18: Vyhodnocení sedimentů podle vyhlášky č. 257/2009 Sb.

| Polutant          | Celková frakce | Splnění limitů | Jemná frakce | Splnění limitů |
|-------------------|----------------|----------------|--------------|----------------|
| <b>Hg</b> [μg/kg] | 0,07           | ano            | 0,07         | ano            |
| <b>Cd</b> [μg/kg] | 64,82          | ano            | 33,77        | ano            |
| <b>Ni</b> [mg/kg] | 22,82          | ano            | 24,69        | ano            |
| <b>Pb</b> [mg/kg] | 23,34          | ano            | 40,41        | ano            |
| <b>Cu</b> [mg/kg] | 31,35          | ano            | 31,51        | ano            |
| <b>Cr</b> [mg/kg] | 28,26          | ano            | 28,38        | ano            |
| <b>Zn</b> [mg/kg] | 214,11         | ano            | 123,03       | ano            |

Tabulka 19: Vyhodnocení sedimentů podle koeficientů rizika (US EPA Standards)

| Polutant          | TEC            |              | PEC            |              |
|-------------------|----------------|--------------|----------------|--------------|
|                   | Celková frakce | Jemná frakce | Celková frakce | Jemná frakce |
| <b>Al</b> [mg/kg] | -              | -            | 0,52           | 0,60         |
| <b>Cd</b> [mg/kg] | 0,11           | 0,06         | 0,01           | 0,00         |
| <b>Cr</b> [mg/kg] | 0,50           | 0,51         | 0,18           | 0,18         |
| <b>Cu</b> [mg/kg] | 1,12           | 1,13         | 0,40           | 0,41         |
| <b>Ni</b> [mg/kg] | 0,58           | 0,62         | 0,59           | 0,64         |
| <b>Pb</b> [mg/kg] | 0,68           | 1,18         | 0,06           | 0,10         |
| <b>Zn</b> [mg/kg] | 1,35           | 0,77         | 0,14           | 0,08         |
| <b>Mn</b> [mg/kg] | 0,47           | 0,20         | 0,73           | 0,31         |

Pokud je hodnota TEC nebo PEC větší než 1, daný polutant představuje ekologické riziko.

Sedimenty z odběrového místa U Krále Václava IV. jsou podle limitních hodnot daných vyhláškou č. 257/2009 Sb. plně vyhovující. Podle US EPA Standards jsou splněny hodnoty PEC u všech polutantů, ale hodnoty TEC jsou překročeny hned u třech polutantů. Nevyhovující je měď v obou frakcích, dále olovo v jemné frakci a zinek v celkové frakci.

### 3.2.4.3 Na tý louce zelený – nad mostkem

Tabulka 20: Vyhodnocení sedimentů podle vyhlášky č. 257/2009 Sb.

| Polutant          | Celková frakce | Splnění limitů | Jemná frakce | Splnění limitů |
|-------------------|----------------|----------------|--------------|----------------|
| <b>Hg</b> [μg/kg] | 0,30           | ano            | 0,92         | ano            |
| <b>Cd</b> [μg/kg] | 51,89          | ano            | 47,29        | ano            |
| <b>Ni</b> [mg/kg] | 13,81          | ano            | 26,19        | ano            |
| <b>Pb</b> [mg/kg] | 37,71          | ano            | 34,94        | ano            |
| <b>Cu</b> [mg/kg] | 30,44          | ano            | 38,92        | ano            |
| <b>Cr</b> [mg/kg] | 22,48          | ano            | 45,03        | ano            |
| <b>Zn</b> [mg/kg] | 506,15         | ne             | 302,97       | ne             |

Tabulka 21: Vyhodnocení sedimentů podle koeficientů rizika (US EPA Standards)

| Polutant          | TEC            |              | PEC            |              |
|-------------------|----------------|--------------|----------------|--------------|
|                   | Celková frakce | Jemná frakce | Celková frakce | Jemná frakce |
| <b>Al</b> [mg/kg] | -              | -            | 0,47           | 0,80         |
| <b>Cd</b> [mg/kg] | 0,09           | 0,08         | 0,00           | 0,00         |
| <b>Cr</b> [mg/kg] | 0,40           | 0,80         | 0,14           | 0,28         |
| <b>Cu</b> [mg/kg] | 1,09           | 1,39         | 0,39           | 0,50         |
| <b>Ni</b> [mg/kg] | 0,35           | 0,66         | 0,36           | 0,68         |
| <b>Pb</b> [mg/kg] | 1,10           | 1,02         | 0,10           | 0,09         |
| <b>Zn</b> [mg/kg] | 3,18           | 1,19         | 0,33           | 0,20         |
| <b>Mn</b> [mg/kg] | 0,41           | 0,68         | 0,64           | 1,05         |

Pokud je hodnota TEC nebo PEC větší než 1, daný polutant představuje ekologické riziko.

Na odběrovém profilu nazvaném Na tý louce zelený v sedimentech dominuje zinek. Zinek jako jediný neodpovídá limitům stanoveným vyhláškou č. 257/2009 Sb.. Hodnoty TEC nesplňují a představují ekologické riziko měď, olovo a zinek, všechny tyto polutanty v obou frakcích. Hodnoty PEC nesplňuje mangan v jemné frakci.

### 3.2.4.4 U Labutě – nad ČOV

Tabulka 22: Vyhodnocení sedimentů podle vyhlášky č. 257/2009 Sb.

| Polutant          | Celková frakce | Splnění limitů | Jemná frakce | Splnění limitů |
|-------------------|----------------|----------------|--------------|----------------|
| <b>Hg</b> [μg/kg] | 0,42           | ano            | 1,17         | ano            |
| <b>Cd</b> [μg/kg] | 52,56          | ano            | 68,32        | ano            |
| <b>Ni</b> [mg/kg] | 14,34          | ano            | 20,47        | ano            |
| <b>Pb</b> [mg/kg] | 34,13          | ano            | 40,59        | ano            |
| <b>Cu</b> [mg/kg] | 36,24          | ano            | 46,60        | ano            |
| <b>Cr</b> [mg/kg] | 18,74          | ano            | 26,14        | ano            |
| <b>Zn</b> [mg/kg] | 73,56          | ano            | 111,48       | ano            |

Tabulka 23: Vyhodnocení sedimentů podle koeficientů rizika (US EPA Standards)

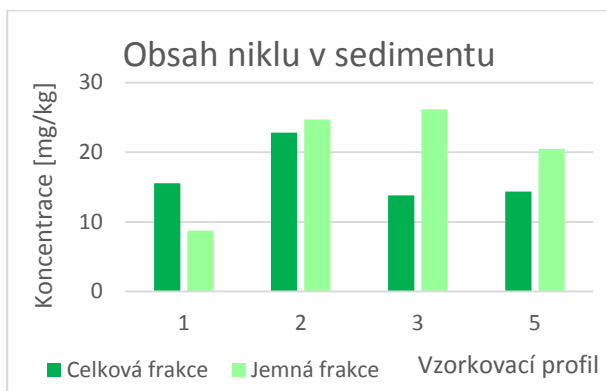
| Polutant          | TEC            |              | PEC            |              |
|-------------------|----------------|--------------|----------------|--------------|
|                   | Celková frakce | Jemná frakce | Celková frakce | Jemná frakce |
| <b>Al</b> [mg/kg] | -              | -            | 0,44           | 0,23         |
| <b>Cd</b> [mg/kg] | 0,09           | 0,12         | 0,00           | 0,01         |
| <b>Cr</b> [mg/kg] | 0,33           | 0,47         | 0,12           | 0,16         |
| <b>Cu</b> [mg/kg] | 1,29           | 1,66         | 0,47           | 0,60         |
| <b>Ni</b> [mg/kg] | 0,36           | 0,52         | 0,37           | 0,53         |
| <b>Pb</b> [mg/kg] | 1,00           | 1,19         | 0,09           | 0,10         |
| <b>Zn</b> [mg/kg] | 0,46           | 0,70         | 0,05           | 0,07         |
| <b>Mn</b> [mg/kg] | 0,38           | 0,39         | 0,58           | 0,60         |

Pokud je hodnota TEC nebo PEC větší než 1, daný polutant představuje ekologické riziko.

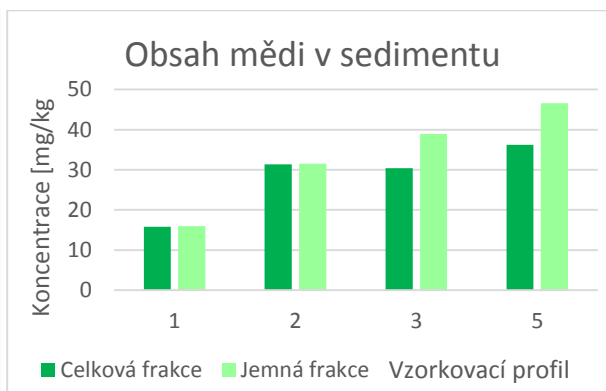
Sedimenty odebrané z Kunratického potoka v blízkosti rybníka Labutě jsou podle limitních hodnot daných vyhláškou č. 257/2009 Sb. plně vyhovující. Vyhovující jsou i hodnoty PEC, zatímco hodnotám TEC neodpovídá měď v obou frakcích a olovo neodpovídá v jemné frakci, v celkové frakci je na hranici.

### 3.2.4.5 Koncentrace kovů v sedimentech

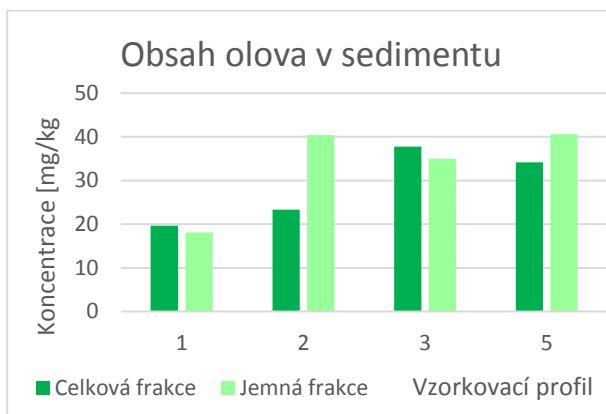
Následující grafy 1 – 10 znázorňují obsahy jednotlivých prvků v sedimentech na odběrových profilech. Graf 11 ukazuje množství organické hmoty v sedimentech.



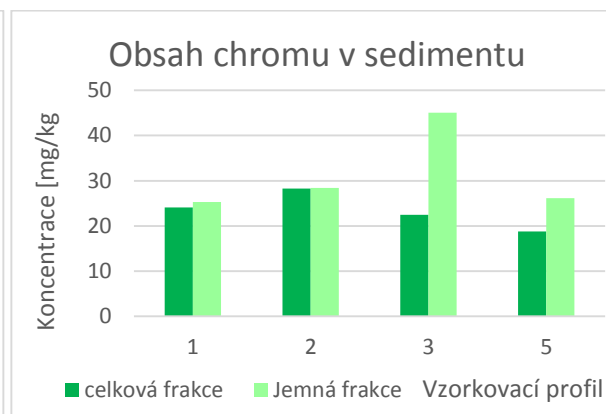
Graf 1: Nikl



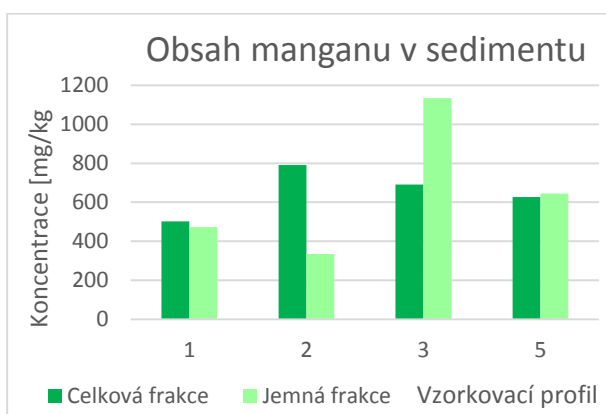
Graf 2: Měď



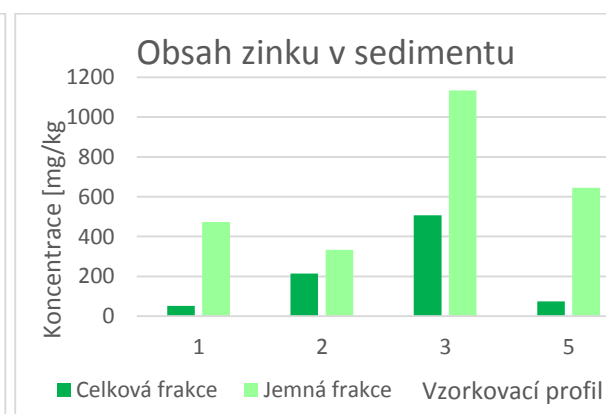
Graf 3: Olovo



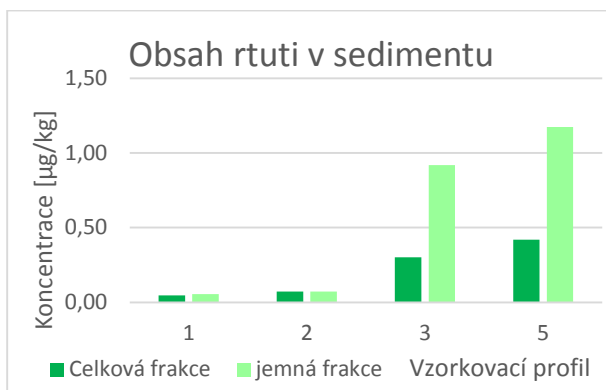
Graf 4: Chrom



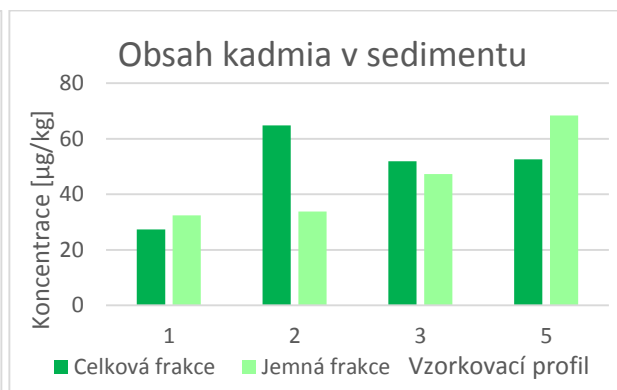
Graf 5: Mangan



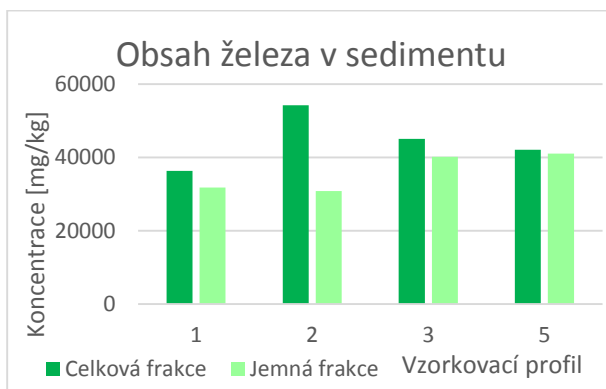
Graf 6: Zinek



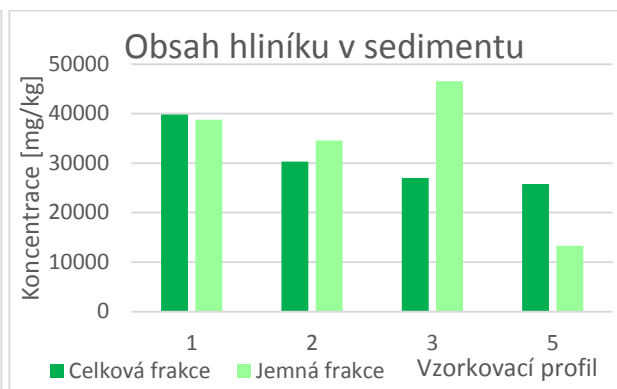
Graf 7: Rtut'



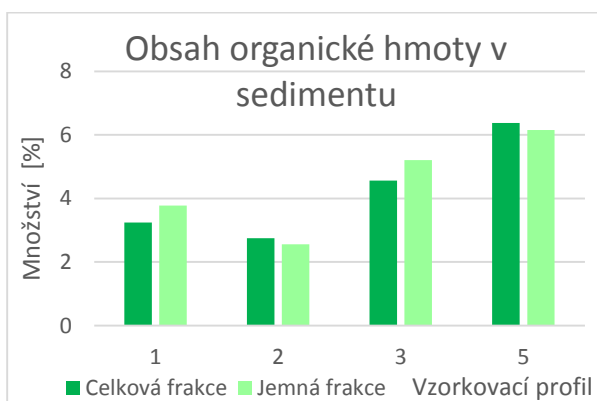
Graf 8: Kadmium



Graf 9: Železo



Graf 10: Hliník



Graf 11: Organická hmota

## 4 Závěr

Povodí Kunratického potoka patří v České republice mezi jedno z nejvíce znečištěných. I když na svém horním a středním toku protéká krásnou a přírodně cennou krajinou, potvrdilo se jeho velké znečištění.

Vyhodnocení kvality vody dopadlo na všech odběrových profilech stejně. Nebylo tedy prokázáno žádná ani jednorázová kontaminace ze zaúst'ující kanalizace nebo z ČOV. Nejvíce je tok znečištěn dusičnanovým a amoniakálním dusíkem a organickými látkami. Přetrvává také zvýšené pH. Právě díky vysokému obsahu dusičnanů se tok celkově řadí do V. třídy jakosti vody, což je třída nejhorší. Voda v Kunratickém potoce je tak klasifikovaná jako velmi silně znečištěná.

V sedimentech z povodí Kunratického potoka dominují zinek, olovo a měď. Podle české legislativy jsou sedimenty vyhovující, jen v odběrovém místě Na tý louce zelený nad mostkem překračuje limitní hodnoty zinek. Podle US EPA Standards představují ekologické riziko již zmiňované prvky, zinek, olovo a měď.

V porovnání s výsledky analýz z předešlých let mírně kleslo pH, obsah rozpuštěného kyslíku se nijak výrazně nezměnil, ale zvýšil se obsah dusičnanů [58].

## Seznam použité literatury

- [1] – Musil, J. a kol., Generel odvodnění Kunratic a Šeberova – situační zpráva o povodí, o vodních tocích a o kanalizaci, Hydroprojekt CZ, a.s., Praha, 2002
- [2] - <http://www.lesypraha.cz/> , 11.3.2013
- [3] - Územně analytické podklady hl. m. Prahy, 2.5. Přírodní podmínky, krajina, s.15, 2008
- [4] - Jilečková V., Plán péče o životní prostředí městské části Praha – Kunratice pro období 2011 – 2015, 2.4. Hydrologie, s. 26 – 27
- [5] – Benešová, L., Hnařílková, P., Komínková D., Impact of urban drainage on metal distribution in sediment of urban streams, Water science and technology, 59, 2009, 1237 – 1246s.
- [6] - Magistrát hlavního města Prahy (Ing. Martina Buchtíková) – ústní podání, 16.4.2013
- [7] – ([tibor.svec@accidis.cz](mailto:tibor.svec@accidis.cz)) – Švec T., starosta obce Vestec, ústní podání, 18.9.2013
- [8] - <http://www.seberak.cz/rybnik>, 27.4.2014, 8.7.2014
- [9] - <http://www.hygp Praha.cz/> , 22.8.2013
- [10] - <http://botany.cz/cs/> , 25.8.2013, 9.7.2014
- [11] - <http://www.praha-priroda.cz/vodni-plochy-a-potoky/>, 26.8.2013
- [12] - <http://envis.praha-mesto.cz/> , 25.8.2013
- [13] - Langhammer J., Kvalita povrchových vod a jejich ochrana, Praha, 2002
- [14] - Pitter P., Hydrochemie, Vydavatelství VŠCHT, Praha, 4. vydání, 2009
- [15] - Lelák J., Kubíček F., Hydrobiologie, Vydavatelství Karolinum, Praha , 1991
- [16] - Grünvald A., Hydrochemie, vydavatelství ČVÚT, Praha, 1993
- [17] - Camargo J. A., Alonso A., Salamanca A., Nitrate toxicity to aquatic animals: a review with new data for freshwater invertebrates, Chemosphere 58, 2005, 1255-1267
- [18] - Carpenter S. R., Caraco N. F., Corell, D. L., [Howarth R. W.](#), [Sharpley A. N.](#), Smith V. H., Nonpoint pollution of surface waters with phosphorus and nitrogen, Ecological applications, 8 (3), 1998

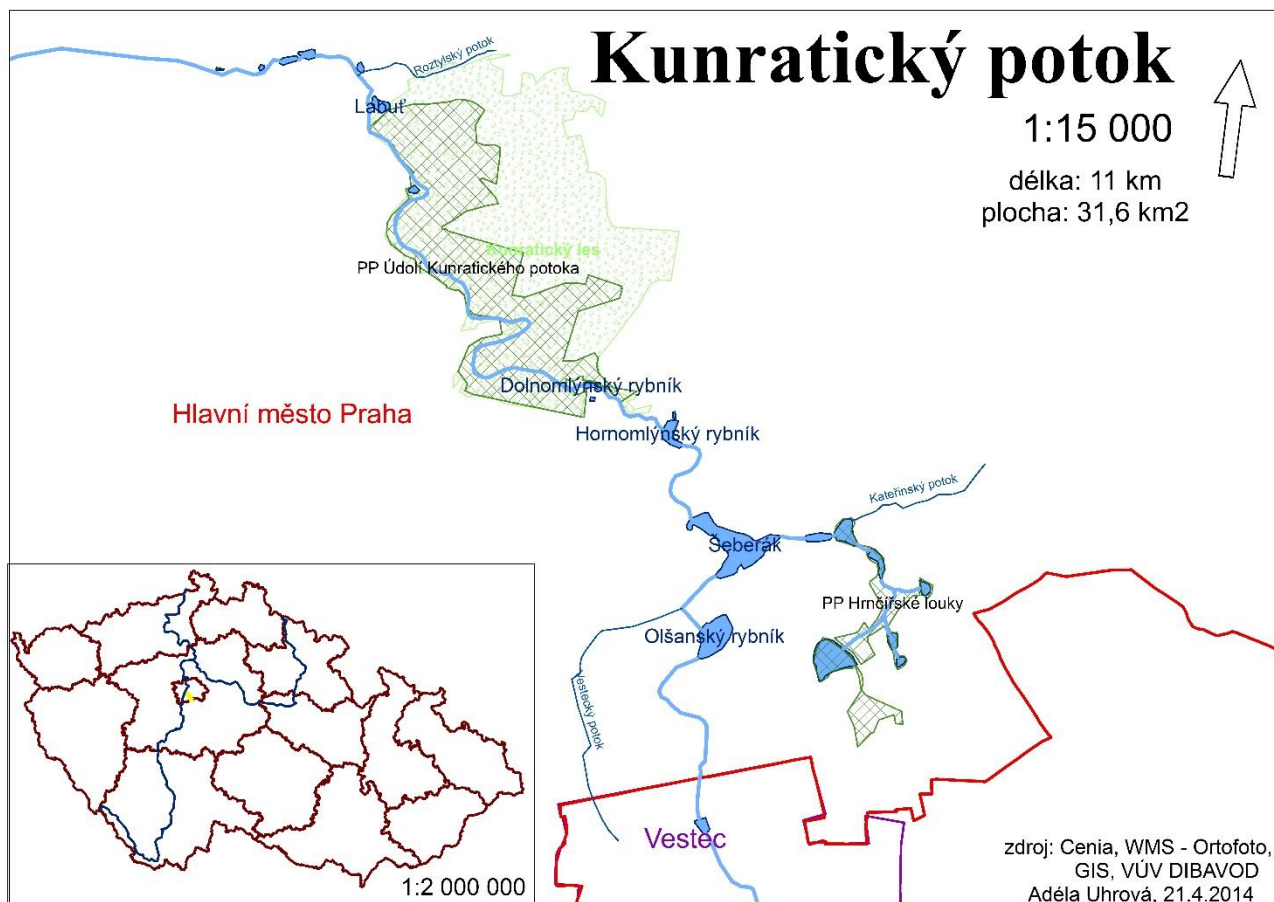
- [19] - Edwards A. C., Withers P. J. A., Transport and delivery of suspended solids, nitrogen and phosphorus from various sources to freshwaters in the UK, *Journal of Hydrology*, 350 (3-4), 2008
- [20] - Marsalek J., Road salts in urban stormwater: an emerging issue in stormwater management in cold climates, *Water Science and technology*, 48 (9), 2003, 61-70
- [21] – Nadeo, V., Scannapieco, D., Zarra, T., Belgiorno, V., River water quality assessment: Implementation of non-parametric tests for sampling frequency optimization, *Land Use Policy* 30, 2013, 197 - 205
- [22] - ČSN 75 7221 Jakost vod – Klasifikace jakosti povrchových vod, 1998
- [23] – Nařízení vlády č. 229/2007 Sb.
- [24] - Borovec, Z., Modelování redistribuce toxických prvků v říčních sedimentech. *Chemické Listy*, 94, 2000, 939 –945.
- [25] – Salomons, W., Brils, J., Contaminated Sediments in European River Basins, European Sediment Research Network, 2004
- [26] – Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský, Sledování rybníčních a říčních sedimentů, 2010 z <http://eagri.cz/public/web/ukzuz/portal/>, 17.7.2014
- [27] – Chapman, D., Water Quality Assessments – a Guide to Use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring, Cambridge, University Press, 1996
- [28] – Ministerstvo zemědělství, Příručka ochrany proti vodní erozi, Praha,
- [29] – Fajtl, J., Tichý, R., Ledvina, R., Sladkovodní kontaminované sediment jako chemické časované bomby, *Chem. Listy*, 95, 621 – 629, 2001
- [30] - Kukul, Z., Základy sedimentology, Praha, Academia, 1986
- [31] – Mudroch, A., Azcue, J. M., Mudroch, P., Manual of physic-chemical analysis of aquatic sediments, Florida, Lewis Publishers, 1997
- [32] – Borovec, Z., Mobilita toxických prvků v říčních sedimentech, *Vesmír* 73, 1994/10
- [33] – Revitt, D. M., Morisson, G. M. P., Methal speciation variations within separate stormwater systems, *Environmental Technology Letters*, 8, 1987
- [34] – Sparks, D.L., Toxic Metals in the Environment, The Role of Surfaces, Elements, 1:4, 2005

- [35] – Aryal, R., Viegvesvarm, S., Kandasany, J., Naidu, R., Urban stormwater quality and treatment, Korean journal of chemical engineering, 27, 2010
- [36] – Houserová, P., Janák, K., Kubáň, P., Pavlíčková, J., Kubáň, V., Chemické formy rtuti ve vodních ekosystémech – vlastnosti, úrovně, koloběh a stanovení, Chemické Listy, 100, 862 – 876, 2006
- [37] - Regnell, O.; Hammar, T.; Helgée, A.; Troedsson, B., Effects of anoxia and sulfide on concentrations of total and methyl mercury in sediment and water in two Hg-polluted lakes, Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 58, 506–517, 2001
- [38] – Šuta, M., Evropská strategie eliminace rtuti  
[www.enviweb.cz/clanek/chemlatky/](http://www.enviweb.cz/clanek/chemlatky/), 28.7.2014
- [39] – Dähn, R., Schneidegger, A. M., Manceau, A., Bayens, B., Bradbury, M.H., Uptake mechanisms of Ni (II) on montmorillonite as determined by X-ray absorption spectroscopy, A164 p. Kopenhagen, Goldschmidt, 2003
- [40] – Kafka, Z., Punčochářová, J., Těžké kovy v přírodě a jejich toxicita, Chemické Listy, 96, 611 – 617, 2002
- [41] - <http://www.irz.cz/>, 29.7.2014
- [42] - Bencko, V.; Cikrt, M.; Lener, J., Toxické kovy v životním a pracovním prostředí člověka, Praha: Grada Publishing, 282 s., 1995
- [43] – Cornelis, R., Handbook of element speciation II., Chichester, Wiley, 2005
- [44] - Leghouchi, E.; Laib, E., Guerbet, M., Evaluation of chromium contamination in water, sediment and vegetation caused by the tannery of Jijel (Algeria): a case study. Environ Monit Assess, 153, 111–117, 2009
- [45] – Kabata-Pendias, A., Mukherjee, A.B., Trace Elements from Soil Human, New York, Springer, 2007
- [46] – ČSN ISO 10 523
- [47] – ČSN EN 27 888
- [48] – ČSN EN ISO 9963-1
- [49] – ČSN 75 732
- [50] - ČSN ISO 6059
- [51] – ČSN ISO 6058

- [52] - ČSN EN ISO 8467
- [53] - ČSN ISO 7150
- [54] – ČSN EN 26 777
- [55] – ČSN 83 5053
- [56] - ČSN ISO 9297
- [57] - ČSN ISO 6332
- [58] – <http://www.praha-priroda.cz/odborna-verejnost/kvalita-vody/kunraticky-potok/> ,  
13.8.2014
- [59] - Jennings, T.A., Lyophilization, Introduction and basic principles, Boca Raton, CRS Press,  
2002
- [60] - US EPA: Method 3052, Microwave assisted acid digestion of siliceous and organically  
based matrices, Washington DC, USA, 1996
- [61] - Opekar, F.; Jelínek, I.; Rychlovský, P., Plzák, Z., *Základní analytická chemie pro studenty,  
pro něž analytická chemie není hlavním studijním oborem*. 1. vydání, Praha: Karolinum,  
137–139, 2007
- [62] – Krofta J. a kol., *Atomová absorpční spektrometrie; Návod pro laboratorní cvičení z  
analytické chemie II*, VŠCHT Praha, 1997
- [63] - Doležalová, L., *Toxické kovy ve vodních nádržích na území Prahy*. Diplomová práce,  
Praha, ČVUT. FSv, 145 s., 2010
- [64] - Komínková, J., *Atomová absorpční spektrometrie - stanovení rtuti pomocí analyzátoru  
AMA 254*, VŠCHT, 2010
- [65] - MŽP ČR, MZe ČR, *Vyhláška č. 257/2009 Sb. o používání sedimentů na zemědělské půdě*,  
2009
- [66] - Nábělková, J.; Komínková, D.; Šťastná, G., *Hodnocení rizika těžkých kovů v sedimentu  
drobných vodních toků pražské aglomerace*, 2003

# Přílohy

## Příloha A: Orientační mapka povodí Kunratického potoka



**Příloha B: Přehledová mapka vzorkovacích profilů**

