

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

KATEDRA VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ A ENVIRONMENTÁLNÍHO MODELOVÁNÍ



TĚŽKÉ KOVY V ŘECE OHŘI

ÚSEK SOKOLOV-KARLOVY VARY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

VEDOUCÍ PRÁCE: doc. Mgr. MAREK VACH, Ph.D.

BAKALANT: VLADIMÍR HRNKO

2016

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Vladimír Hrnko

Aplikovaná ekologie

Název práce

**Těžké kovy v řece Ohři, úsek Sokolov-Karlovy Vary**

Název anglicky

**Heavy metals in Ohře river**

---

### Cíle práce

- 1) seznámení s problematikou kvality říčních vod a sedimentů na základě literatury
- 2) praktické dovednosti z odběru vzorků a jejich zpracování v laboratoři
- 3) zhodnocení vlivu průmyslového prostředí na sledovaných ukazatelích v sedimentech

### Metodika

- 1) odběr a analýza dat dle odborné literatury
- 2) polyethylenové vzorkovnice
- 3) odběrná místa – 1. pod elektrárnou Tisová vzorek 2. střed města Sokolova–za soutokem Ohře se Svatošskou vzorek 3. Těšovice za Hexion Chemicals vzorek 4. v CHKO Slavkovský les-Svatošské skály (mezi Loktem a Doubím) vzorek 5. za soutokem Ohře a Chodovského potoka (přítok od Vřesové) vzorek 6. poslední za městem Karlovy Vary
- 4) zjišťované parametry: pH, Cd, Cr, Pb, Zn
- 5) MW rozklad vzorku a následně použita metoda AAS

**Doporučený rozsah práce**

40 stran

**Klíčová slova**

sediment, těžké kovy, chemismus vod

---

**Doporučené zdroje informací**

CIBULKA, J. *Pohyb olova, kadmia a rtuti v biosféře*. Praha: Academia, 1991. ISBN 80-200-0401-7.

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

LISCHKE, P. – GRÜNWARD, A. – HORÁKOVÁ, M. *Chemické a fyzikální metody analýzy vod*. PRAHA: SNTL, 1989.

PITTER, P. – VYSOKÁ ŠKOLA CHEMICKO-TECHNOLOGICKÁ V PRAZE. *Hydrochemie*. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2009. ISBN 978-80-7080-701-9.

PŘÍKRYL, I. – ŠTĚDRONSKÝ, E. – HARTMAN, P. *Hydrobiologie*. Praha: Informatorium, 2005. ISBN 80-7333-046-6.

---

**Předběžný termín obhajoby**

2015/16 LS – FŽP

**Vedoucí práce**

doc. Mgr. Marek Vach, Ph.D.

**Garantující pracoviště**

Katedra vodního hospodářství a environmentálního modelování

---

Elektronicky schváleno dne 10. 12. 2015

**prof. Ing. Pavel Pech, CSc.**

Vedoucí katedry

---

Elektronicky schváleno dne 10. 12. 2015

**prof. Ing. Petr Sklenička, CSc.**

Děkan

V Praze dne 04. 04. 2016

### **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením doc. Mgr. Marka Vacha, Ph.D. a použil jsem pouze podklady uvedené v seznamu použité literatury.

V Praze dne .....

Podpis .....

## **Poděkování**

Rád bych tímto poděkoval všem, kteří mi pomáhali se vznikem této práce.

Doc. Mgr. Marku Vachovi, Ph.D. za odborné vedení a pomoc při analýzách v laboratoři.

Též bych rád poděkoval mé rodině za podporu a pochopení.

## Abstrakt

V této práci jsem se zabýval kontaminací povrchových vrstev říčního sedimentu v oblastech Sokolovska a Karlovarska vybranými prvky a jejich porovnáním s údaji průmyslem nezátíženého sedimentu z oblasti Písty a limity Mezinárodní komise na ochranu Labe (MKOL).

Sedimenty byly odebírány ze sledovaného povodí řeky Ohře v úseku Sokolov-Karlovy Vary, která protéká průmyslovou oblastí Sokolovska a Karlovarska. Ve své bakalářské práci jsem hodnotil, zda je výše uvedený tok ovlivňován průmyslovou činností na základě dat z odebraných vzorků.

Jako měřítko jsem si vybral ukazatele koncentrace těžkých kovů v povrchových sedimentech říčního toku. Vzorky jsem odebíral čtvrtletně v průběhu celého roku na šesti stanovištích. Zvolil jsem tři stanoviště ve městě Sokolov a tři lokality v Karlových Varech. Pro srovnání byl jeden ze vzorků z Karlovarska odebrán v CHKO Slavkovský les – oblast Svatošské skály. Sledovanými parametry byly pH, Cd, Cr, Cu, Pb, Ni a Zn.

Vybraný úsek Ohře je v těchto ukazatelích velmi opomíjen a výsledky z mých měření mohou být důležitým podkladem pro sledování dalšího vývoje v daném toku řeky.

Klíčová slova: chemismus vod, sediment, těžké kovy

**Abstract:**

In this thesis, I dealt with the contamination of surface layers of river sediment in areas of Karlovy Vary and Sokolov selected elements and their comparison with data industry unencumbered by sediment from the area Písty and the limits of the International commission for the protection of the Elbe (MKOL).

The sediments were collected from monitored Ohře River Basin in the stretch Sokolov- Karlovy Vary, which runs through the industrial area of Karlovy Vary and Sokolov. In his thesis to prove whether the above flow influenced by industrial activities based on an evaluation of data from the samples. As a measure I chose indicators of heavy metal concentrations in surface sediments of the river flow. The samples were taken quarterly during the year at six sites. I chose three sites in Sokolov and three locations in Karlovy Vary. For comparison, one of the samples taken from the Karlovy Vary in the CHKO Slavkovský les - Svatošské skály. The monitored parameters are pH, Cd, Cr, Cu, Pb, Ni and Zn.

This locality is very ignored in these indicators and the results of my measurements can be an important basis for monitoring further developments in the river.

**Key words:** chemism of water, sediment, heavy metals

# Obsah

1. Úvod.....	10
2. Cíle práce .....	11
3. Teoretická část .....	12
3.1 Rozdělení vod.....	12
3.1.1 Atmosférické vody.....	12
3.1.2 Povrchové vody.....	13
3.1.3 Podzemní vody.....	13
3.1.4 Městské odpadní vody .....	13
3.1.5 Průmyslové odpadní vody.....	14
3.2 Chemické složení tekoucích vod.....	14
3.2.1 Koncentrace vodíkových iontů (pH).....	15
3.2.2 Plyny ve vodách .....	16
3.2.3 Sloučeniny chloru.....	16
3.2.4 Sloučeniny dusíku .....	16
3.2.5 Sloučeniny síry.....	17
3.2.6 Sloučeniny fosforu .....	17
3.2.7 Těžké kovy a jejich výskyt ve vodách a sedimentech.....	18
3.2.7.1 Měď .....	19
3.2.7.2 Zinek .....	19
3.2.7.3 Kadmium .....	19
3.2.7.4 Olovo .....	20
3.2.7.5 Nikl .....	20
3.2.7.6 Chrom .....	21
3.3 Znečištění povrchových vod .....	21
3.3.1 Eroze .....	21



3.3.2	Průmysl a energetika .....	21
3.3.3	Eutrofizace .....	22
3.4	Složení sedimentů.....	22
3.4.1	Dělení sedimentů.....	24
3.4.2	Kontaminace sedimentů .....	25
3.4.3	Procesy v sedimentech .....	25
4.	Čistící procesy ve vodě .....	25
4.1.1	Přírodní čistící procesy .....	25
4.1.2	Technické čistící procesy .....	26
5.	Charakteristika zájmového území.....	26
5.1	Geologie .....	27
5.2	Klimatické podmínky .....	28
5.3	Znečišťovatelé zájmové oblasti.....	28
5.3.1	AMATI-Denak.....	28
5.3.2	Elektrárna Tisová .....	29
5.3.3	Diamo.....	30
5.3.4	Momentive specialty chemicals .....	30
5.3.5	O-I Manufacturing Czech republic, a.s. ....	31
5.3.6	Sokolovská uhelná .....	31
5.3.7	Metalis Nejdek .....	32
6.	Metodika .....	33
6.1	Výběr lokalit.....	33
6.2	Odběr vzorků.....	34
6.3	Analýza vzorků a zpracování dat .....	35
6.3.1	Metoda AAS .....	35
6.3.2	Zpracování vzorků .....	36

7. Výsledky práce a diskuze.....	37
8. Závěr .....	44
9. Seznam literatury .....	45
10. Přílohy.....	49

## 1. Úvod

Vodní prostředí je nedílnou součástí našeho života, jehož kvalita se v průběhu staletí mění ovlivňována jevy antropogenními a přírodními.

V současné době se klade velký důraz na ochranu životního prostředí a snižování emisí těchto látek. Jejich kumulace je problematická nejen v neživé části přírody, ale též v rostlinách, ve tkáních živočichů a pochopitelně i v těle člověka.

Kontaminanty se do vod dostávají smyvem z povrchu půdy, vnášením zvětralých hornin a půdních částic nebo přímo vymýváním z atmosféry při dešťových srážkách.

Těžké kovy vody kontaminují převážně z průmyslových aglomerací ať ze vzduchu nebo formou odpadních vod. (Piter, 1999).

Ve své práci jsem zohlednil skupinu prvků označovaných jako těžké kovy, a věnoval se problematice jejich výskytu, formám a možnostem jejich eliminace.

Hodnoty mnou vyhodnocených ukazatelů se v minulosti na dané lokalitě v podstatě neřešily a nejsou tak dostupné údaje k posouzení a porovnání. Z tohoto důvodu nebylo možné provést zhodnocení vývoje v čase. Hlavní pozornost byla věnována výsledkům mnou odebraných vzorků.

## **2. Cíle práce**

Ve své práci jsem se zaměřil na porozumění problematice těžkých kovů, formám jejich výskytu a možnostem eliminace v říčních vodách a sedimentech na základě studia odborné literatury.

Také jsem přiblížil teoretické a praktické zkušenosti z odběrů, přípravy a zpracování vzorků.

V závěru jsem zhodnotil vliv průmyslového prostředí na sledovaných ukazatelích na základě získaných výsledků. Při posouzení přetrvávající zátěže lokality je nezbytné zohlednit vliv podloží dané lokality.

Z hlediska zhodnocení vývoje objemu sledovaných látek bylo žádoucí dlouholeté sledování a navázání na předchozí údaje.

### **3. Teoretická část**

Tato část práce pojednává o vztazích mezi vodou, sedimenty, ovzduším a zdroji znečištění. Dále jsou definovány jednotlivé znečišťující látky a jejich interakce s prostředím. V neposlední řadě jsou zmíněny čistící procesy, které probíhají jak přirozeně tak za přispění moderních technologií.

#### **3.1 Rozdělení vod**

Všeobecně můžeme vody rozdělit do dvou základních skupin a to na vody přírodní a odpadní. Dále je možné členění dle místa výskytu a také způsobu využití (Pitter, 1999).

##### **3.1.1 Atmosférické vody**

Jako atmosférickou vodu označujeme veškerou vodu, jež se v ovzduší nachází bez ohledu v jakém skupenství. Kondenzací vodních par v ovzduší nebo na površích vznikají srážky, jež mohou být kapalné nebo tuhé (Pitter, 1999).

- Atmosférické (vertikální) – déšť, zmrzlý déšť, mrholení, sněžení, kroupy
- Horizontální – námraza, jinovatka, rosa, mlha

Podmínkou kondenzace nebo desublimace je přítomnost kondenzačních či desublimačních jader obklopených vodními parami (Chmelová, Frajer, 2014).

Obsah chemického složení ve srážkách nám ovlivňuje vymývání aerosolů a dalších látek v oblaku a též pod oblakem. Srážky tedy mohou být významným zdrojem znečišťujících látek (Pitter, 1999).

Tyto látky jsou do ovzduší emitovány ze zdrojů znečištění nebo v něm vznikají druhotně na základě chemických nebo fyzikálních reakcí.

Míru znečištění v místním měřítku ovlivňují procesy v mezní vrstvě atmosféry. Zejména se jedná o:

- transport látek prouděním v mezní vrstvě
- rozptyl turbulentní difuzí
- usazování pevných látek, případně záchyty plyných látek na vegetaci

- chemické přeměny
- vymývání vertikálními či horizontálními srážkami

Kyselá atmosférická deprese zvyšuje mobilizaci prvků v sedimentech a vodách. Horizontální srážky mají oproti vertikálním násobně vyšší koncentrace kontaminujících látek (Vach, 2013).

### **3.1.2 Povrchové vody**

Všechny vody, které se přirozeně vyskytují na zemském povrchu, označujeme jako vodu povrchovou. Členit ji lze na kontinentální a mořskou. Kontinentální může být voda tekoucí nebo stojatá (Pitter, 1999). Složení povrchové vody ovlivňuje geologická skladba podloží a složení dnových sedimentů, hydrologicko - klimatické a půdně - botanické poměry a také antropogenní činnost (Pitter, 1999).

### **3.1.3 Podzemní vody**

Přirozeně se vyskytující voda v horninovém prostředí je označována jako podzemní (Pitter, 1999). Vyplňuje průliny, dutiny a pukliny. V přirozeném stavu se blíží k požadavkům na biologicky hodnotnou a zdravotně nezávadnou vodu (Hrádek, Kuřík, 2008).

Podzemní voda je nejčastěji doplňována infiltrací srážkových a povrchových vod. Dále pak kondenzací vodních par v půdě a také vznikem a kondenzací par z magmatu.

Specifickou formou podzemní vody je voda minerální. Takto označujeme vodu, jež překročila limitní koncentrace ve vybraných ukazatelích. Celková limitní hodnota je 1000 mg/l (Pitter, 1999).

### **3.1.4 Městské odpadní vody**

Jsou tvořeny směsicí splaškových vod, jež obsahují sodík, chloridy, sírany a fosforečnany, tenzidy, polyfosforečnany, průmyslových odpadních vod, vod dešťových a jiných vod odváděných veřejnou kanalizací (Synáčková, 1996, Pitter, 1999).

### 3.1.5 Průmyslové odpadní vody

Průmyslové odpadní vody mohou být s dominancí anorganického nebo organického znečištění:

- anorganicky znečištěné vody převážně nerozpustnými látkami jsou důlní vody, vody ze sklářského a keramického průmyslu
- anorganicky znečištěné vody převážně rozpustnými netoxickými látkami jsou vody z výroby hnojiv
- anorganicky znečištěné rozpustné látky s toxickými vlastnostmi pocházející z povrchové úpravy kovů, z radioaktivních vod
- organicky znečištěné netoxickými a biologicky rozložitelnými látkami (bílkoviny, tuky, sacharidy)
- netoxické, ale obtížně biologicky odbouratelné znečišťující organické látky (alifatické a aromatické sloučeniny s rozvětveným alkylem)
- toxické a biologicky rozložitelné látky (fenoly, organofosforové insekticidy)
- toxické a biologicky obtížně rozložitelné látky (chlorované uhlovodíky, nitroaniliny) (Pitter, 1999).

### 3.2 Chemické složení tekoucích vod

Chemické složení je dáno vzájemnou interakcí mezi půdními částicemi, sedimenty, zvětralinami a atmosférou. Zároveň je ovlivňováno komponenty z antropogenní činnosti. Kontaminace může být přímá nebo nepřímá. Anorganické kontaminanty bývají převážně vázány na tuhou fázi. Jako ukazatel slouží Dissolved transport index (DTI). Hodnota je vyjádřena % a uvádí podíl prvku transportovaného v roztoku. Indikátorem znečištění je tedy sediment.

Formy sloučenin prvků ve vodném prostředí jsou dány především pH a redox potenciálem tohoto prostředí (Skřivan, Vach, 1994).

Mineralizace tekoucích vod je obvykle dána rozmezím 100 mg/l - 500 mg/l. Nízkou mineralizaci mají vody po tání sněhu a též v horních částech toků.

Koncentrace nerozpuštěných látek je rozdílná u čistých toků a u toků znečištěných průmyslovými a městskými odpady. Znečištění se též zvyšuje v období povodní. Koncentrace kyslíku se u čistých toků nachází v rozmezí 85 – 95%

nasycení. Hodnota je ovlivňována teplotou, fotosyntézou a koncentrací biologicky rozložitelných organických látek.

Hlavním tlumivým systémem je systém uhličitanový s podílem heterogenních tlumivých systémů (sedimenty, naplaveniny obsahující  $\text{CaCO}_3$  a hlinito-křemičitany).

Dominujícím aniontem bývají hydrogen uhličitanu pocházející z geologického podloží. Následovány sírany z atmosférických depozic a také z průmyslových odpadních vod.

Dominujícím kationtem je vápník následovaný hořčíkem, případně sodíkem či draslíkem. Vápník a hořčík jsou především přírodního původu.

Dalšími látkami vyskytujícími se v povrchových vodách jsou látky organické a antropogenní (Pitter, 1999).

Přírodní voda není chemicky čistá, ale vždy obsahuje rozpuštěné plyny, rozpuštěné i nerozpuštěné organické i anorganické látky. Část látek je přijata již v atmosféře, ale k hlavnímu obohacení dochází při infiltraci půdou a horninami. (Novotný, 2003).

Dále obsahuje kationty vápníku, sodíku, hořčíku a draslíku, anionty hydrogen-uhličitanu, síranu, chloridu a dusičnanů následovány sloučeninami křemíku a rozpuštěnými plyny (převážně kyslík a oxid uhličitý). Také se zde vyskytují v malém množství organické látky, následované amoniakálním dusíkem, některými kovy, dusitany, fosforečnany, fluoridy a případně sulfidickou sírou (Pitter, 1999).

### **3.2.1 Koncentrace vodíkových iontů (pH)**

Hodnota pH, definovaná jako záporně vzatý dekadický logaritmus hydroxoniových kationtů, slouží k určení, zda roztok reaguje kyselou nebo zásaditě. Vyjadřujeme jej na stupnici 0-14. Chemicky čistá voda má pH 7, zásada 7-14, kyselina 0-7 (Pitter, 1999).

pH a oxidačně-redukční potenciál ovlivňují chemické a biochemické procesy ve vodách a mají mimořádnou důležitost. Na základě těchto hodnot můžeme rozlišit



formy některých prvků, též slouží k posouzení reaktivity vody a možného ovlivnění chemických, fyzikálně chemických a biologických procesů ve vodách (Pošta et al. 2005).

Voda patří mezi amfítropní rozpouštědla podléhající autoprotolýze, při níž ze dvou molekul rozpouštědla vzniká Brønstedova kyselina a zásada (Horáková et al. 1986).

### **3.2.2 Plyny ve vodách**

Obecným původem plynů ve vodách jsou opět přírodní nebo antropogenní děje. Ve vodě dochází k reakci na základě hodnot pH a oxidačně redukčního potenciálu (Pitter, 1999).

Volný oxid uhličitý se vyskytuje ve třech formách. Jako volně hydratovaný CO<sub>2</sub>, iontový hydrogen uhličitan a uhličitan (Horáková et al. 1986). Do vodních toků je infiltrován z atmosféry přitékající vodou, rozkladem organických látek a též dýcháním živočichů a rostlin (Hartman et al. 2005). Uhličitanový systém výrazně ovlivňuje složení a vlastnosti vod a velkou většinu procesů jejich úpravy (Synáčková, 1996).

Nejvýznamnějším z rozpuštěných plynů nacházejících se ve vodě je kyslík, jehož koncentrace je důležitým indikátorem čistoty vod (Pitter, 1999).

### **3.2.3 Sloučeniny chloru**

Chloridy přecházejí do vody zvětráváním a vyluhováním půd. Dalším zdrojem chloridů mohou být aerosoly mořské vody unášené větrem. Významné jsou také chloridy obsažené v zemědělských odpadech a v posypové soli. Zapotřebí je také zohlednit chloraci vody při hygienické úpravě vod (Pitter, 1999).

### **3.2.4 Sloučeniny dusíku**

Zdrojem dusíkatých sloučenin v povrchových vodách jsou produkty vzniklé rozkladem dusíkatých látek živočišného a rostlinného původu. Neopomenutelným zdrojem jsou splaškové vody a hnojiva v zemědělství (Pitter, 1999).

Organicky vázaný dusík je tvořen bílkovinami a jejich produkty rozkladu (peptidy, peptany, aminokyseliny, uriny a pyrimidiny).

Amoniakální dusík je primárním produktem rozkladu organických dusíkatých látek (aminoskupin) rostlinného a živočišného původu. Oxidací amoniakálního dusíku vznikají dusičnany. Ty představují společně s amoniakální formou největší znečištění vod. Biochemickou oxidací amoniakálního dusíku případně biochemickou redukcí dusičnanů vznikají dusitany. Jedná se o nestálou formu dusíku (Wittlingerová, Jonáš, 1999).

Finálním produktem mineralizace organicky vázaného dusíku jsou dusičnany. Pro ryby jsou slabě jedovaté a nepříznivě ovlivňují eutrofizaci povrchových vod (Pitter, 1999).

### **3.2.5 Sloučeniny síry**

Síra se ve vodách vyskytuje organicky a anorganicky vázaná. Jedná se o sulfan, thiokyanatany, elementární síru, siřičitany, sírany, některé bílkoviny, kyseliny a sulfo sloučeniny. Zdroji jsou odpadní vody z mořiren kovů, z městských a průmyslových exhalací (Pitter, 1999).

Většina síranů je velmi dobře rozpustná ve vodě. Méně rozpustné jsou sírany kovů alkalických zemin (Toužín, 2008). Ve velkých koncentracích se vyskytují v důlních vodách. V ostatních vodách nemají hygienický význam (Synáčková, 1996).

Siřičitany se do vod dostávají z průmyslových a městských exhalací a vyčerpávají rozpuštěný kyslík z vody. Sloučeniny síry a dusíku způsobují acidifikaci přírodních vod (Synáčková, 1996, Kvítek, 2007).

Sulfan vzniká rozkladem sulfidických rud, biologickou redukcí síranu, biologickým rozkladem sirných látek. V povrchových vodách se vyskytuje zřídka, protože je oxidován rozpuštěným kyslíkem. Ovlivňuje pach vody. Pro ryby je jedovatý (Synáčková, 1996).

### **3.2.6 Sloučeniny fosforu**

Hlavním zdrojem sloučenin fosforu v povrchových vodách jsou odpadní vody z domácností, povrchové smyvy ze zemědělských půd a odpadní vody z živočišné výroby (Wittlingerová, Jonáš, 1999). Sloučeniny fosforu se využívají při výrobě detergentů, insekticidů a herbicidů (Toužín, 2008). Fosforečnany jsou zdravotně

nezávadné. Málo rozpustné formy fosforečnanu kovu ovlivňují zbytkové koncentrace fosforu a používají se k odstranění některých kovů a fosforečnanů z vod (Pitter, 1999).

### 3.2.7 Těžké kovy a jejich výskyt ve vodách a sedimentech

Těžkými kovy nazýváme skupinu prvků s hustotou větší než 5g/cm<sup>3</sup>. Ekotoxikologická terminologie používá výraz rizikové kovy. Nejčastěji jsou zmiňovány kadmium, rtuť, olovo, chrom, ale také i měď, zinek, nikl, kobalt, mangan a železo (Prousek, 2001).

Těžké kovy nedegradují a problematická je jejich schopnost kumulace a vazby s organickými látkami. V současnosti se jedná o vážný hygienický problém (Popl, 1999, Prousek, 2001). U organismů vystavených jejich působení může docházet k denaturaci enzymů, bílkovin a ovlivnění propustnosti buněčných membrán (Hlavínek, Říha, 2004).

Tab. č. 1: procesy ovlivňující koncentraci kovů ve vodě (upraveno, Pitter, 1999).

Remobilizační procesy	Acidifikace vody
	Redukce
	Komplexace
	Desorpce
	Uvolňování z odumřelé biomasy
Imobilizační procesy	Alkalizace vody
	Oxidace
	Adsorbce na tuhých fázích
	Inkorporace do biomasy

### **3.2.7.1 Měď**

Patří mezi esenciální prvky, ale pro vodní organismy může být toxická. Rozkladem sulfidických rud chalkopyritu a chalkosinu následovány hydroxid-uhlčitany malachitem a azuritem se může dostávat do podzemních vod. Mezi antropogenní zdroje patří odpadní vody z povrchové úpravy kovů a aplikace algicidních přípravků (Synáčková, 1996, Pitter, 1999).

Do ovzduší je uvolňována při spalování fosilních paliv, odpadů a také při těžbě a zpracování měděných rud. V půdách je měď vázána na organické látky a jílové částice (IRZ, 2016).

### **3.2.7.2 Zinek**

Zinek patří mezi esenciální stopové prvky a jeho nedostatek může být příčinou zdravotních potíží. Na druhou stranu může být v závislosti na formě výskytu a přípustné koncentraci a celkovém složení vody škodlivý pro ryby a jiné vodní organismy. Velmi citlivé jsou lososovité ryby. Z těla člověka se snadno vylučuje a proto je kumulace v tkáních zanedbatelná. Zinek je běžnou součástí hornin, sedimentů a půd. Rozpuštěný se sorbuje na jíly a huminové koloidy. Mezi antropogenní zdroje patří spalování fosilních paliv, těžba a zpracování zinkových rud. (Pitter, 1999, IRZ, 2016).

### **3.2.7.3 Kadmium**

Jeden z nejvíce toxických prvků v životním prostředí, který je součástí hornin i sedimentů a často doprovází zinek v jeho rudách. S nižším pH se jeho mobilita zvyšuje (Fajtl et al. 2001).

Často se nachází v horní části půdního profilu odkud dochází k jeho smyvu vlivem dešťů. Koncentrace kadmia se liší dle typu půdy (Nordberg et al. 2007).

S rostoucím pH rozpustnost kadmia klesá, v alkalických půdách je téměř imobilní. Zvyšování mobility ovlivňuje i přítomnost  $\text{Cl}^-$  (Beneš, 1994).

Vazbu kadmia na částice sedimentu na rozhraní sediment-voda ovlivňuje redox potenciál, pH a salinita ovlivňuje stabilitu jeho forem. Studie sedimentů ukazují, že většina kadmia je vázána na výměnná místa, uhlíčanovou frakci a na

minerální oxidy železa a manganu, jež jsou náchylné k remobilizaci ve vodě. Zvýšený obsah chloridových komplexů snižuje adsorpci kadmia v sedimentu, čímž se zvyšuje mobilita kadmia a klesá koncentrace rozpuštěných  $\text{Cd}^{2+}$  (John, Leventhal, 1995).

Významným zdrojem kadmia je spalování fosilních paliv a nemocniční odpad. Do vod je uvolňováno s odpadními vodami z galvanického pokovování a výroby baterií. Do půdy se převážně dostává atmosférickou depozicí městských průmyslových aerosolů (IRZ, 2016).

#### **3.2.7.4 Olovo**

Olovo je látkou toxickou a ve vodách velmi nebezpečnou. Vykazuje značný akumulační efekt a jeho obsah narůstá nejen v sedimentech a kalech, ale i v organismech, čímž způsobuje chronické otravy (Synáčková, 1996, IRZ, 2016).

V přírodních vodách se vyskytuje především ion  $\text{Pb}^{2+}$  v závislosti na pH a koncentraci oxidu uhličitého. V alkalickém prostředí je zastoupen hydrokomplexy  $[\text{PbOH}]^+$  a  $[\text{Pb}(\text{OH})_2(\text{aq})]^0$  (Pitter, 1999). Anorganické sloučeniny jsou bohatě zastoupeny v sedimentech, ale ve vodách mají nízkou rozpustnost. Za běžných podmínek není olovo moc mobilní, ale za více kyselých se stává více rozpustným. Redox potenciál jej ovlivňuje velmi málo. Pokud je sediment bohatý na železo, inhibuje biodostupnost olova. U jezerních a říčních sedimentů je olovo vázáno na uhličitanovou frakci nebo na oxidy železa a manganu. Jsou citlivé na remobilizaci ve vodě. Olovo je méně mobilní než kadmium (John, Leventhal, 1995).

Množství olova v atmosféře snížilo nahrazení olovnatého benzínu bezolovnatým (IRZ, 2016).

#### **3.2.7.5 Nikl**

Přestože nikl není příliš toxický, patří mezi potenciální karcinogeny. Pro vodní organismy může být velmi toxický. Vyskytuje se obvykle v minerálech společně se sírou, arsenem a případně antimonem. Antropogenním zdrojem jsou především odpadní vody z povrchové úpravy kovů a barevné metalurgie. Ve sklářském a keramickém průmyslu se používá jako katalyzátor. Ve vodách je

přítomen jako jednoduchý iont  $\text{Ni}^{2+}$ , v alkalickém prostředí jako hydrokomplex  $[\text{NiOH}]^+$  (Pitter, 1999).

### **3.2.7.6 Chrom**

Chrom patří mezi esenciální prvky, ale ve vyšších koncentracích je toxický. Toxické jsou především sloučeniny  $\text{Cr}^{\text{VI}}$ . Vyskytuje se jako minerál chromid a krokoit. Mezi antropogenní zdroje patří odpadní vody z kožedělného a textilního průmyslu, též z barevné a povrchové úpravy kovů (Pitter, 1999).

Do ovzduší se dostává navázaný na prachové částice uvolňované při spalování fosilních paliv. V atmosféře přetrvává přibližně 10 dní, než je suchou či mokrou depozicí převeden do vody nebo půdy.

Vysoké koncentrace též vykazuje voda z hydraulické dopravy popílku (IRZ, 2016).

## **3.3 Znečištění povrchových vod**

Vody jsou vystaveny znečištění zejména při průtoku vody po půdním pokryvu nebo průsakem půdou. Kontaminace vod může být přírodního nebo antropogenního původu případně jejich kombinace (Tlapák et al. 1992).

### **3.3.1 Eroze**

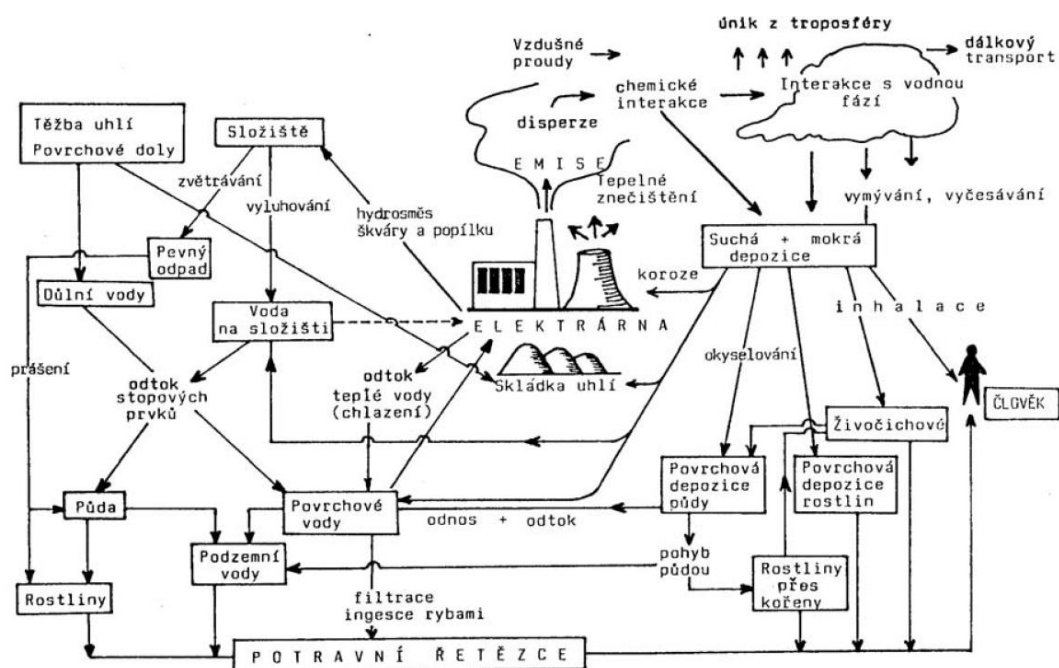
Při tomto procesu dochází k rozrušování půdy a jejímu odnášení vodou nebo větrem. Tyto erozní produkty pak následně zanášejí vodní toky a nádrže. Dochází také k transportu možných kontaminujících látek (Tlapák et al. 1992).

Erozi vodního toku můžeme rozdělit na hloubkovou, boční, zpětnou a speciální. Erozi uvolněný materiál nazýváme splaveniny, které můžeme rozdělit na plaveniny a dnové splaveniny (Chmelová, Frajer, 2014).

### **3.3.2 Průmysl a energetika**

Tato odvětví jsou výraznými znečišťovateli vodních toků zejména jejich záměrným umístěním v jejich blízkosti. Tyto toky slouží nejen jako zdroj vody, ale jsou do nich vypouštěny odpadní látky (Vančura, 2007).

Obr. č. 1 : pohyb prvků v okolí tepelné elektrárny (Cibulka, 1991).



### 3.3.3 Eutrofizace

Tímto termínem se označuje obohacování stojatých a tekoucích vod živinami, především dusíkem a fosforem. Přirozeně se uvolňují výluhem z půdy a také z rozkladu odumřelých organismů. Mezi antropogenní zdroje patří smývání dusíkatých a fosforečných hnojiv a přísun ze splaškových vod (Kvítek, 2003). V takto postižených vodách se zvyšuje tvorba vodního květu, která vede ke značnému organickému znečištění vody (Wittlingerová, Jonáš, 1999). Důsledkem je snížení samočisticí schopnosti vod, produkce toxických látek a narušení kyslíkového režimu (Kočí, 2000).

### 3.4 Složení sedimentů

Sedimenty se v tocích přirozeně vyskytují a jsou rozmanitého složení. Obsahují látky organické i anorganické, které mohou být krystalické, amorfni, ve formě koloidní či částicové. Navíc je zde v různých poměrech zastoupena voda a plyny. Je to systém, v němž dochází k výměně hmoty a energie a ustanovuje se zde rovnováha (Koplík, 1997; Borovec, 1994). Dynamika vodního toku nám jednotlivé částice dělí podle jejich velikosti a váhy. Těžší částice usedají dříve než lehčí částice,

které jsou unášeny dále od svého zdroje. Navíc jsou ve vodním sloupci suspendovány déle (Chapman, 1996).

Erodované horniny jsou dále unášeny tokem a postupně podléhají abrazi. Její velikost závisí na velikosti, složení, tvaru apod. a na rychlosti a délce samotného transportu. Určitá část takto uvolněných částic je vodou transportována ve formě pravých nebo koloidních roztoků (Zimák, 2005).

Sedimenty nám slouží nejen jako ukazatel kvality vodního toku, ale také celého životního prostředí. Reagují totiž velmi citlivě na kontaminaci těžkými kovy. Hodnotu kontaminace stanovujeme na základě faktoru obohacení (enrichment factor):

$$EF = \frac{[M]_{\text{sed}} \cdot [Sc]_{\text{hor}}}{[M]_{\text{hor}} \cdot [Sc]_{\text{sed}}}$$

$[M]_{\text{sed}}$  a  $[M]_{\text{hor}}$  vyjadřuje koncentraci prvku v sedimentu a hornině,  $[Sc]_{\text{hor}}$  a  $[Sc]_{\text{sed}}$  jsou tyto koncentrace pro scandium jako typický prvek s minimálním rozsahem antropogenní mobilizace.

Zachytávanými látkami jsou kovy, organické látky, ale i živiny a patogeny, které se zde kumulují a sorbují na organickou i anorganickou fázi sedimentů. Zádržná kapacita kontaminantů je omezená a při jejím překročení se stávají zdrojem znečištění vodního toku.

Důležitým ukazatelem mající souvislost s kontaminací sedimentů je DTI (dissolved transport index) vyjadřující procentuální zastoupení prvku v roztoku.

Mnou sledované kovy se pohybují pro Cu a Zn kolem 20%, Ni přibližně 9%, pro Cr a Pb v rozmezí 3-5% (Skřivan, Vach, 1994, Burton, 2002).



Obr. č. 2: výskyt chemických forem kovů (převzato a upraveno, John, Leventhal, 1995).



### 3.4.1 Dělení sedimentů

Složky sedimentu můžeme rozčlenit podle způsobu, jakým se stávají součástí dnového sedimentu.

- Endogenní složka - tento druh sedimentu vzniká přímo ve vodním toku a není zapotřebí transportu z okolního prostředí. Patří sem látky vzniklé chemickým srážením.
- Alogenní složka – sediment se dostává do toku z okolí splachem dešťové vody. Transportují se tak zejména jílové minerály a oxidy manganu a železa.
- Autigenní složka – vzniká uložením sedimentu po vnitřní reorganizaci jednotlivých složek. Přeměňují se již vzniklé látky a dochází k vzájemnému promíchávání komponent (Borovec, 1994).

Dále můžeme sedimenty členit podle velikosti a hustoty částic, které jsou důležité při transportu a akumulaci kontaminantů (Mudroch, 1997).

- Jemný jíl –  $< 0,06 \mu\text{m}$
- Střednozrný silt –  $6,3 - 20 \mu\text{m}$
- Střednozrný jíl –  $0,06 - 0,63 \mu\text{m}$
- Hrubozrný silt –  $20 - 63 \mu\text{m}$

- Hrubý jíl – 0,63 – 2,0  $\mu\text{m}$
- Písek - > 63  $\mu\text{m}$
- Jemný silt – 2,0 – 6,3  $\mu\text{m}$
- Úlomky, štěrky, kameny > 2 mm

### 3.4.2 Kontaminace sedimentů

Jelikož jsou sedimenty propojeny se složením vodní fáze, projeví se kontaminace vody i znečištěním sedimentu. Voda je nejvíce znečišťována odpadními vodami jak z průmyslu, zemědělství či vodou komunální. Mezi další zdroje patří atmosférická depozice anebo průsak kontaminovaných vod (Wittlingerová, Jonáš, 2002).

### 3.4.3 Procesy v sedimentech

Reakce v sedimentu souvisí s podmínkami, v jakých se sediment nachází, především s ohledem na kyslík, který určuje, zda reakce probíhají v anoxickém nebo aerobním prostředí. Kontaminanty se navazují převážně na malé částice, protože mají větší aktivní povrch (Burton, 2002). Překrýváním a utužováním vrstev sedimentu dochází ke změnám v přístupu ke kyslíku. Sediment, nacházející se v redukčním prostředí má jiný obsah prvků, než sediment, který má kyslíku k dispozici dostatek. V anaerobních podmínkách tvoří kovy především sulfidy (Borovec, 1994).

## 4. Čistící procesy ve vodě

### 4.1.1 Přírodní čistící procesy

Děje, jejichž výsledkem je zlepšení kvality vody v daném toku bez zásahu člověka. Míra samočisticí schopnosti toku ukazuje na jeho ekologický stav a zároveň výši ovlivnění člověkem. Účinnost těchto dějů je ovlivněna zejména vlastnostmi koryta toku, prouděním vody, vegetací, příjmem slunečního záření a rozsahem znečištění (Langhammer, 2009).

Jedná se o procesy probíhající dle fyzikálních, chemických, biologických a biochemických základů, jimiž se přírodní vody zbavují znečišťujících látek. Mezi

tyto děje patří sedimentace nerozpuštěných látek, jejich odplavování a přestup kyslíku ze vzduchu do vody (Pošta, 2005).

Při chemických pochodech dochází k srážecím, neutralizačním a oxidačně redukčním reakcím (Synáčková, 1996).

#### **4.1.2 Technické čisticí procesy**

Průmyslovou výrobou vznikají látky, které jsou také součástí odpadních vod. Jejich odstraňování je však proces různorodý a složitý. Jednou z možností, jak eliminovat znečištění těžkými kovy je využití lignitu jako sorpčního materiálu. Vhodný je zejména pro sorpci iontů mědi, kadmia, zinku a olova (Chempoint, 2015).

Další metodou je využití materiálu na bázi hydroxidu železa označovaném jako CFH, jenž je vhodný k odstraňování arsenu, selenu, fosforu, niklu, olova a dalších kovů adsorpcí z vody (TZB, 2014).

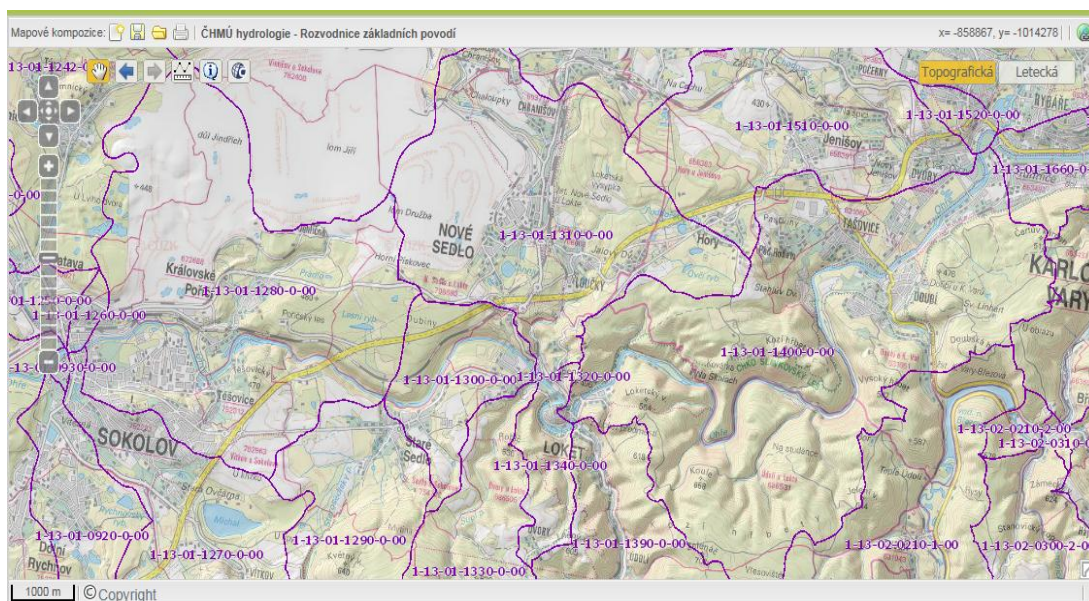
Jiným postupem odstraňování těžkých kovů z vody je využití přirozené schopnosti organismů kumulovat v sobě tyto látky. Podle způsobu akumulace těchto prvků rozlišujeme několik způsobů dle mechanismu reakce. Jedná se o extracelulární srážení kovů, vazba k povrchu buňky, intracelulární akumulace, či volatizace (Gate2biotech, 2009).

## **5. Charakteristika zájmového území**

Lokalita se nachází v oblasti Karlovarského kraje v okresech Sokolov a Karlovy Vary. Oblast Karlovarska spadá do Krušnohorské subprovincie, kterou můžeme rozdělit na Krušnohorskou hornatinu, Podkrušnohorskou oblast tvořenou Sokolovskou pánví a Doupovskými horami a poslední částí je Karlovarská vrchovina, v níž se nachází i oblast CHKO Slavkovský les s oblastí Svatošských skal, jež byla jedním z odběrných míst (MMKV, 2014).

Sledované povodí řeky Ohře prochází třemi lokalitami - Chebsko, Sokolovsko a Karlovarsko. Jednotlivá povodí po proudu Ohře jsou 1-13-01-091, 1-13-01-125, 1-13-01-128, 1-13-01-140, 1-13-01-152, 1-13-02-039.

Obr. č. 3: rozvodnice základních povodí v oblasti (GEOPORTAL, 2015).



## 5.1 Geologie

Sledovanou oblast karlovarského kraje třeba rozlišit na oblast Karlovarska a Sokolovska.

Karlovarska se nachází v sasko-durynské oblasti, v soustavě Český masiv-krytalinikum a prevariské paleozoikum. Regionem je krušnohorský pluton, horninou granit, granodiorit a lamprofy (příloha č. 2).

Sokolovsko se rozprostírá v oblasti kvartéru a terciéru, v soustavě Český masiv – pokryvné útvary a postvariské magmatity. Region je tvořen Podkrušnohorskými pánvemi, v jednotce mostecká a sokolovská pánev, horninou je písčito-hlinitý až hlinito-písčité sediment, pískovec, křemenec, uhlí (příloha č. 3).

V oblasti jsou četná ložiska nerostů. Nejčastěji se jedná o těžbu hnědého uhlí, pyritu a stopových prvků, bituminózních břidlic, cihlářských surovin a kaolínů, bentonitu, šterkopísků (příloha č. 4) (Cháb a kolektiv, 2007, Geology, 2015).

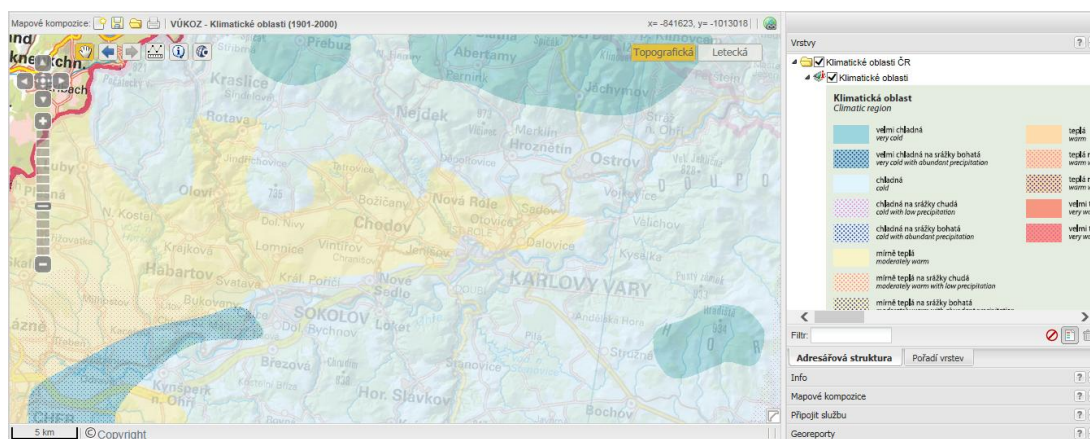
Dnové sedimenty jsou složeny z křemene, jílových minerálů, vápenatých a draselných živců a v menší míře z minerálu amfibol, kalcit a lepidokrokrit (USMH, 2016).

## 5.2 Klimatické podmínky

Sledovaná oblast Karlovarského kraje náleží do chladné a mírně teplé klimatické oblasti. Přebývá západní nebo severozápadní proudění. Průměrné srážky se pohybují kolem 700 mm/rok s průměrnou teplotou kolem 7 stupňů Celsia.

Na kvalitě ovzduší se podílejí průmyslové podniky, automobilová doprava, těžba a následné zpracování uhlí (MUSO, 2014).

Obr. č. 4: klimatické regiony sledované části Karlovarského kraje (GEOPORTAL, 2016).



## 5.3 Znečišťovatelé zájmové oblasti

V následujících kapitolách se budu věnovat největší znečišťovatelům v zájmové oblasti. Zdroje znečištění jsou různorodé a ne všechny lze zaznamenat.

V dané oblasti jsou staré ekologické zátěže, především se jedná o skládky pesticidů, vojenské základny, úložiště těžebních odpadů, důlní vody apod. (MMKV, 2014).

Dle (CHMI, 2016) je kovy a metaloidy zatížen v povodí nejvíce Chodovský potok, odběrné místo Dvory).

### 5.3.1 AMATI-Denak

Společnost zabývající se výrobou hudebních nástrojů (Amati, 2015).

Napojeno na potok Svatavu vedoucí do Sokolova k odběrnému místu č. 2.

Tab. č. 2: přenosy Cu, Pb a Zn v odpadech v kg/rok, AMATI-Denak (Cenia, 2014).

### Data

Za hodnotou úniku/přenosu je uvedena metoda zjišťování: C - výpočet, E - odhad, M - měření.  
V případě odpadů je navíc uvedeno určení odpadu (R,D): R - recyklace, D - odstranění.

Organizace/provozovna	Úniky do ovzduší [kg/rok]	Úniky do vody [kg/rok]	Úniky do půdy [kg/rok]	Přenosy v odp. vodách [kg/rok]	Přenosy v odpadech [kg/rok]
<b>AMATI - Denak, s.r.o.</b>					
<u>AMATI - Denak s.r.o., závod 1 Kraslice</u>					
Měď a sloučeniny (jako Cu)	0	0	0	0	9263 [E][R]
Olovo a sloučeniny (jako Pb)	0	0	0	0	403 [E][R]
Tetrachlorethylen (PER)	0	0	0	0	4900 [E][D]
Zinek a sloučeniny (jako Zn)	0	0	0	0	5582 [E][R]

### 5.3.2 Elektrárna Tisová

Elektrárna se nachází na pravém břehu řeky Ohře v západní části Sokolovské pánve. Leží v pomyslném středu lázeňského trojúhelníku v nadmořské výšce 405 m.n.m. Lokalita byla vybrána s ohledem na dostupnost vody a uhlí. Elektrárnu lze rozdělit na dva technologické celky o výkonu 212 MW a 300 MW, a jejichž výstavba začala v roce 1954.

Již v devadesátých letech začalo postupné snižování výkonu a s novou legislativou na ochranu vod a ovzduší docházelo též ke změně technologií. Odsíření probíhalo v letech 1995-7. Modernizací prošlo také odkaliště a čistírna odpadních vod, která je přímo v areálu. V současné době je výkon 183,8 MW a 112 MW.

Zdrojem paliva je hnědé uhlí a od roku 2004 z 20 % dřevní štěpka (CEZ, 2015).

Tab. č. 3: úniky Cd, Pb, Ni a jejich sloučenin do ovzduší v kg/rok. Elektrárna Tisová (Cenia, 2014).

#### Data

Za hodnotou úniku/přenosu je uvedena metoda zjišťování: C - výpočet, E - odhad, M - měření.  
V případě odpadů je navíc uvedeno určení odpadu (R,D): R - recyklace, D - odstranění.

Organizace/provozovna	Úniky do ovzduší [kg/rok]	Úniky do vody [kg/rok]	Úniky do půdy [kg/rok]	Přenosy v odp. vodách [kg/rok]	Přenosy v odpadech [kg/rok]
ČEZ, a. s.					
<u>Teplárny Hodonín, Poříčí, Tisová a Trmice - lokalita Tisová</u>					
Arsen a sloučeniny (jako As)	235,93558 [M]	0	0	0	0
Fluor a anorganické sloučeniny (jako HF)	11668,46451 [M]	0	0	0	0
Chlor a anorganické sloučeniny (jako HCl)	15916,38567 [M]	0	0	0	0
Kadmium a sloučeniny (jako Cd)	12,89871 [M]	0	0	0	0
Nikl a sloučeniny (jako Ni)	489,99263 [M]	0	0	0	0
Olovo a sloučeniny (jako Pb)	364,62285 [M]	0	0	0	0
Oxid uhlíčitý (CO <sub>2</sub> )	1449141022 [M]	0	0	0	0
Oxidy dusíku (NO <sub>x</sub> /NO <sub>2</sub> )	1343949 [M]	0	0	0	0
Oxidy síry (SO <sub>x</sub> /SO <sub>2</sub> )	4169303 [M]	0	0	0	0
Polétavý prach (PM <sub>10</sub> )	78670,1 [M]	0	0	0	0
Rtuť a sloučeniny (jako Hg)	75,32712 [M]	0	0	0	0

### 5.3.3 Diamo

Společnost zabývající se zpracováním mědi, těžbou cínu a uranových rud a ukládáním hlušiny z těžby uranových rud v oblasti Horního Slavkova a Hájku. V současné době je již vlastní těžba ukončena, ale problémem zůstávají kontaminované důlní vody a průsaky z odkališť, které se dostávají až do řeky Ohře v oblasti Lokte a Karlových Varů (Stoka a Rolava). Průsakem z odkališť se nejvíce vyplavují radionuklidy a oxidy železa (Diamo, 2015).

Tab. č. 4: úniky As a jeho sloučenin do vody v kg/rok. Diamo (Cenia, 2014).

#### Data

Za hodnotou úniku/přenosu je uvedena metoda zjišťování: C - výpočet, E - odhad, M - měření.  
V případě odpadů je navíc uvedeno určení odpadu (R,D): R - recyklace, D - odstranění.

Organizace/provozovna	Úniky do ovzduší [kg/rok]	Úniky do vody [kg/rok]	Úniky do půdy [kg/rok]	Přenosy v odp. vodách [kg/rok]	Přenosy v odpadech [kg/rok]
DIAMO, státní podnik					
<u>DIAMO, s. p., o. z. SUL Příbram - čistírna důlních vod Horní Slavkov</u>					
Arsen a sloučeniny (jako As)	0	86,6 [M]	0	0	0

### 5.3.4 Momentive specialty chemicals

Chemické závody v Sokolově byly založeny v roce 1917. Nejprve se specializovaly na výrobu karbidu vápníku doprovázená elektrochemickými a



elektrotermickými technologiemi. Na konci 60. let byla zahájena výroba kyseliny mravenčí. V polovině 70. let se přidružily experimenty s akrylátovou chemií. V současnosti se vyrábí stavební chemie, akrylová chemie a polymery, akryly a jejich estery (CSPCH, 2015).

Tab. č. 5: úniky odpadních látek do ovzduší v kg/rok. Momentive speciality chemicals (Cenia, 2014).

#### Data

Za hodnotou úniku/přenosu je uvedena metoda zjišťování: C - výpočet, E - odhad, M - měření.  
V případě odpadů je navíc uvedeno určení odpadu (R,D): R - recyklace, D - odstranění.

Organizace/provozovna	Úniky do ovzduší [kg/rok]	Úniky do vody [kg/rok]	Úniky do půdy [kg/rok]	Přenosy v odp. vodách [kg/rok]	Přenosy v odpadech [kg/rok]
Hexion a.s.					
<b>Momentive Specialty Chemicals, a.s.</b>					
Oxid uhličitý (CO2)	100980000 [C]	0	0	0	0
Oxidy dusíku (NOx/NO2)	106019 [M]	0	0	0	0
Oxidy síry (SOx/SO2)	248662 [M]	0	0	0	0

### 5.3.5 O-I Manufacturing Czech republic, a.s.

Společnost je jedním ze světových lídrů ve výrobě skla. Mezi produkty patří lahve pro pivo, víno, lihoviny, nealkoholické nápoje, obaly pro farmaceutický průmysl apod. Zároveň také dodávají sklo pro domácnosti ( O-I, 2015).

Tab. č. 6: úniky arsenu, olova a jejich sloučenin do ovzduší v kg/rok O-I Manufacturing ( Cenia, 2014).

#### Data

Za hodnotou úniku/přenosu je uvedena metoda zjišťování: C - výpočet, E - odhad, M - měření.  
V případě odpadů je navíc uvedeno určení odpadu (R,D): R - recyklace, D - odstranění.

Organizace/provozovna	Úniky do ovzduší [kg/rok]	Úniky do vody [kg/rok]	Úniky do půdy [kg/rok]	Přenosy v odp. vodách [kg/rok]
O-I Manufacturing Czech Republic, a.s.				
<b>O-I Manufacturing Czech Republic, a.s., závod Nové Sedlo</b>				
Arsen a sloučeniny (jako As)	75,46 [M]	0	0	0
Olovo a sloučeniny (jako Pb)	397,554 [M]	0	0	0
Oxidy dusíku (NOx/NO2)	287365 [M]	0	0	0

### 5.3.6 Sokolovská uhelná

Společnost je jedním z největších výrobců elektrické energie v ČR a též nejmenší hnědouhelnou těžební společností. Hlavními výrobky jsou elektrická



energie, teplo, energetické uhlí a karbochemické produkty. Vyrábí kolem 3,5 TWh elektrické energie a 1800 TJ tepla ročně. Vyráběnými produkty a meziprodukty jsou fenolový koncentrát, kapalný čpavek, hnědouhelný generátorový dehet, kyselina sírová, energosádrovec a popílek. Zároveň hraje významnou roli v rekultivaci a revitalizaci krajiny a odborné likvidaci odpadů vzniklých průmyslovou činností (SUAS, 2015).

Tab. č. 7: úniky odpadních látek do ovzduší a vody. Sokolovská uhelná (Cenia, 2014).

#### Data

Za hodnotou úniku/přenosu je uvedena metoda zjišťování: C - výpočet, E - odhad, M - měření.  
V případě odpadů je navíc uvedeno určení odpadu (R,D): R - recyklace, D - odstranění.

Organizace/provozovna	Úniky do ovzduší [kg/rok]	Úniky do vody [kg/rok]	Úniky do půdy [kg/rok]	Přenosy v odp. vodách [kg/rok]	Přenosy v odpadech [kg/rok]
<b>Sokolovská uhelná, právní nástupce, a.s.</b>					
<u>Sokolovská uhelná, právní nástupce, a.s. - zpracovatelská část</u>					
Arsen a sloučeniny (jako As)	36,037 [M]	2095 [M]	0	0	0
Celkový dusík	0	62713 [M]	0	0	0
Fenoly (jako celkové C)	0	60,82 [M]	0	0	0
Fluor a anorganické sloučeniny (jako HF)	8189 [M]	0	0	0	0
Chlor a anorganické sloučeniny (jako HCl)	10818 [M]	0	0	0	0
Kyanidy (jako celkové CN)	0	108,1 [M]	0	0	0
Nikl a sloučeniny (jako Ni)	0	40,5 [M]	0	0	0
Oxid uhelnatý (CO)	625699 [M]	0	0	0	0
Oxid uhličitý (CO <sub>2</sub> )	4098901000 [M]	0	0	0	0
Oxidy dusíku (NO <sub>x</sub> /NO <sub>2</sub> )	2392161 [M]	0	0	0	0
Oxidy síry (SO <sub>x</sub> /SO <sub>2</sub> )	3732355 [M]	0	0	0	0
Rtuť a sloučeniny (jako Hg)	58 [M]	0	0	0	0

### 5.3.7 Metalis Nejdek

Společnost byla založena v roce 1813 a do roku 1941 se zabývala převážně výrobou ze železa. V současné době se zabývá zpracováním neželezných kovů se zaměřením na slitiny hliníku.

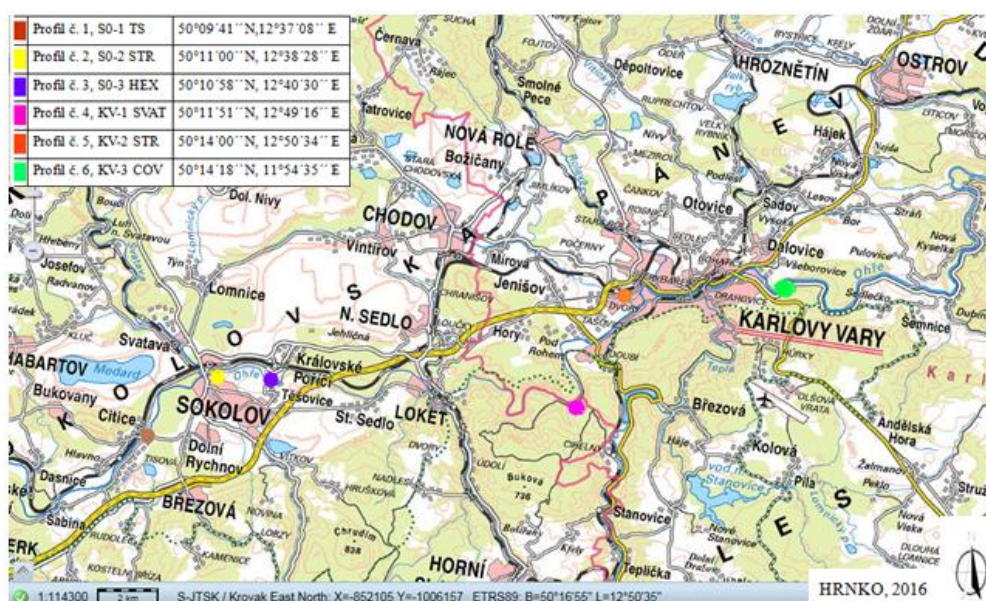
## 6. Metodika

Výběr lokalit, odběr, uskladnění a zpracování vzorků byl proveden v souladu s odbornou literaturou. Zároveň jsem vycházel z české technické normy ČSN ISO 5667-12 jakost vod – odběr vzorků.

### 6.1 Výběr lokalit

Při výběru lokalit jsem vycházel ze zadání práce s ohledem na jednotlivá odběrná místa. Ta jsem konkrétně zvolil na základě umístění v toku, snadné dostupnosti v průběhu celého roku, kdy byly prováděny odběry. Stanoviště také využívala orientační body k snadnému nalezení. Vlastní dno odpovídalo snadnému odběru vzorku sedimentu. Vzorky jsem odebíral na šesti stanovištích.

Obr. č. 5: odběrná místa (upraveno dle GEOPORTAL, 2016).



Odběrné místo č.1: se nachází několik set metrů pod elektrárnou Tisová (SO-1/TIS).

Odběrné místo č.2: se nachází v centru Sokolova pod soutokem s řekou Svatavou, jejímž přítokem je Lomnický potok (SO-2/STR).

Odběrné místo č.3: v těchto místech opouští řeka Ohře Sokolov. Na jejím břehu se nachází chemický závod Momentive specialty chemicals (SO-3/HEX).

Odběrné místo č.4: je umístěno v lokalitě Svatošských skal v CHKO Slavkovský les (KV-1/SVT).

Odběrné místo č.5: tento profil je v centru Karlových Varů pod soutokem s Chodovským potokem, jenž přivádí vodu z oblasti Vřesové (KV-2/STR).

Odběrné místo č.6: posledním profilem je místo na konci Karlových Varů, za čističkou odpadních vod, bývalými garážemi a dílnami dopravního podniku Karlovy Vary (KV-3/COV).

## 6.2 Odběr vzorků

Vzorkovnice včetně pístového odběráku jsem před naplněním řádně vypláchnul vodou z řeky v daném místě. Pro odběr byla použita lékárenská výplachová stříkačka 60 a 150 ml. Jednotlivé vzorkovnice jsem označil písmenným a číselným kódem, aby nebyla možná jejich záměna.

Vzorky jsem odebíral nasáváním vrchních vrstev sedimentu z hloubky cca 2 cm. Sediment uložen do polyuretanové vzorkovnice. Po usazení vzorku přebytečná voda odsáta a dle potřeby vzorek doplněn dalším odběrem. Dostatečné množství vzorku bylo získáno spojením 2-3 odběrů z daného místa. Vzorkovnice uloženy v chladu v pouzdře a skladovány při teplotě mezi 5-7 °C.

Přímo na místě jsem změřil teplotu a pH vody pomocí pH metru 330i společnosti WTW. Zařízení bylo před odběry kalibrováno dvoubodovou metodou dle pokynů výrobce za pomoci tlumivých roztoků.

První odběry probíhaly v březnu 2015 a vybraná stanoviště se zdála vhodná i pro odběry během roku. Později se ukázalo, že ne vždy byl odběr bez komplikací. Tok je dosti narovnaný, s nízkými a zároveň hlubokými břehy. Pozvolných míst je velmi málo. Klimatické podmínky pak relativně snadno ovlivňovaly průtoky a výšku hladiny sledovaného toku.

Odběr č. 1: březen 2015, hladina řeky stabilní, odběry bez komplikací, přístup velmi dobrý. V době odběru bylo jasno, v noci krátký deštík. Jinak uplynulý týden bez deště a sněhu.

Odběr č. 2: červenec 2015, hladina velmi snižená, ústup hladiny od břehu o cca 0,75 m. Období tropických teplot, bez srážek, skoro jasno.

Odběr č. 3: říjen 2015, mlhy, polojasno, týden s dešťovými srážkami, zvýšení hladiny řek o cca 0,4 m oproti březnovému odběru. Na odběrném místě č. 1 u Tisové nebyl odběr možný, neboť nebyl k řece přístup. Musel jsem se posunout proti proudu řeky o přibližně 150 m, kde bylo odběr možné provést. Obtížnější odběr byl též na posledním profilu č.6, kde jej komplikoval vysoký stav vody.

Odběr č. 4: leden 2016, zataženo, v uplynulém týdnu byla obleva a déšť. Po poklesu hladiny ještě stále zvýšený průtok. Na profilu č. 1 byly břehy velmi podmáčené, splachy okolní půdy do řeky. Na profilu číslo 2 byl odběr posunut o několik metrů. Původní místo bylo zaplaveno a nepřístupné. Profil č. 6 byl podmáčený, smyvy z okolní půdy. Ostatní stanoviště byla již standardní.

### **6.3 Analýza vzorků a zpracování dat**

Vzorky byly analyzovány v analytické laboratoři v Kostelci nad Černými lesy. Stanovoval jsem koncentrace Pb, Cd, Cr, Cu, Ni a Zn.

Analýza byla po úpravě vzorku prováděna metodou AAS ETA, se Zeeman korekcí.

#### **6.3.1 Metoda AAS**

Atomová absorpční spektrometrie je založena na absorpci elektromagnetického záření volnými atomy v plynném stavu. Převedení atomů z roztoku na formu volných atomů v plynném stavu je nezbytným předpokladem pro použití této metody. Tento proces, zvaný atomizace, vyžaduje prostředí s vysokou teplotou (2 000 až 3 000 K) a je uskutečňován nejčastěji pomocí plamene nebo elektrotermicky (Čůta et al. 1986).

Tyto volné atomy absorbují fotony určité energie, tj. záření o určité vlnové délce odpovídající optickému přechodu mezi atomem v základním stavu a atomem v excitovaném stavu, čímž dochází k excitaci valenčních elektronů prvku ze základní do vyšší energetické hladiny (Komárek, 2000). Takovéto přechody jsou označovány jako rezonanční a stanovení určitého prvku je prováděno obvykle na té rezonanční

čáře, kde je naměřená absorpce největší. Pro určitý atom existuje charakteristická energetická hladina fotonů a počet absorbovaných fotonů je úměrný množství atomů v základním stavu. Vzniklé excitované atomy nejsou stabilní a během velice krátké doby (řádově  $10^{-8}$  až  $10^{-9}$  s) přecházejí zpět do základního stavu. Na základě této skutečnosti lze počet atomů v excitovaném stavu oproti množství atomů v základním stavu zanedbat a koncentraci atomů v základním stavu tak ztotožnit s celkovou analytickou koncentrací atomů prvku. Hodnota absorpce je tedy závislá na celkové koncentraci atomů stanovovaného prvku ve vzorku (Čůta et al. 1986).

Metoda se obecně vyznačuje vysokou citlivostí a specificitou pro daný prvek. AAS s elektrotermickou atomizací (AAS-ETA) je obvykle o jeden až dva řády citlivější než při atomizaci plamenem. Při vyhodnocování koncentrace prvku ve vzorku se vychází z naměřené absorpce, která je následně porovnávána s absorpencemi standardů metodou standardního přídatku nebo kalibrační křivky (Spěváčková, 1998).

Při měření je též zapotřebí počítat s pozitivní chybou a je nutné od celkové absorpce odečíst absorpci pozadí tak, abychom získali specifické hodnoty sledovaných hodnot.

Korekce provedená s využitím Zeemanova jevu. Principem je štěpení spektra pomocí magnetického pole (Komárek, 2000).

### **6.3.2 Zpracování vzorků**

Po odběru byly vzorky uloženy v polyuretanových nádobkách a uloženy do přepravního boxu. Byly skladovány v chladu a temnu do doby jejich zpracování.

Jednotlivé vzorky byly poté v laboratoři uloženy na filtrační papír a ponechány při pokojové teplotě, aby proschly. Zároveň byly odstraněny hrubé nečistoty.

Poté byly jednotlivé vzorky homogenizovány a připraveny k rozkladu v mikrovlnném poli. Vzorek o hmotnosti 0,5 g byl rozkládán v 7 ml  $\text{HNO}_3$  Merck Suprapur. Po ochlazení se mineralizát doplnil na objem 50 ml. Poté následovala analýza metodou AAS ETA v přístroji od společnosti Agilent technologies.

## 7. Výsledky práce a diskuze

Jednotlivé vzorky byly odebírány na stejných stanovištích čtyřikrát v průběhu jednoho roku. Na jaře, v létě, na podzim a v zimě. Poslední odebrané vzorky se nestihly do odevzdání práce zpracovat.

Přestože jsem se snažil lokalizovat vhodná odběrná místa, ne vždy se mi to podařilo s ohledem na průtok v daném místě sledovaného toku.

Bližší informace k odběrům jsou uvedeny v kapitole 6.2 Odběr vzorků.

Vzhledem ke změnám průtoků, rozdílným povětrnostním podmínkám jsou dobře patrné rozdíly v jednotlivých hodnotách.

Jak jsem posléze zjistil, data vhodná ke srovnání se na řešeném úseku Ohře téměř nevyskytují. Po komunikaci s Povodím Ohře jsem zjistil, že dnové sedimenty na profilech Citice a Dvory sledují teprve druhým rokem a tudíž nemají údaje za časová období. Navíc jsou informace zpoplatněny. Výjimku tvoří oficiální žádost školy a posouzení komisí, zda nám data poskytnou bezplatně. Pozad'ové koncentrace pro mnou sledovanou lokalitu nemají stanoveny. Z těchto důvodů jsem nakonec zvolil porovnání s údaji dle Turkiena a Wedopohla (T&W), a také údaji z dolního toku Ohře z oblasti Písty, kde byly měřeny pozad'ové koncentrace na základě sedimentu z hloubek nezatížených antropogenní činností.

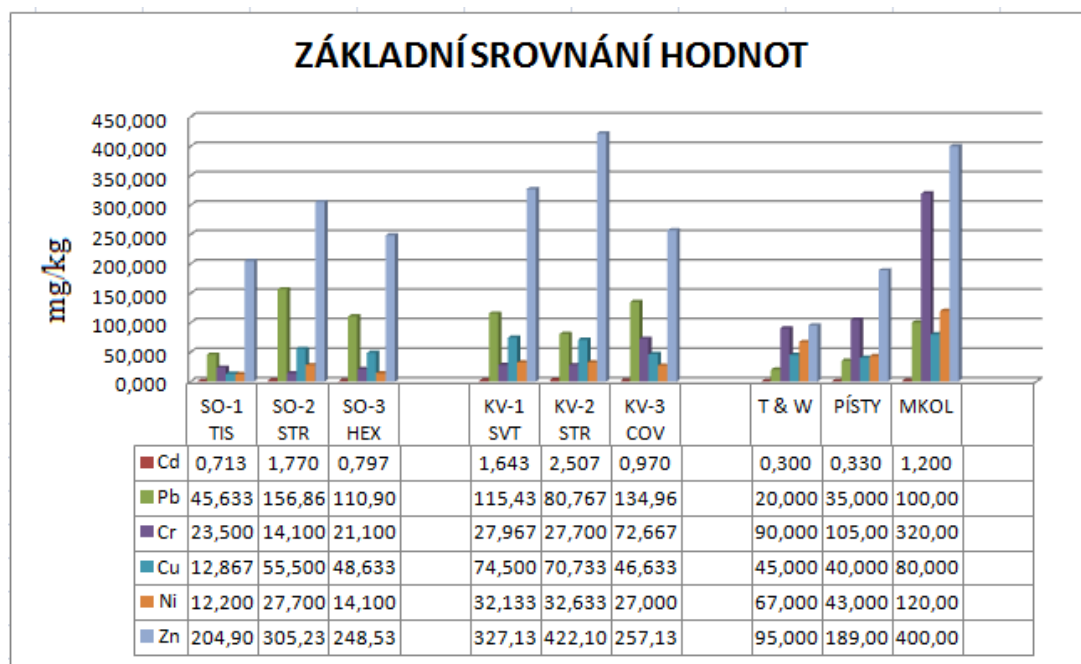
V přílohách č. 8-11 též naleznete hodnoty pH a Cd ve vodě za desetiletá období, kde jsou vidět změny stavu vodního toku. Vzhledem k tomu, že jsem se soustředil na kontaminovaný povrchový sediment a mobilitu polutantů, jsou tato data relevantní i k mému tématu.

Na základě parametrů získaných z analyzovaných vzorků vyplývá vyšší zatížení Karlovarska oproti Sokolovsku (obr.č.7). Tyto údaje korespondují i se směrem větrů, jež vanou ve směru Karlovarském. Dalším znečišťovatelem je teplárna Vřesová, kde se spaluje i nebezpečný odpad.

Oficiálně hlášené úniky do vody obsahují arsen, nikl a kyanidy.

Při srovnáních (obr. č. 6) jsem použil aritmetický průměr odebraných hodnot s vědomím, že hodnoty mají kolísavou tendenci a značný rozptyl způsobený především rozdílnými přírodními podmínkami v době odběrů. Také čtyři odběry jsou pro přesnější stanovení neodpovídající. Pro základní přehled to ovšem postačuje.

Obr. č. 6: souhrnný zprůměrovaný grafický přehled porovnaný s hodnotami od T&W, hodnotami MKOL a údaji z lokality Písty.

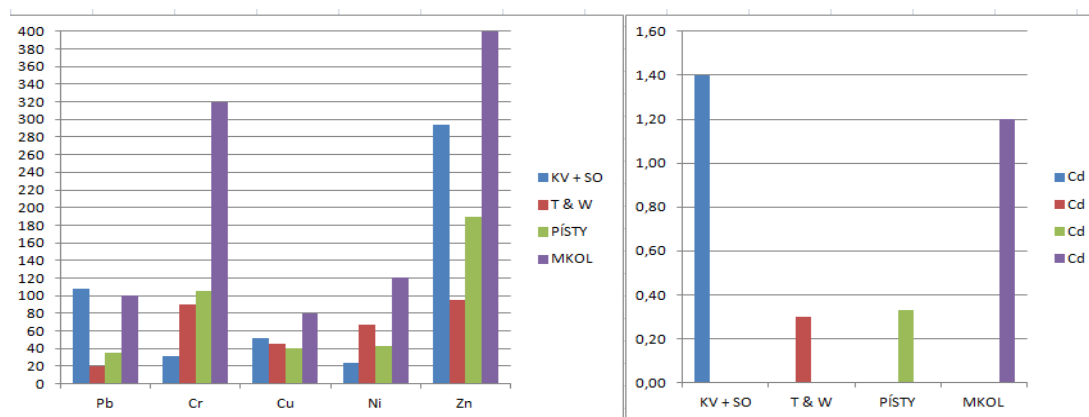


Nyní bych rád zhodnotil dílčí odběry tak, aby byl zřetelný základní přehled naměřených hodnot a možnost posouzení vyvozovaných závěrů.

Měřené hodnoty pH se na všech profilech a v celém sledovaném období pohybovaly mírně nad 7, pouze v lednu jsem na profilu č. 1 naměřil pH 6,9. Jinak byl rozptyl pouze v desetínách. Aritmetický průměr pH ze všech naměřených hodnot je 7,381 se směrodatnou odchylkou 0,237.

Nejvyšších hodnot Sokolovska dosahoval profil č.2, který se nachází pod soutokem Ohře se Svatavou. Výjimkou byl profil č. 1 u chromu. Na Karlovarsku dosahoval nejvyšších hodnot profil č. 5 (soutok s Chodovským potokem) u kadmia, niklu a zinku. Olovo a chrom byly nejvyšší na profilu č. 6. Měď byla nejvyšší na profilu č. 4. Z uvedeného vyplývá vyšší variabilita na Karlovarsku než Sokolovsku.

Obr. č. 7: naměřené průměrné hodnoty celé lokality ve srovnání s lokalitou Písty, hodnotami dle T&W a mezní hodnoty stanovené MKOL v mg/kg.



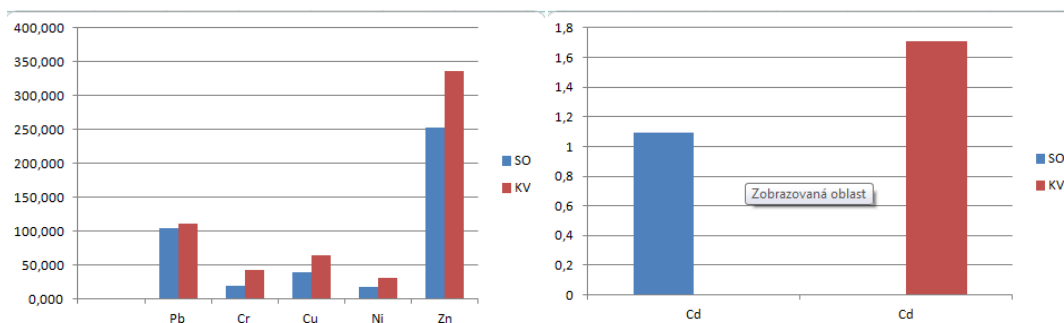
Z grafu (obr. č. 7) je zřejmé, že hodnoty srovnávaných parametrů nezatíženého sedimentu dle T&W a nekontaminovaného sedimentu z lokality Písta jsou obdobné. Výjimku tvoří zinek, který je vyšší než dle T&W. V grafech jsou též uvedeny hodnoty stanovené Mezinárodní komisí pro ochranu Labe (MKOL).

Z grafu je patrné překročení hodnot MKOL u Cd o 15%, u Pb o 7%. Cu, Zn, Cr a Ni krajních hodnot nedosáhly. Limity lokality Písta byly překročeny u Cd více než 4x, u olova 3x, u zinku o 55% a u mědi o 28%. Hodnoty chromu a niklu překročeny nebyly.

V následujícím grafu (obr. č. 8) jsou srovnány hodnoty z pohledu Karlovarska a Sokolovska. Jak z nich vyplývá, zatížení sedimentů v oblasti Karlovarska je vyšší než na Sokolovsku. Nejvíce se jedná o Cr, který je vyšší 2x, Cu a Ni vyšší o více než 60 %, následovány Cd s 55 % a Zn s 32 %. Olovo převyšovalo o 5 %. Tato skutečnost je v souladu s teorií většího zatížení oblastí po směru větru od zdroje znečištění. Přesto se domnívám, že v současné době není toto hlavním zdrojem kontaminace.



Obr. č. 8: porovnání naměřených hodnot Sokolovsko a Karlovarsko v mg/kg.



Téměř na všech profilech došlo k nárůstu měřených hodnot při nízkém stavu vody a tropických teplotách, jež v červenci panovaly (tab. č. 8). Výjimkou byly profily č.1(Tisová) u Ni, na profilu č.3 (Momentive) se jednalo o Pb, které zde vykazovalo stoupající tendenci. Profil č.4 (Svatošské skály) Pb zaznamenalo pokles. Profil č.6 (konec Karlových Varů) pokles Ni a Zn. Nejnížší hodnoty byly zaznamenány v říjnu, kdy byl vysoký stav vody a to na profilech 1 a 3.

Tab. č. 8: Nejvyšší zaznamenané hodnoty v mg/kg.

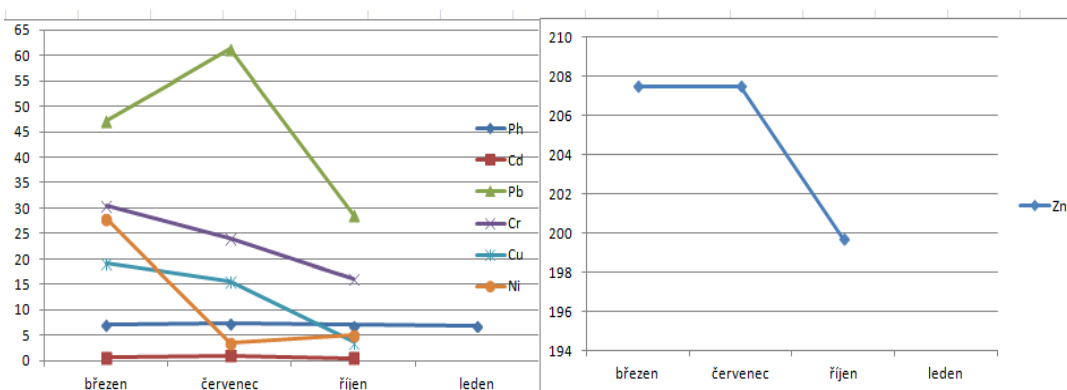
PRVEK	HODNOTA	PROFIL	OBDOBÍ
Cd	3,69	3	červenec
	3,23	5	červenec
Pb	245,8	6	červenec
	175,7	3	říjen
Cr	170,7	6	červenec
Cu	114,4	5	březen
	101	3	červenec
Ni	59,1	6	březen
	49,8	5	březen
Zn	473,2	2	Červenec
	468,1	4	Červenec

Nyní se zaměřím na jednotlivé profily a zjištěné průměrné hodnoty (tab. č. 1). Ukazatele vztaheny k limitům nezatíženého sedimentu z oblasti Písty a MKOL.

Profil číslo 1- Sokolov-Tisová (obr. č. 9).

Kadmium bylo překročeno v porovnání s nezatíženým sedimentem 2x, limit MKOL byl splněn. Olovo, chrom, nikl, měď i zinek byly podlimitní.

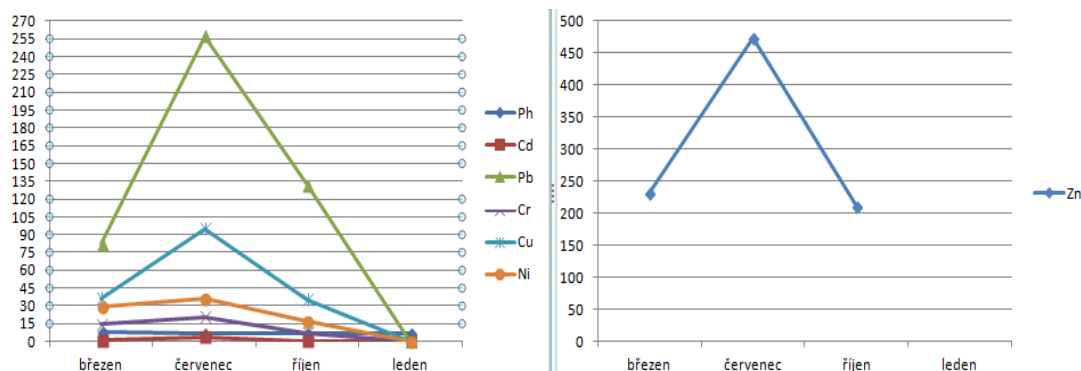
Obr. č. 9: hodnoty sledovaných ukazatelů na profilu 1 v mg/kg.



Profil č.2 – Sokolov-střed (obr. č. 10).

Kadmium bylo překročeno 5x, ukazatel MKOL přesažen o 47%. Olovo bylo vyšší 4x a MKOL překročen o 50%. Zinek hodnotu nezátíženého sedimentu mírně překročil. Chrom, měď a nikl splnily stanovené parametry.

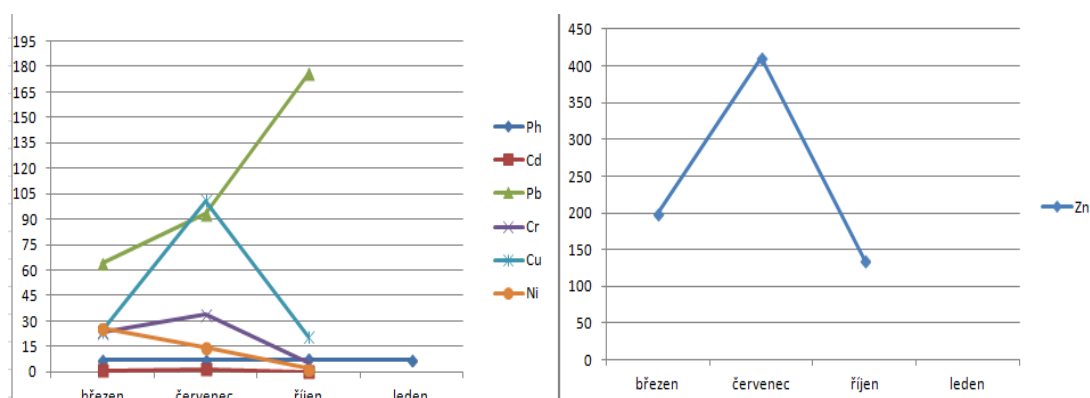
Obr. č. 10: hodnoty sledovaných ukazatelů na profilu 2 v mg/kg.



Profil č.3 – Sokolov – Momentive specialty chemicals (obr. č. 11).

Kadmium překročilo mezní hodnotu nezátíženého sedimentu 3x, limit MKOL nebyl dosažen. Olovo bylo vyšší 3x, limit MKOL vyšší o 10%. Zinek měl hodnoty 30% nad limit, MKOL byl dodržen. Chrom, měď a nikl byly pod limitem.

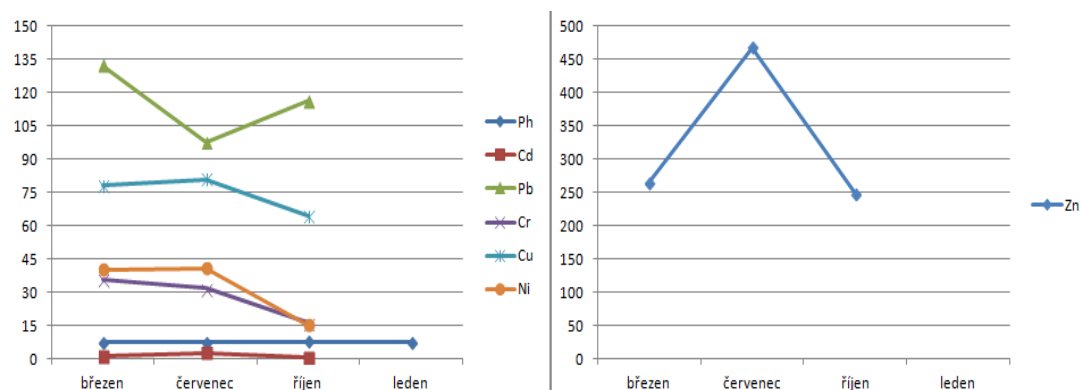
Obr. č. 11: hodnoty sledovaných ukazatelů na profilu 3 v mg/kg.



Profil č.4-Karlovy Vary-Svatošské skály (obr. č. 12).

Prvek kadmium přesahoval mezní hodnoty Písty 5x, MKOL o 36%. Olovo Písty 3x, MKOL o 15%. Chrom a nikl sledované limity nedosáhly. MKOL překročen u mědi nebyl, limit Písty 2x. Zinek překročil limit Písty o 70%.

Obr. č. 12: hodnoty sledovaných ukazatelů na profilu 4 v mg/kg.



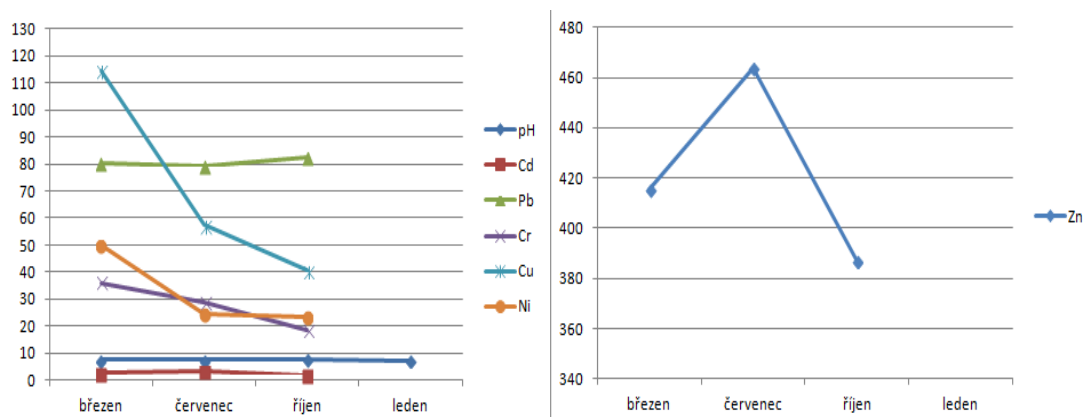
Profil č.5-Karlovy Vary-střed (obr. č. 13).

Limit Písty byl překročen u: kadmium 7x, olovo 2x, měď 1x, zinek 2x.

Limit MKOL byl vyšší u: kadmium 2x, zinek 5%.

Chrom a nikl splnily dané mezní hodnoty.

Obr. č. 13: hodnoty sledovaných ukazatelů na profilu 5 v mg/kg.



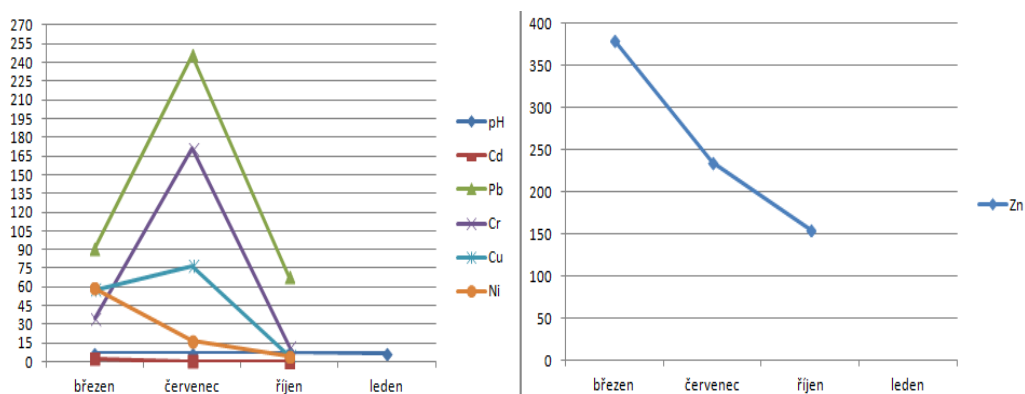
Profil č.6- Karlovy Vary- konec města (obr. č. 14).

Píсты – překročeny u kadmium 3x, olovo 4x, zinek o 30%.

MKOL- olovo vyšší o 35%.

Chrom a nikl podlimitní.

Obr. č. 14: hodnoty sledovaných ukazatelů na profilu 6 v mg/kg.



## 8. Závěr

Hlavním přínosem této práce jsou stanovené hodnoty mnou vybraných parametrů pro možné srovnání v časovém horizontu v budoucích pracích. Podkladů pro danou lokalitu je velmi málo a nelze z tohoto důvodu relevantně posoudit, zda v uplynulých 30. letech došlo ke zlepšení či nikoli. V současné době je kontaminace sedimentů i po snížení emisí stále přítomna (obr. č. 7).

Nejčastěji byly hodnoty překračovány u kadmia a olova, zinek podstatně méně. Chrom, měď a nikl se ukázaly jako podlimitní s výjimkou profilů č. 4 a č.5, kde neodpovídal limitům nikl.

Z výsledků též vyplývá mobilita sedimentů v rámci změn průtoků a teploty vody, a z pozorování lze též vyvodit na změnu kontaminace v závislosti na zrnitosti sedimentu. Jemnost této frakce souvisí s množstvím navázaných iontů sledovaných kovů na jednotlivé částice.

Zároveň jsem zpracoval přehledné shrnutí základních procesů odehrávajících se ve vodním prostředí. Jaké děje probíhají v závislosti na složení a množství polutantů ve vodě, pH a jejich chemických reakcích. U odběrů sedimentů jsem se soustředil na povrchovou část říčního sedimentu, kde jsou vzájemné interakce mezi polutanty rozpuštěnými ve vodě a těmi, jež jsou ještě vázány v sedimentu nejdynamičtější a nejlépe tak reagují na změny v prostředí.

V praktické části jsem analyzoval vzorky, jejichž výsledky mě dovedly k tvrzení, že kontaminace prostředí průmyslovými podniky je velmi závislá na druhu průmyslu, lokalitě a způsobu vypouštění odpadních látek. Zda se jedná o kontaminanty v odpadních vodách nebo v emisích do ovzduší. V tomto případě může být více zasaženou lokalitou region nacházející se po směru větru od daného místa prvotního znečištění, než v místě jeho zdroje.

Daná problematika je tak rozsáhlá a zajímavá, že bych se jí rád i nadále věnoval v širších souvislostech v budoucí diplomové práci.

## 9. Seznam literatury

- **Beneš S., 1994:** Obsahy a bilance prvků ve sférách životního prostředí. Ministerstvo zemědělství ČR, Praha.
- **Borovec Z., 1994:** Mobilita toxických prvků v říčních sedimentech. Vesmír 73:10, 561-564.
- **Burton A. G. Jr., 2002:** Sediment quality criteria in use around the world. *Limnology* 3:2, 65-75 Springer.
- **Cibulka J., 1991:** Pohyb olova, kadmia a rtuti v biosféře. Academia, Praha.
- **Čůta F., Popl M., Hejtmánek M., Karlík M., Ksandr Z., Kučera Z., Polej B., Volka K., 1986:** Instrumentální analýza. 67 – 80, 257 – 286.
- **Fajtl J., Tichý R., Ledvina R., 2001:** Sladkovodní kontaminované sedimenty jako chemické časované bomby. Chemické listy 95:10.
- **Hartman P., Příkryl I., Štědranský E., 2005:** Hydrobiologie. Informatorium, Praha.
- **Hlavínek P., Říha J., 2004:** Jakost vody v povodí. Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., Brno.
- **Horáková M., Lischke P., Grünwald A., 1986:** Chemické a fyzikální metody analýzy vod. SNTL/ALFA, Praha.
- **Hrádek F., Kuřík P., 2008:** Hydrologie. ČZU v Praze, Fakulta životního prostředí, Praha.
- **Cháb J., Stráník Z., Eliáš M., 2007:** Geologická mapa České republiky 1:500 000. Česká geologická služba, Praha.
- **Chapman D., (Ed), 1996:** Water Quality Assesments – A Guide to Use of Biota, Sediments and Water in Enviromental monitoring. University Press, Cambridge.
- **Chmelová P. R., Frajer J., 2014:** Základy fyzické geografie 1- Hydrologie. Univerzita Palackého, katedra geografie, Olomouc
- **John D. A., Leventhal J. S., 1995:** Preliminary Compilation of Descriptive Geoenvironmental Mineral Deposit Models.
- **Komárek J., 2000:** Atomová absorpční spektrometrie, Masarykova univerzita, Brno.

- **Koplík R., Čurdová E., Mestek O., 1997:** Speciace stopových prvků ve vodách, půdách, sedimentech a biologických materiálech. Chemické listy 1991:1, Praha.
- **Kvítek T., Gergel J., Kvítková G., 2005:** Využití a ochrana vodních zdrojů. JČU v Českých Budějovicích, Zemědělská fakulta, České Budějovice.
- **Langhammer J., 2009:** Kvalita povrchových vod a jejich ochrana. PřF UK, Praha.
- **Lochovský P., 2011:** Pozad'ové koncentrace říčních sedimentů Labe a jeho významných přítoků pro kovy a metaloidy. VTEI, Praha, 24 s.
- **Majer V., Hruška J., Zoulková V., Holečková P., Myška O., 2012:** Atlas chemismu povrchových vod České republiky. Česká geologická služba, Praha.
- **MMKV., 2014:** Územně analytické podklady obce s rozšířenou působností, Karlovy Vary, 179 s.
- **Mudroch A., Azcue J. M., Mudroch P., (Eds), 1997:** Manual of physico-chemical analysis of aquatic sediments. Lewis Publishers, Florida.
- **Němec J., Hladný J., 2006:** Voda v České republice, MZe, Praha.
- **Novotny V., 2003:** Water Quality: diffuse pollution and watershed management. Wiley.
- **Pitter P., 1999:** Hydrochemie. Vydavatelství VŠCHT, Praha.
- **Popl M., Fähnrich J., 1999:** Analytická chemie životního prostředí. Vydavatelství VŠCHT, Praha.
- **Pošta J., a kol., 2005:** Čistírny odpadních vod. Česká zemědělská univerzita, Praha.
- **Prousek J., 2001:** Rizikové vlastnosti látek. 1. vyd. STU Bratislava, Chemickotechnologická fakulta, Bratislava.
- **Skřivan P., Vach M., 1994:** Úvod do chemie prostředí. Geologický ústav AV ČR, Praha.
- **Synáčková M., 1996:** Čistota vod. Vydavatelství ČVUT, Praha.
- **Spěváčková V., Knotková J., 1998:** Prvková analýza klinických materiálů – Aplikace elektrotermické atomové absorpční spektrometrie. Chem. Listy 92, 287-293, Praha.

- **Tlapák V., Šálek J., Legát V., 1992:** Voda v zemědělské krajině. Zemědělské nakladatelství Brázda ve spolupráci s MŽP ČR, Praha.
- **Toužín J., 2008:** Stručný přehled chemie prvků. 1. vyd., Tribun EU, Brno.
- **Vach M., 2013:** Ochrana ovzduší. ČZU, Praha.
- **Vančura K., (Ed), 2007:** Les a voda v srdci evropy. Ministerstvo zemědělství ČR, Praha.
- **Wittlingerová Z., Jonáš F., 2002:** Ochrana životního prostředí. 2. vyd., Vydavatelství ČZU, Praha.
- **Zimák J., 2005:** Petrografie sedimentů. PřF katedra geologie, Olomouc.

#### **Internetový zdroj:**

- **POH, 2015.** Povodí Ohře, Chomutov,  
Online: [www.poh.cz/VHP/pop/B/2\\_TABULKOVA\\_CAST/OH\\_B1.pdf](http://www.poh.cz/VHP/pop/B/2_TABULKOVA_CAST/OH_B1.pdf), cit. 10.9.2015.
- **CEZ, 2015.** České energetické závody, elektrárna Tisová,  
Online: <http://www.cez.cz/cs/vyroba-elektřiny/uhelne-elektřarny/cr/tisova.html#tisova>, cit.10.12.2015.
- **CSPCH, 2015.** Česká společnost průmyslové chemie, Praha. Nájemník J., 2009. Trvalé zlepšování technologických procesů v Hexion Specialty Cemicals a.s.  
Online: <http://cspch.cz/dokument-prednasky-aprochem-2009.html>, cit. 16.12.2015.
- **SUAS, 2015.** Sokolovská uhelná, Sokolov,  
Online: <http://suas.cz/page/show/slug/strucny-profil> , cit. 25.11.2015.
- **CENIA, 2015.** Česká informační agentura životního prostředí. Vyhledávání úniků a přenosů látek, Praha.  
Online: <http://portal.cenia.cz/irz/> , cit. 20.12.2015.
- **CHEMPOINT, 2015.** Vědci pro průmysl a praxi. Doskočil L., 2012. Odstranění těžkých kovů z vod aplikací lignitu jako sorbentu.  
Online: <http://www.chempoint.cz/odstraneni-tezkych-kovu-z-vod-aplikaci-lignitu-jako-sorbentu>, cit. 18.11.2015.



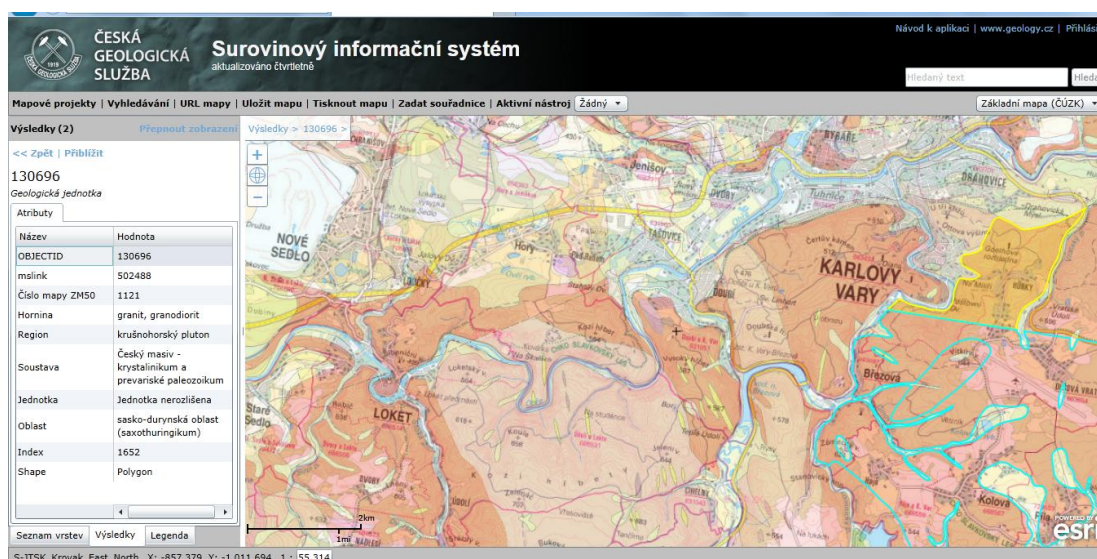
- **TZB, 2015.** Technické zabezpečení budov. Biela R., Konečný J., 2014. Odstraňování kadmia z vody sorpčními materiály, Brno.  
Online: <http://voda.tzb-info.cz/vlastnosti-a-zdroje-vody/12095-odstranovani-kadmia-z-vody-sorpcnimi-materialy>, cit. 6.12.2015.
- **GATE2BIOTECH, 2015.** Biologické technologie, České Budějovice. Kubečka J., 2009. Akumulace kovů ve vodách a jejich dočišťování bakteriemi.  
Online: <http://www.gate2biotech.cz/akumulace-kovu-ve-vodach-a-jejich-docistovani-bakteriemi/>, cit. 26.11.2015.
- **O-I, 2015.** O-I manufacturing.  
Online: <http://www.o-i.com/About-O-I/>, cit. 19.12.2015.
- **GEOLOGY, 2015.** Česká geologická služba, mapové podklady Online: <http://mapy.geology.cz/GISViewer/?mapProjectId=5>, cit. 20.12.2015.
- **USMH, 2016.** Ústav struktury a mechaniky hornin  
Online: [https://www.irsm.cas.cz/index.php?page=projekty\\_detail&id=40](https://www.irsm.cas.cz/index.php?page=projekty_detail&id=40), cit. 8.1.2016.
- **CHMI, 2016:** český hydrometeorologický ústav, hydrologická ročenka.  
Online: <http://voda.chmi.cz/hr13/obsah.html>, cit. 8.1.2016.
- **IRZ, 2016:** integrovaný registr znečišťování. Online: <http://www.irz.cz/node/20>, cit. 24.3.2016.

## 10. Přílohy

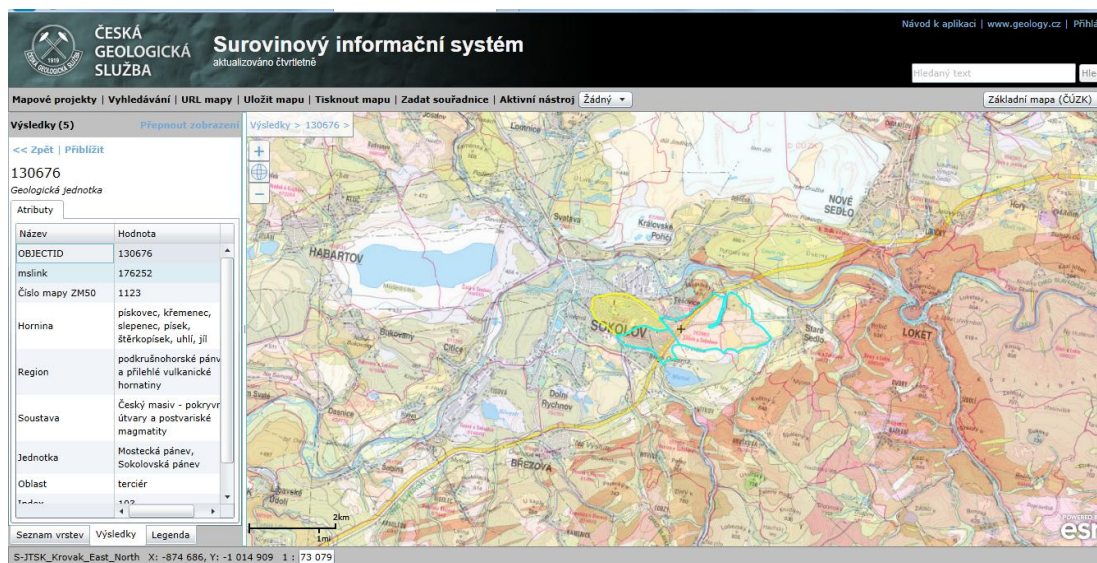
Příloha č. 1: Souhrnná tabulka odběrů.

MÍSTO	T VODA	T VZDUCH	pH	Cd	Pb	Cr	Cu	Ni	Zn
	9,1°C	8,5	7,129	0,69	47,1	30,4	19,2	27,9	207,5
Tisová	22,5	24,5	7,294	0,98	61,2	24	15,7	3,6	207,5
	9,0	3,5	7,027	0,47	28,6	16,1	3,7	5,1	199,7
	3,3°C	5,0°C	6,940						
	7,8	8,0	7,521	1,18	81,9	14,5	36,2	29,8	231,6
Střed	22,0	23,5	7,110	3,69	257	20,6	94,9	35,8	473,2
	7,1	3,0	7,168	0,44	131,7	7,2	35,4	17,5	210,9
	3,7	5,0	7,145						
	8,9	9,0	7,320	0,77	63,9	23,7	24	25,8	199,7
Momentive	22,0	22,0	7,170	1,49	93,1	33,8	101	14,6	410,5
chemicals	8,6	0,0	7,478	0,13	175,7	5,8	20,9	1,9	135,4
	3,5°C	5,0°C	7,160						
	9,1	12,0	7,657	1,36	132,2	35,8	78,2	40,3	264,4
Svatošské	24,0	21,5	7,760	2,84	97,7	31,8	80,9	40,8	468,1
Skály	8,8	10,0	7,769	0,73	116,4	16,3	64,4	15,3	248,9
	3,5°C	7,0°C	7,264						
	9,2	9,0	7,570	2,54	80,5	36	114,4	49,8	415,6
Střed	24,0	20,0	7,578	3,23	79,4	28,6	57,3	24,7	463,7
	8,9	5,0	7,581	1,75	82,4	18,5	40,5	23,4	387
	3,6	6,0	7,350						
	8,6	10,0	7,610	2,37	91,1	35,3	57,8	59,1	379,8
	23,8	25,0	7,477	0,49	245,8	170,7	77	17,1	235,5
COV	8,5	9,0	7,699	0,05	68	12	5,1	4,8	156,1
	3,4	6,0	7,389						

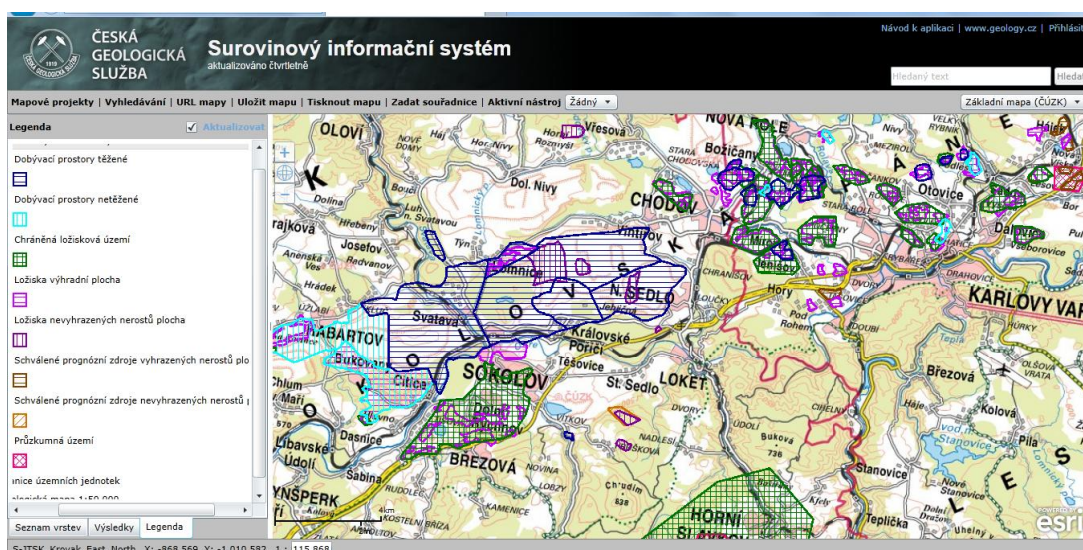
Příloha č. 2: geologická oblast Karlovarska (GEOPORTAL, 2015).



Příloha č. 3: geologická oblast Sokolovska (GEOPORTAL, 2015).



Příloha č. 4: oblasti těžby karlovarského kraje (GEOPORTAL 2015).



Příloha č. 5: staré ekologické zátěže Karlovarsko (UAP, 2014).

(Hygiena životního prostředí) Staré ekologické zátěže				
Zátěž	Míra rizika	Prostorový rozsah rizik	Dotčené obce	Pozn.
Býv. sklad pestic. Stará Role	P4.1	x		Karlovy Vary
Býv. sklad pestic. Tašovice	P4.1	x		Karlovy Vary
Býv. sklad pesticidů Bohatice	P4.1	x		Karlovy Vary
Býv. sklad pest. Sedlec u KV	P4.1	x		Karlovy Vary
Depo kolejových vozidel - Karlovy Vary	A2.1	x		Karlovy Vary
Dolní nádraží	A2.3	x		Karlovy Vary
Dvory - Varbyt	x	x		Karlovy Vary
Karlovy Vary - dolní nádraží	x	x		Karlovy Vary
skládky Doubi	x	x		Karlovy Vary
Skládka Dvory	x	x		Karlovy Vary
Státek Počerny	x	x		Karlovy Vary
ZČE a.s. Karlovy Vary Dražovice	x	x		Karlovy Vary
ZČE a.s. Karlovy Vary Teplárna	x	x		Dalovice
ZČE a.s. Karlovy Vary Tuhnice	A3.3	x		Karlovy Vary
ZČP,a.s. Karlovy Vary	A3.3	x		Karlovy Vary

Příloha č. 6: vypouštěné množství odpadních a důlních vod (upraveno, POH, 2014).

Název místa	Zdroj	Vodní tok	Vypouštění tis. m <sup>3</sup> /rok
SU Chodov	DN Vřesová	Chodovský p.	10626,2
Sokolovská uhelná Sokolov	lom Medard+jiří	Svatava	9065,2
Vak Karlovy Vary	ČOV	Ohře	8722,2
Diamo Horní Slavkov	Čistírna DŮLNÍCH vod	Stoka	4948,0
Sokolovská uhelná Kynšperk nad Ohří	Boží Požehnaní	Ohře	2499,3
Vak Sokolov-Těšovice	ČOV	Ohře	2392,2
Sokolovská uhelná Vintířov	Panský rybník	Vintířovský p.	2126,1
ČEZ Tisová	Silvestr	Ohře	1930,5
Hexion Specialty Chemicals, a.s.	Vychlazovací rybníky	Ohře	1526,8
Vak Ostrov	ČOV	Bystřice	1500,8
Sokolovská uhelná Královské Poříčí	J 6 - PD 54	Ohře	1423,6
KSM Kraslice	ČOV	Svatava	1238,7
Sokolovská uhelná Boučí	výsypka	Svatava	1233,1
Vak Chodov	ČOV	Chodovský p.	1191,5
Sokolovská uhelná Královské Poříčí	lom Marie-Jiří jih	Ohře	1189,8
Sokolovská uhelná Královské Poříčí	hlubina Marie	Pstružný p.	1108,7
Sokolovská uhelná Lomnice	2B-důlní	Lomnický p.	1103,8
Sokolovská uhelná Luh na Svatavou	výsypka Erika	Svatava	939,8
ČEZ Tisová	retenční nádrž	Ohře	884,9
Sokolovská uhelná Vintířov	ČS Lipnice	Vintířovský p.	869,3
Sokolovská uhelná Vintířovská výsypka	důlní	Chodovský p.	860,3
Vlnap a.s., Nejdek	ČOV	Rolava	755,2
Diamo štola Hraničář	důl Helena	Svatava	378,1
Teplárna Karlovy Vary	kanalizace	Ohře	339,7
Metalis Nejdek	ČOV	Rolava	209,3

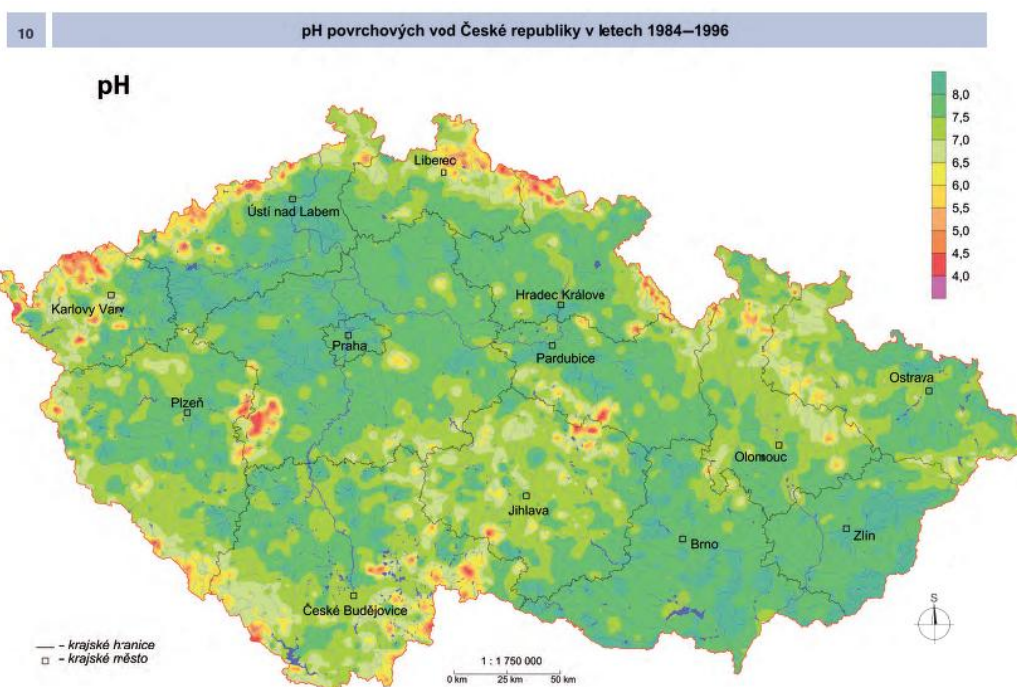


Příloha č. 7: pozad'ové koncentrace v mg/kg ( VTEI, 2011).

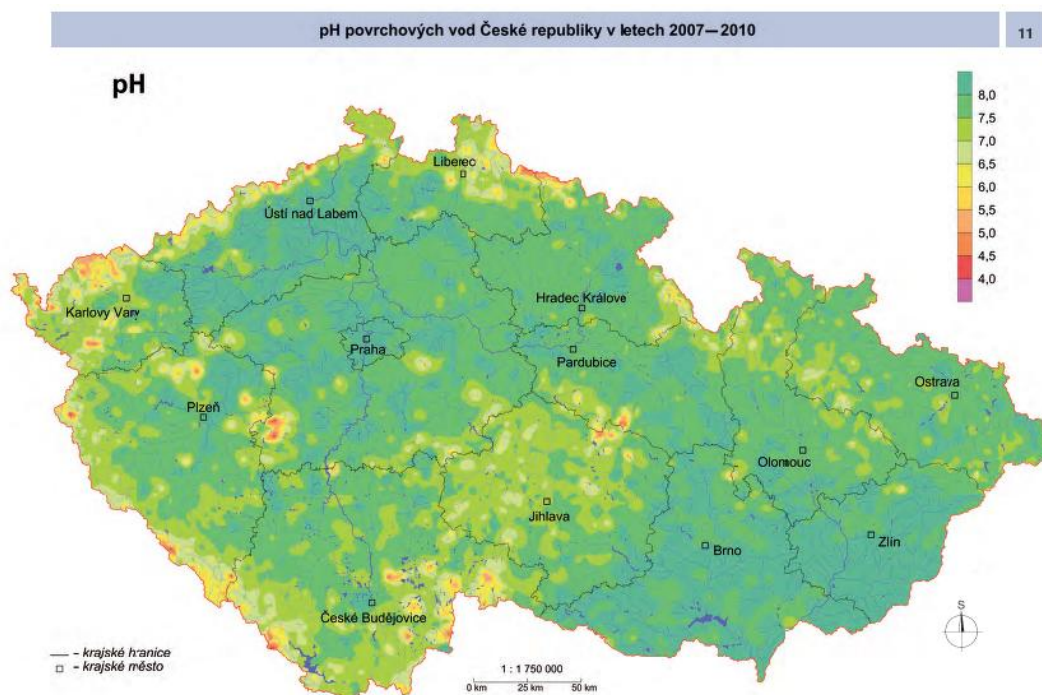
**Tabulka 2.** Průměrné pozad'ové koncentrace kovů a metaloidů v říčních sedimentech sledovaných vodních toků na území ČR v porovnání s globálními geogenními standardy Turekiana a Wedepohla (T&W) a cílovými záměry MKOL (c.z. MKOL) z hlediska ochrany akvatického společenstva

Chemický prvek	Jizera dolní tok	Jizera horní tok	Bílina dolní tok	Vltava horní tok	Vltava dolní tok	Ohře dolní tok	Labe střední tok	Labe dolní tok	BG T&W	c.z. MKOL
Ag	0,35	0,45	0,1	0,6	0,35	0,35	0,3	0,4	<b>0,07</b>	
As	25	45	17	23	20	53	28	22	<b>13</b>	<b>40</b>
Be	2,4	3,7	3,0	4,9	2,4	6,0	4,0	4,2	<b>3,0</b>	–
Cd	0,30	1,0	0,12	0,23	0,20	0,33	0,6	0,4	<b>0,3</b>	<b>1,2</b>
Co	20	21	30	32	26	14	17	22	<b>19</b>	–
Cr	71	49	90	137	89	105	110	124	<b>90</b>	<b>320</b>
Cu	35	62	40	33	41	40	31	35	<b>45</b>	<b>80</b>
Fe	28 400	27 400	52 000	39 300	46 000	42 100	39 300	52 500	<b>47 200</b>	–
Hg	0,10	0,35	0,07	0,08	0,17	0,10	0,15	0,15	<b>0,4</b>	<b>0,8</b>
Mn	1 100	1 050	1 000	1 060	1 350	650	660	930	<b>850</b>	–
Ni	58	49	78	80	63	43	52	57	<b>67</b>	<b>120</b>
P	1 020	1 350	1 240	1 520	1 320	1 075	625	620	<b>700</b>	–
Pb	35	100	24	32	33	35	36	23	<b>20</b>	<b>100</b>
Sb	2,1	3,5	0,7	0,6	0,8	2,1	1,9	1,6	<b>1,5</b>	–
Sc	13	10	14	–	13	–	17	20	<b>13</b>	–
Se	1,5	3,2	1,8	0,3	0,45	0,46	0,5	0,5	<b>0,6</b>	–
Sn	10	–	3,2	–	5,0	6,1	6,3	4,9	<b>6,0</b>	–
V	75	65	123	133	93	162	125	132	<b>130</b>	–
Zn	175	260	130	196	209	189	160	162	<b>95</b>	<b>400</b>

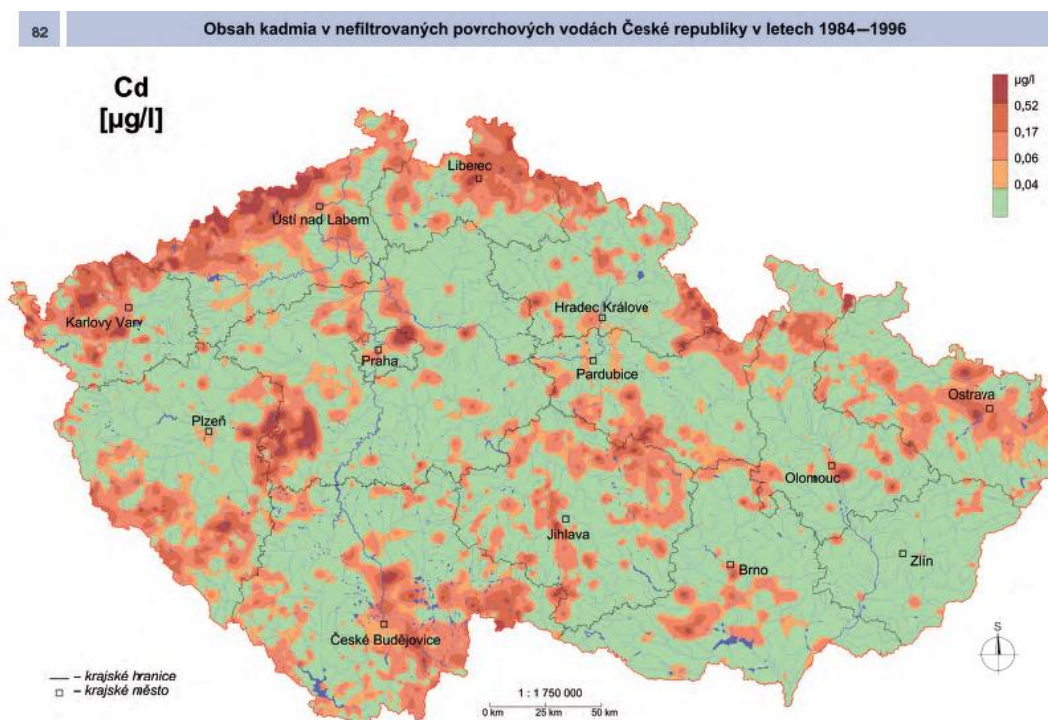
Příloha č. 8: pH povrchových vod 1984-1996 (Majer et al. 2012).



Příloha č. 9: pH povrchových vod 2007-2010 (Majer et al., 2012).



Příloha č. 10: obsah kadmia v nefiltrovaných povrchových vodách v letech 1984-1996 (Majer et al. 2012).



Příloha č. 11: obsah kadmia v nefiltrovaných povrchových vodách v letech 2007-2010 (Majer et al. 2012).

