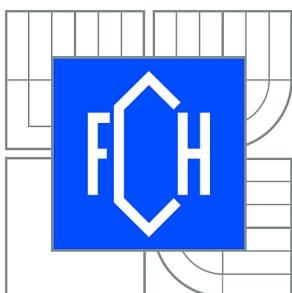




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA CHEMICKÁ

ÚSTAV CHEMIE A TECHNOLOGIE OCHRANY  
ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

FACULTY OF CHEMISTRY

INSTITUTE OF CHEMISTRY AND TECHNOLOGY OF  
ENVIRONMENTAL PROTECTION

## ZHODNOCENÍ ZÁTĚŽE PŮD A SEDIMENTŮ V OBLASTI ŘEKY JIHLAVY TĚŽKÝMI KOVY

ASSESSMENT OF SOILS AND SEDIMENTS CONTAMINATION BY HEAVY METALS IN THE  
REGION JIHLAVA RIVER

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. MILAN MAREK

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Mgr. HELENA DOLEŽALOVÁ  
WEISSMANNOVÁ, Ph.D.

BRNO 2011



Vysoké učení technické v Brně  
**Fakulta chemická**  
Purkyňova 464/118, 61200 Brno 12

## Zadání diplomové práce

Číslo diplomové práce:	<b>FCH-DIP0500/2010</b>	Akademický rok: <b>2010/2011</b>
Ústav:	Ústav chemie a technologie ochrany životního prostředí	
Student(ka):	<b>Bc. Milan Marek</b>	
Studijní program:	Chemie a technologie ochrany životního prostředí (N2805)	
Studijní obor:	Chemie a technologie ochrany životního prostředí (2805T002)	
Vedoucí práce	<b>Mgr. Helena Doležalová Weissmannová, Ph.D.</b>	
Konzultanti:	Ing. Andrea Debnárová	

### Název diplomové práce:

Zhodnocení zátěže půd a sedimentů v oblasti řeky Jihlavy těžkými kovy

### Zadání diplomové práce:

Zhodnocení výskytu těžkých kovů v oblasti řeky Jihlavy. Stanovení obsahu těžkých kovů v půdních vzorcích a sedimentech a posouzení kontaminace půd a sedimentů v oblasti Jihlava.

### Termín odevzdání diplomové práce: 13.5.2011

Diplomová práce se odevzdává ve třech exemplářích na sekretariát ústavu a v elektronické formě vedoucímu diplomové práce. Toto zadání je přílohou diplomové práce.

-----  
Bc. Milan Marek  
Student(ka)

-----  
Mgr. Helena Doležalová Weissmannová, Ph.D.  
Vedoucí práce

-----  
Doc. Ing. Josef Čáslavský, CSc.  
Ředitel ústavu

V Brně, dne 15.1.2011

-----  
prof. Ing. Jaromír Havlica, DrSc.  
Děkan fakulty

## **ABSTRAKT**

Diplomová práce se zabývá půdou a sedimenty z pohledu životního prostředí. Pro vybrané rizikové prvky – měď, kadmium, olovo a rtuť, které jsou blíže specifikovány, jsou uvedeny limitní koncentrace a metody stanovení v půdě a sedimentech. Studovanou lokalitou pro zhodnocení znečištění půd a sedimentů bylo vybráno město Jihlava a jeho okolí. V rámci této práce byly odebrány vzorky půd a sedimentů řeky Jihlavy, ve kterých byly stanoveny obsahy kadmia, mědi, olova a rtuti s využitím atomové absorpční spektrometrie (F-AAS, ET-AAS, AMA 254). Z naměřených výsledků bylo vyhodnoceno zatížení půd a sedimentů řeky Jihlavy vybranými rizikovými prvky.

## **ABSTRACT**

This diploma thesis deals with a potential contamination of hazardous metals of soil and sediments. The metals cadmium, copper, lead and mercury were chosen, their specification, limited concentration and methods of determination are also described in thesis. City Jihlava and its surroundings were chosen for evaluating pollution of the soil and sediments in this area. In collected samples of the soil and sediments presence of copper, cadmium, lead and mercury were detected via atomic absorption spectrometry (F-AAS, ET-AAS, AMA 254). The metal pollution of soils and sediments by hazardous elements in Jihlava River and in Jihlava region was evaluated.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Rizikové kovy, kadmium, měď, olovo, rtuť, toxicita, kontaminace, půda, sediment, řeka, Jihlava, atomová absorpční spektrometrie, F-AAS, ET-AAS, AMA 254.

## **KEYWORDS**

Hazardous metals, cadmium, copper, lead, mercury, toxicity, contamination, soil, sediment, river, Jihlava, atomic absorption spectrometry, F-AAS, ET-AAS, AMA 254.

MAREK, M. *Zhodnocení zátěže půd a sedimentů v oblasti řeky Jihlavy těžkými kovy*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, 2011. 81 s. Vedoucí diplomové práce Mgr. Helena Doležalová Weissmannová, Ph.D.

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně a že všechny použité literární zdroje jsem správně a úplně citoval. Diplomová práce je z hlediska obsahu majetkem Fakulty chemické VUT v Brně a může být využita ke komerčním účelům jen se souhlasem vedoucího bakalářské práce a děkana FCH VUT.

.....  
podpis studenta

### *Poděkování:*

*Velmi rád bych na tomto místě poděkoval své vedoucí Mgr. Heleně Doležalové Weissmannové, Ph.D. za velmi vstřícné a odborné vedení v průběhu tvorby této diplomové práce, konzultantce Ing. Andree Debnárové za pomoc při analýze vzorků a v neposlední řadě i své přítelkyni Petře Prokopové za pomoc při vzorkování.*

*Mockrát děkuji také svým rodičům a mým nejbližším za podporu během celého studia.*

## OBSAH

1	ÚVOD .....	8
2	TEORETICKÁ ČÁST .....	9
2.1	Půda jako složka životního prostředí .....	9
2.1.1	Charakteristika půdy .....	9
2.1.2	Význam půdy .....	9
2.1.3	Voda v půdě .....	10
2.1.4	Pohyb vody v půdě .....	12
2.1.5	Odpady a škodliviny v půdě .....	13
2.1.6	Samočisticí schopnost půdy .....	14
2.1.7	Vliv polutantů v půdě na její kvalitu .....	14
2.1.8	Zdroje znečištění půdy .....	15
2.1.9	Pohyb polutantů v půdě .....	16
2.2	Sedimenty povrchových vod v životním prostředí .....	17
2.2.1	Charakteristika a složení sedimentu povrchových vod .....	17
2.2.2	Znečištění sedimentů ve vodním prostředí .....	17
2.2.3	Pohyb polutantů ve vodním prostředí a sedimentech .....	18
2.3	Těžké kovy .....	19
2.3.1	Toxicita a průnik rizikových prvků do organismů .....	19
2.3.2	Znečišťování životního prostředí rizikovými prvky .....	20
2.3.3	Primární zdroje rizikových prvků .....	21
2.3.4	Vstup rizikových prvků do půdy a sedimentů .....	22
2.4	Vybrané rizikové prvky .....	23
2.4.1	Kadmium .....	23
2.4.2	Měď .....	23
2.4.3	Olovo .....	24
2.4.4	Rtuť .....	24
2.5	Limitní obsahy vybraných rizikových prvků v půdě a sedimentech v ČR .....	25

2.5.1	Půdy nezemědělského charakteru.....	25
2.5.2	Půdy zemědělského charakteru.....	26
2.5.3	Sedimenty povrchových vod.....	26
2.6	Vybraná metodika stanovení rizikových prvků v půdě a sedimentech .....	27
2.6.1	Vzorkování půd a sedimentů .....	27
2.6.2	Stanovení sušiny odebraných vzorků gravimetrickou metodou.....	28
2.6.3	Stanovení pH odebraných vzorků .....	29
2.6.4	Extrakce sledovaných prvků kyselinou dusičnou .....	29
2.6.5	Využití atomové absorpční spektrometrie ke stanovení rizikových prvků .....	29
2.7	Metody charakterizace znečištění půdy těžkými kovy .....	34
2.7.1	Index znečištění.....	34
2.7.2	Integrovaný index znečištění .....	34
2.8	Studovaná lokalita - Jihlava a její okolí.....	35
2.8.1	Meteorologická situace .....	36
2.8.2	Hydrologická charakteristika a řeka Jihlava .....	36
2.8.3	Charakteristika půd.....	36
2.9	Charakterizace znečištění rizikovými prvky studované lokality .....	38
2.9.1	Znečištění ovzduší.....	38
2.9.2	Přenosy těžkých kovů v tuhých odpadech .....	42
3	PRAKTICKÁ ČÁST.....	43
3.1	Odběr vzorků .....	43
3.1.1	Odběrová lokalita.....	43
3.1.2	Lokalizace a popis míst odběru.....	44
3.1.3	Vzorkování .....	46
3.2	Zpracování odebraných vzorků .....	47
3.2.1	Stanovení sušiny gravimetrickou metodou.....	47
3.2.2	Stanovení pH v extraktu 0,01 M chloridu vápenatého.....	47
3.2.3	Příprava extraktu 2 M kyselinou dusičnou.....	47

3.3	Kalibrace, mez detekce a mez stanovitelnosti .....	48
3.3.1	Metoda kalibrační křivky .....	48
3.3.2	Mez detekce a mez stanovitelnosti .....	49
3.4	Stanovení mědi a olova v extraktu vzorku pomocí F-AAS .....	50
3.4.1	Kalibrační křivky pro stanovení mědi a olova .....	50
3.4.2	Mez detekce a mez stanovitelnosti pro měď a olovo.....	51
3.5	Stanovení kadmia v extraktu vzorku pomocí ET-AAS.....	52
3.5.1	Kalibrační křivka pro stanovení kadmia v extraktu vzorku .....	53
3.5.2	Mez detekce a mez stanovitelnosti pro kadmium.....	53
3.6	Stanovení rtuti ve vzorku pomocí AMA 254.....	54
3.6.1	Čistící program a ověření platnosti kalibrace .....	54
3.6.2	Analýza vzorků .....	54
3.7	Použité chemikálie .....	55
3.8	Použité přístroje a zařízení.....	55
4	VÝSLEDKY A DISKUSE .....	56
4.1	Stanovení pH vzorků v extraktu chloridu vápenatého.....	56
4.2	Stanovení mědi v extraktech půd a sedimentů .....	58
4.3	Stanovení olova v extraktech půd a sedimentů .....	61
4.4	Stanovení kadmia v extraktech půd a sedimentů .....	64
4.5	Stanovení rtuti ve vzorcích půd a sedimentů .....	67
4.6	Charakterizace znečištění půd studované lokality pomocí IPI indexu .....	70
5	ZÁVĚR .....	74
6	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ .....	76
7	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ .....	80
8	SEZNAM PŘÍLOH .....	81

# 1 ÚVOD

Životní prostředí je prostor, ve kterém organismus žije a je k němu připoután systémem vazeb, které představují souhrn všech vnějších vlivů (přírodních i kulturních), které jedince obklopují a umožňují mu podmínky k životu. Životní prostředí je tvořeno neživými, živými a společensko-hospodářskými vlivy a složkami. Všechny působí společně, současně a nepřetržitě. Životní prostředí musí poskytovat organismům prostor a podmínky pro všechny jejich životní děje. Prostředí musí vstřebávat nepotřebné a škodlivé produkty živých organismů a chránit organismy před nepříznivými vlivy. Všechny živé organismy ovlivňují své okolí, a tím i podmínky pro vlastní existenci. Ohrožení životního prostředí je součástí jednoho z hlavních globálních problémů lidstva, neboť právě se silným rozvojem lidské společnosti je životní prostředí stále více znehodnocováno.

Antropogenní činností jsou do životního prostředí produkovány organické i anorganické látky, které nejsou přírodního charakteru nebo jejich přítomnost v takové míře a podobě není v životním prostředí přirozená. Tyto škodliviny pocházející především z průmyslové výroby, zemědělské produkce, užívání všech druhů chemických látek a přípravků, léků, obalových materiálů, spalováním fosilních paliv, ať již při výrobě elektrické energie, tepla nebo dopravě atd. Nepřetržitě a velmi intenzivní emise takovýchto škodlivých látek do životního prostředí následuje jejich koncentrování v ovzduší, ve vodách a půdách, v potravinovém řetězci a v konečném důsledku i kumulování v tkáních organismů, lidské populace.

Jednou ze složek škodlivých látek pro životní prostředí jsou těžké kovy – rizikové prvky, které za určitých podmínek, formě a koncentraci mohou působit toxicky. A právě cílem této práce je nejen nastínit problematiku rizikových prvků v životním prostředí, ale i vyhodnotit zatížení půd a sedimentů povrchových vod ve vybrané lokalitě těmito prvky, konkrétně kadmíem, mědí, olovem a rtuť. Zájmovým územím pro tuto práci byl zvolen úsek řeky Jihlavy při městě Jihlavě. Město Jihlava a jeho okolí se nachází v centrální části Kraje Vysočina. Kraj Vysočina se rozprostírá v jihovýchodní části Čech, je určen hranicemi sousedících krajů: na severovýchodě Pardubickým, na jihovýchodě Jihomoravským, na jihozápadě Jihočeským a na severozápadě Středočeským krajem. Podle hustoty zalidnění je třetím nejméně zalidněným krajem v České republice a dle dominujících odvětví hospodářství lze kraj charakterizovat jako průmyslově-zemědělský. Ve struktuře ekonomiky kraje zaujímá významné postavení zpracovatelský průmysl, který je zde reprezentován výrobou dopravních prostředků, potravinářstvím, zpracováním dřeva, výrobou základních kovů, energetickým a elektrotechnickým průmyslem. Zemědělská půda pokrývá 60 % území kraje, lesy se rozkládají na 30 % a vodní plochy činí 2 % území. Jedná se z hlediska životního prostředí o jeden z nejčistších krajů v ČR, což však není důvodem k zanedbání monitoringu škodlivých látek na tomto území.



## 2 TEORETICKÁ ČÁST

### 2.1 Půda jako složka životního prostředí

Geosféra je část planety, na které člověk žije, a z které pro svůj život získává potraviny, minerální materiály, ale i paliva jako zdroj energie. Složkou geosféry je půda. Je to přírodní útvar s dynamikou fyzikálních, chemických, biochemických a mikrobiálních procesů. Půda se vytváří v průběhu geologických období působením živých i neživých faktorů na základní horninu. Základní, půdotvorné horniny účinkem těchto faktorů zvětrávají a vytváří základní složku půdy. Mezi základní půdotvorné faktory patří klima, voda, živé organismy a zásahy člověka.

Kvalitu a rozrušování půdy ovlivňuje podnebí změnami teplot a srážkami, voda působí mechanicky i chemicky. Rostlinstvo nejen rozrušuje základní horninu svými kořenovými systémy, ale i společně s živočichy, z jejich odumřelých těl, tvoří součást povrchu půdy. Kvalitu půdy ovlivňuje také člověk a to tím, že půdu využívá ve svůj prospěch.

Půda je otevřený systém, v kterém dochází k výměně látek a energie mezi ní, atmosférou, biosférou a hydrosférou. Významná je povrchová vrstva, v které jsou uloženy kořenové systémy, a probíhá zde mnoho biologických aktivit [1, 2, 3].

#### 2.1.1 Charakteristika půdy

Půda je heterogenní tuhá fáze. Má zrnitou strukturu a je složená přibližně z 95 % minerálů a 5 % organických látek. Tvoří ji velké částice, okolo kterých se hromadí menší až nejmenší zrníčka různých tvarů. Mezi jednotlivými zrny se vyskytují volné prostory – půdní póry také různých tvarů a velikostí. Jsou to úzké kanálky nazývané kapiláry s průměrem asi 0,1 – 0,001 mm. Složení půdy se mění podle místa a podnebí [1, 4, 5].

#### 2.1.2 Význam půdy

Půda je tedy základem přírodního a životního prostředí, nenahraditelným výrobním prostředkem v zemědělství a lesnictví. Její biologicky oživená vrstva, v níž se odehrávají všechny mikrobiologické, biochemické, chemické a fyzikální pochody, je obecně nazývána orniční vrstvou. Tato vrstva ve srovnání s uložením všech dalších hornin na Zemi reprezentuje pouze několik desítek centimetrů.

Půda tvoří předěl mezi živou a neživou přírodou, hranici mezi povrchovými a podzemními vodami. Její význam spočívá v tom, že je pro člověka nezastupitelná, tvoří základ pro pěstování plodin, kterým poskytuje stanoviště, tak jako je základnou pro tvorbu biomasy,

kteřá je produkována rostlinami všeho druhu. Půda patří mezi nevyčerpatelné přírodní zdroje, ale pouze tehdy, když ji člověk řádně ošetřuje a trvale obnovuje její úrodnost [1, 2, 4].

Výčet hlavních funkcí půdy je následující [2]:

- stanoviště pro produkci potravin, krmiv a rostlinných surovin,
- filtr a zásobárna podzemních vod,
- plochy pro výstavbu a dopravu,
- plochy pro imitované látky a deponie,
- plochy pro těžbu nerostných surovin,
- využití k rekreaci.

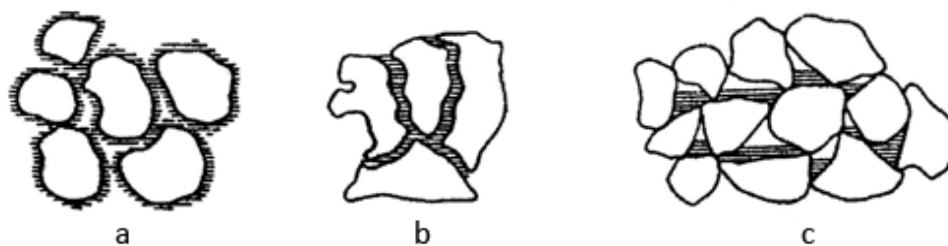
### 2.1.3 Voda v půdě

Voda velmi významně půdu ovlivňuje. Do půdy se voda dostává převážně atmosférickými srážkami. Klima působí na vodu změnami teplot v ročních obdobích a voda (změnami skupenství) mění horninu. Společně s tekoucí vodou tak rozrušuje půdu mechanickou erozí. Významně ovlivňuje tvorbu půdy také podzemní voda. Vyplňuje póry a působí mechanicky i chemicky.

Voda v půdě vytváří kapalnou fázi, tzv. půdní roztok, který zaujímá přibližně 15 až 35 % objemu půdy. Zajišťuje transport živin pro vegetaci, ale také transport polutantů. Pohyb vody a její procesy v půdě souvisí se strukturou a vlastnostmi půdy. Především záleží na tvarech a velikosti půdních pórů, ve kterých se voda pohybuje všemi směry nebo je zde voda udržována elektrostatickými silami [1, 2, 5].

Voda se vyskytuje v půdě ve třech formách (viz obrázek 1) [1]:

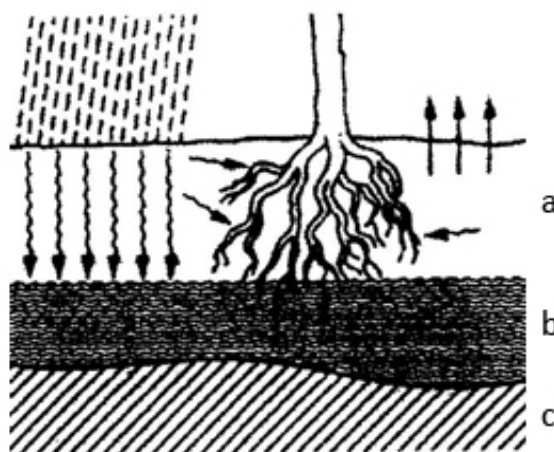
- Adsorpční voda – vázaná elektrostatickými silami na povrch půdního zrna.
- Kapilární voda – vyskytuje se ve velmi jemně strukturované půdě, ve které jsou jemné kanálky. Voda zde proudí všemi směry od vlhkých míst k sušším. Mechanismus pohybu kapilární vody závisí na počasí. Po dešti je na povrchu půda mokrá, nasycená vodou a proto voda proudí z těchto míst směrem dolů, do vrstev sušších. Když zasvítlí slunce, povrch půdy vyschne a voda z vlhkých míst proudí do míst suchých.
- Gravitační voda – v půdě s větším rozměrem půdních zrn proudí gravitačně směrem dolů.



Obrázek 1: Voda v půdě (a – adsorbční voda, b – kapilární voda, c – gravitační voda)[1]

Podle toho jak se půda chová k vodě, rozlišujeme tři půdní vrstvy (viz obrázek 2) [1]:

- Vrstva přechodná – voda zde postupně prosakuje půdními póry a zachytává, filtruje pevné částice nečistot. Tím se voda čistí. Současně se ve vodě rozpouštějí látky obsažené v půdě, voda se jimi obohacuje a mění svoje vlastnosti.
- Vrstva bohatá na vodu – ve směru dolů následuje vrstvu přechodnou. Voda dál neproniká a hromadí se zde.
- Vodonosná vrstva – složena z původní horniny. Brání pronikání vody z vrstvy bohaté na vodu.



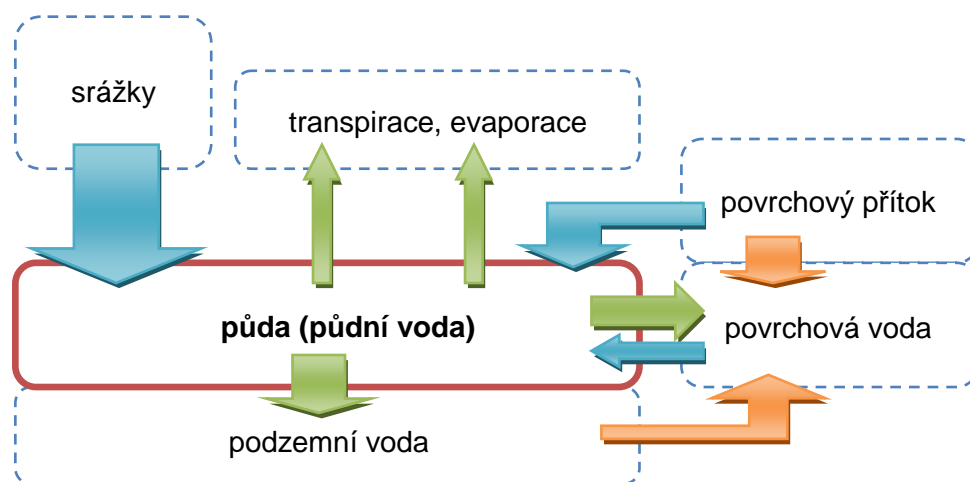
Obrázek 2: Půdní vrstvy (a – přechodná (propustná) vrstva, b – vrstva bohatá na vodu, c – vodonosná (nepropustná) vrstva)[1]

Veškerou vodu obsaženou v půdě, ať již ve skupenství kapalném, plynném i pevném označujeme pojmem půdní voda nebo také termínem půdní vláhá, kterým je zdůrazněna spojitost systému půda – voda – vegetace. Nejúčinnější a nejvýznamnější je voda kapalná, která působí svými dispergačními, rozpouštěcími, hydrolytickými a translokačními účinky. K půdní vodě patří také souvislá podzemní voda, pokud se vyskytuje v půdním profilu nebo do něho vztlínáním zasahuje.

Půdní voda je součástí koloběhu vody v přírodě. Půda zadržuje srážkovou vodu, zpomaluje její odtok a podmiňuje vznik zásob podzemní vody. Pedogeneticky je půdní voda hybnou silou různých pochodů fyzikálních, chemických, fyzikálně-chemických, biochemických a biologických, které probíhají v povrchové vrstvě zemské kůry [1, 2].

#### 2.1.4 Pohyb vody v půdě

Charakteristikou vodních režimů půd je prostorové a časové uspořádání vody v půdě. Což je souhrn všech jevů penetrace vody do půdy, jejího pohybu a zadržování v půdě a unikání z půdy. Kvantitativně je charakterizován vodní bilancí půdy, při níž zásoba vody v půdě na začátku uvažovaného období (všechny formy srážek vč. závlahy, povrchový přítok vč. záplavové vody a sněhových návějí, podzemní přítok laterální a vertikální), odpovídá výparu z povrchu půdy (evaporací) a spotřebě vegetací (transpirací), povrchovému a podzemnímu odtoku a zásobě vody v půdě na konci uvažovaného období. Typ vodního režimu je podmíněn klimaticky, vegetací, půdotvorným substrátem a mateční horninou, podzemní vodou, kulturačními zásahy, reliéfem území a stářím krajiny [1].



Obrázek 3: Pohyb vody v půdě - charakteristika vodních režimů

V zásadě lze vodní režimy rozdělit do šesti skupin [1]:

- promyvný režim – intenzivně provlhčovány, infiltrace převažuje nad výparem;
- periodicky promyvný režim – nejsou pravidelně provlhčovány;
- nepromyvný režim – převaha výparu nad infiltrací;
- bažinný režim – hladina podzemní vody zasahuje do půdního profilu;
- výparný režim – převládá vzestupným pohyb vody nad sestupným (infiltrace);
- závlahový režim – podmiňují se doplňkovým ovlhčováním závlahovou vodou.

### 2.1.5 Odpady a škodliviny v půdě

Fyzikální a chemické vlastnosti půdy umožňují vázat kromě živin a pro vegetaci důležité látky také látky škodlivé a toxické. Půda se tak stává médiem, v kterém se kumulují všechny škodlivé látky, ať již záměrně nebo nezáměrně aplikované, a slouží jako regulátor nejrůznějších dějů a transportů mezi dalšími složkami životního prostředí (atmosféra, hydrosféra, biosféra). Je to soustava, která nejen přijímá, váže, propouští, ale také odstraňuje z biologického koloběhu látky škodlivé pro biotu. Tlumí tak nepříznivé vlivy využití půdy, průmyslu, dopravy i osídlování, a k tomu jí dopomáhá hned několik funkcí [2, 6, 7, 8]:

- filtrační funkce – znečišťující látky, jež se dostávají do půdy, jsou mechanicky zadržovány (zejména částice s velikostí pod 2  $\mu\text{m}$ );
- pufovací funkce – pohyb rozpustných látek je znemožněn nebo velmi omezen adsorpcí půdy či možnou tvorbou nerozpustných sraženin;
- transformační funkce – závisí zejména na aktivitě mikroorganismů, dochází tak k různým procesům jako je mineralizace, oxidace, redukce nebo biomethylace.

Tyto retenční, sorpční a transportní procesy zapříčiňují imobilizaci, snížení biodostupnosti nebo degradaci škodlivých látek.

Při posuzování kontaminace biosféry škodlivými látkami všeho druhu, byla dříve jejich osudu věnována především pozornost v ovzduší nebo ve vodách a opomíjela se právě otázka jejich osudu v půdách, především pozornost do jaké míry mohou ohrozit její úrodnost, kvalitu rostlin, nebo kvalitu prosakující či protékající vody, kvalitu podzemní vody, obecně pak ohrozit navazující potravní řetězce, které končí u člověka [1, 2].

#### Pojem škodlivina

Jako škodliviny označujeme látky, jejichž koncentrace překračují úroveň, která je považována za normativní. Kontaminanty v půdách musí být tak nízké, že ani při trvalém působení na chráněné kvality, je nemohou ohrozit ani v délce života, ani v dalších produkčních vlastnostech. Je-li nějaká látka „toxická“ nebo „užitečná“, nezpůsobuje pouze látka a její koncentrace, ale i další působící faktory – tzv. zatížení škodlivinou, která jsou závislá [2]:

- na druhu látky a jejího obsahu v půdě,
- na všech půdních a klimatických stanovištních faktorech,
- na ochranných vlastnostech stanoviště,
- na předpokládaném nebo možném využití stanoviště.

Škodlivost nebo nebezpečnost látky je dána nejen svou toxicitou, ale je třeba zohledňovat všechny uvedené faktory. Pojem škodlivina může být však nejlépe vysvětlen na příkladu

kovů. Řada těchto prvků je v půdách pro organismy velmi důležitá. Jejich nedostatek má vysokou biologickou účinnost a vede k onemocněním z jejich nedostatku. V tomto případě jde ale o biogenní mikroelementy. Když potenciálně škodlivé prvky překračují míru biologické snášenlivosti, označujeme je jako škodliviny [2].

### 2.1.6 Samočisticí schopnost půdy

Současné znalosti o samočisticí schopnosti půdy jsou nedostatečné, ačkoliv je všeobecně známo, že právě půda je jednou z nejdůležitějších křižovatek v ekosféře, což znamená, že je hlavním příjemcem a místem, kde se hromadí i škodlivé chemické látky z přirozené i antropogenní činnosti. Půda také rozhoduje o osudu všech těchto látek a je třeba zdůraznit, že samočisticí schopnost půdy je nižší, než samočisticí schopnost vzduchu nebo vody [2].

Literatura [8] se zmiňuje o samočisticí funkci v těchto podobách:

- huminifikace – půdotvorný proces (přeměna organické hmoty v humus);
- mineralizace – zúrodnování půd (přeměna organických látek na anorganické);
- filtrace – mechanické zadržování znečišťujících látek, zejména částic pod 2  $\mu\text{m}$ ;
- sorpce – adsorpcí půdy je znemožněn nebo omezen pohyb rozpustných látek;
- oxidace a redukce;
- mikrobiální aerobní a anaerobní procesy.

Avšak o samočisticím efektu jako takovém můžeme hovořit pouze u mikrobiálních procesů, kdy se jedná o proces zvaný biodegradace. Což znamená, že mikroorganismy jsou schopny v rámci svého metabolismu rozložit cizí látky. Přičemž čistící efekt a snížení toxicity není pravidlem. U ostatních způsobů lze říci, že se jedná buď o přemístění polutantu do jiných složek životního prostředí, nebo dochází k jeho imobilizaci, či snížení biodostupnosti.

### 2.1.7 Vliv polutantů v půdě na její kvalitu

Půda sice může některé škodlivé látky rozložit (látky organického původu), ale i tak se v ní mohou hromadit jiné látky (hlavně anorganické látky, zejména toxické kovy), které při určitých koncentracích a podmínkách mohou působit škodlivě. Ovlivněna je výše výnosu biomasy, kumulace škodlivých látek v tkáních rostlin a jejich přenos do potravních řetězců. Z tohoto hlediska bude význam půdy a její čistota spočívat především na tom, že působí jako stanoviště nejen pro výrobu potravin a surovin, ale i jako stanoviště všech forem vegetace, která se uplatňuje na tvorbě krajiny, zajišťuje její estetiku a ochranu [2].

Půda v konečném důsledku odráží celkový stav životního prostředí. Komplex přirozených vlastností půdy se mění působením celé řady faktorů, ale ve vazbě na životní prostředí jsou vymezené pouze zdroje chemického poškozování půdy – způsobující degradaci půdy [1].

### 2.1.8 Zdroje znečištění půdy

K vnášení škodlivin do půdy dochází z různých zdrojů, přičemž zdroje znečištění můžeme rozdělit podle více hledisek, ale z toho nejvýšeobecnějšího hlediska rozlišujeme zdroje znečišťování na přírodní a antropogenní.

Přírodní zdroje znečištění vznikají v důsledku procesů probíhajících v životním prostředí a dále je můžeme rozdělit na primární přírodní zdroje, které představuje zvětrávání základní horniny, a na sekundární přírodní zdroje jako je vulkanická činnost, přirozené požáry, prašnost apod.

Antropogenní zdroje znečištění můžeme definovat jako veškeré stavby, objekty, zařízení, technologie, anebo jiné technické prostředky sloužící potřebám člověka, z kterých dochází k emisím znečišťujících látek, ať již záměrně nebo nezáměrně, do některé ze složek životního prostředí. K charakteristice antropogenního znečištění půdy patří přímé vnášení škodlivin do půdy a nepřímý transport škodlivých látek z jiných složek životního prostředí, především z ovzduší a z povrchových vod. Příčinou znehodnocení půdy tedy nemusí být pouze nevhodný zásah člověka do přírodního prostředí orientovaný jen na půdu [1, 2, 8].

Přímé znečišťování půdy [1]:

- zemědělství – aplikace průmyslových a organických hnojiv, biocidů, kompostů a nevyhovující závlahové vody, přímá aplikace kalů z ČOV a dnových sedimentů do půdy, úniky provozních kapalin při obdělávání půdy;
- doprava – emise výfukových plynů, provozních kapalin a opotřebovaných materiálů z dopravních prostředků v blízkosti půdního fondu, údržba vozovek;
- nakládání s odpady – ukládání odpadů na černých skládkách; nesprávné nakládání s průsakovými vodami ze skládek (vyplavení odpadů, vyluhování škodlivin z odpadů).

Nepřímé znečišťování půdy [1]:

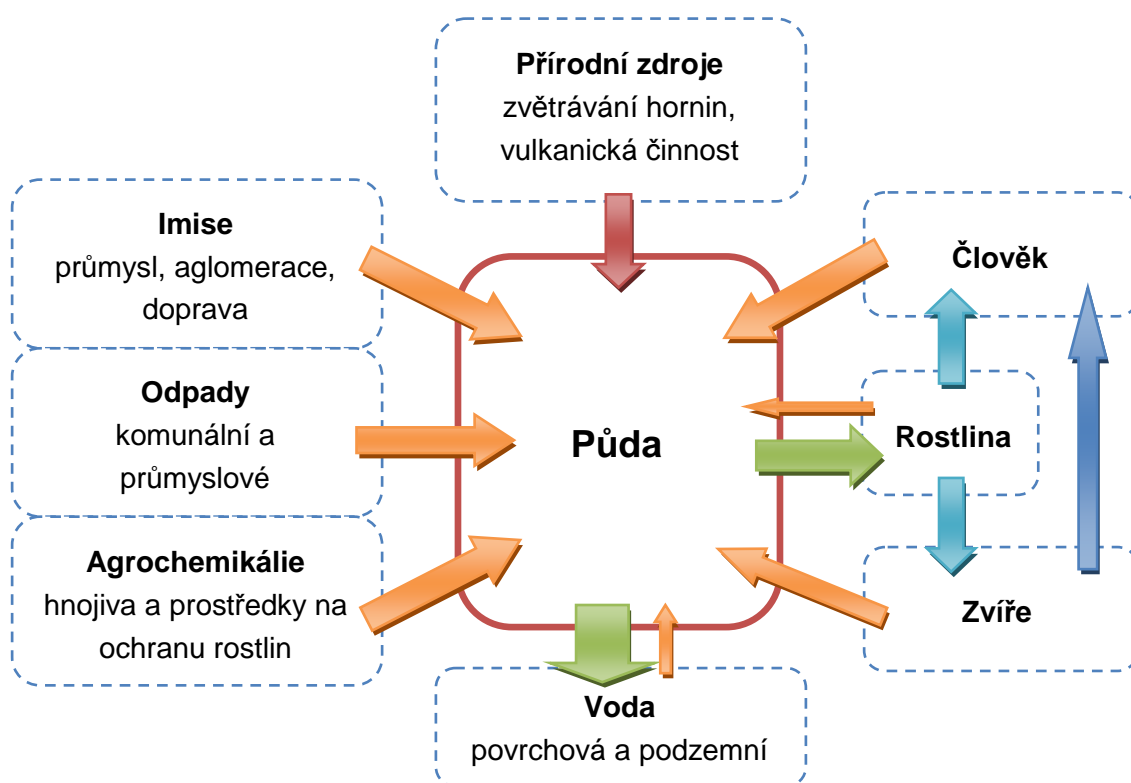
- transport škodlivin z ovzduší – ve formě plynných a tuhých imisí srážkovou vodou (mokrou depozicí), sorpce znečišťujících látek na částicích půdy nebo sedimentace tuhých exhalátů (popílků, mikročástice) v blízkosti jejich zdrojů jako jsou elektrárny, teplárny, průmysl, doprava aj. (suchá depozice);
- transport škodlivin z povrchových vod – ať již vlastním chemickým složením nebo vyplavením znečištěných kalů a sedimentů.

Dalšími případy znečištění jsou náhodné živelné pohromy a katastrofy (povodně, zemětřesení, atd.), kdy dochází k devastaci infrastruktury urbanizovaného prostředí a následně k úniku škodlivin. Podobně tak může dojít i při haváriích způsobených lidským faktorem. Při znečišťování půdy mohou hrát významnou úlohu i staré ekologické zátěže [1].

### 2.1.9 Pohyb polutantů v půdě

Zvláštností půdy, a to díky jejím fyzikálním a chemickým vlastnostem, je omezená migrace látek, které se do ní ukládají a které jsou v ní obsaženy. Znamená to, že každé lokální znečištění se projeví ve větším měřítku až po dlouhé době [3].

K transportu polutantů v půdě dochází díky pohybu půdní vody, a to za příznivých podmínek, které ovlivňuje interakce látky s půdou, mechanické zadržování půdou, rozpustnost látky ve vodě, teplota aj. Škodlivé látky jsou tak v půdě vodou luhovány a přemísťovány, přičemž může dojít až k vymývání škodlivin z půdy do ostatních složek životního prostředí [1].



Obrázek 4: Distribuce a transport škodlivin v půdě [2]

Obhospodařování půdy tak nerozhoduje jen o množství a kvalitě produkovaných potravin a surovin, ale ovlivňuje rovněž kvalitu povrchových a podzemních vod [2], jak vyplývá z obrázku 4.

Mezi základní mechanismy ovlivňující mobilitu škodlivin v půdě jsou [8]:

- fyzikální – sorpce, iontová výměna, změna rozpustnosti;
- chemické – kovalentní nebo chelátové, iontové vazby, srážecí mechanismy;
- biochemické – zabudování nízkomolekulárních organických molekul do málo reaktivních makromolekul, mikrobiální rozklad, biomethylace.



## 2.2 Sedimenty povrchových vod v životním prostředí

Sediment je usazenina složená z pevných částic, které se vlivem gravitace usadili na dně prostoru. Může jít o atmosféru, kde sedimenty tvoří částice unášené větrem – spraše, nebo sedimenty ve vodním prostředí.

### 2.2.1 Charakteristika a složení sedimentu povrchových vod

Všechny částice ve vodě větší než 0,45  $\mu\text{m}$  jsou považovány za nerozpuštěné – jedná se o vodní kal. Část těchto nerozpuštěných látek, které jsou vodou unášeny, sedimentují. Dnový sediment je tedy kal, který se usadil na dně nádrží, rybníků a vodních toků. Dnové sedimenty jsou složeny z tuhých anorganických a organických látek a organismů, které pocházejí z různých zdrojů. Jde o čtyři základní skupiny látek [3, 9, 10, 11]:

- tuhé látky pocházející ze smyčů okolní půdy – jílové minerály, erodované horniny;
- tuhé látky vznikající antropogenní činností – suspendované látky z městských a průmyslových odpadních vod, tuhé odpady ze zemědělství;
- tuhé látky vznikající sekundárně chemickými reakcemi – hydratované oxidy železa, manganu, hliníku aj., málo rozpustné fosforečnany, uhličitany a sulfidy různých kovů;
- organický detrit – zbytky odumřelých organismů, živočišných a rostlinných, usazujících se na dně, jako jemný kal.

Složení a vlastnosti dnových sedimentů jsou ovlivněny složením a vlastnostmi vodní fáze. Tuhá i kapalná fáze se vzájemně ovlivňují. Změny v organickém nebo anorganickém znečištění vody se projeví ve složení sedimentu [10].

Z anorganických látek v dnových sedimentech převažuje křemík, přičemž největší význam má fosfor, vápník, hořčík, železo a mangan. Značná část organických látek dnových sedimentů připadá na látky huminové. Z anorganických látek zpravidla převažují jílové minerály, hydratované oxidy železa a manganu, uhličitan vápenatý aj. Všechny uvedené látky jsou příčinou vysoké výměnné sorpční kapacity dnových sedimentů pro různé kationy a anionty. Proto jsou významnou složkou dnových sedimentů také těžké kovy [9, 10].

### 2.2.2 Znečištění sedimentů ve vodním prostředí

K znečištění vodního prostředí vysokou mírou přispívá zemědělské, průmyslové a komunální užití vody, při kterém se voda nejen spotřebovává, ale mění se na odpadní vody. Ty jsou hlavní příčinou antropogenního znečištění povrchových vod a sedimentů (potoků, řek a jiných kontinentálních vodních ploch), které jsou využívány jako recipient – přírodní prostor, do kterého se odpadní vody vypouštějí [1].

Lidskou činností jsou znečišťovány také jiné druhy přírodních vod (atmosférické a podzemní vody), které následně škodlivé látky přenášejí do vodního prostředí sedimentů. Atmosférické (srážkové) vody získávají znečištění imisí látek z ovzduší, podzemní vody např. průsakem skládkové vody. Další významné znečištění pochází ze smyvů půd, zejména ze zemědělsky využívaných půd, kdy dochází k přenosu kontaminantů z půdy do povrchových vod (potoků a řek) [1].

### **2.2.3 Pohyb polutantů ve vodním prostředí a sedimentech**

Vzhledem k odlišné „pohyblivosti“, resp. lepším fyzikálním podmínkám pro migraci, znečišťujících látek ve vodním prostředí oproti půdě dochází k daleko větší rychlosti a rozptylu šíření kontaminantů. V závislosti na charakteru toku (přítokové množství, unášecí síla toku), celkových fyzikálních (teplota vody), chemických (kyslíkové poměry, celkové chemické složení vody), biologických poměrů v toku a také vlastností samotných znečišťujících látek záleží, do jaké vzdálenosti od místa vstupu do recipientu škodlivé látky migrují [7, 12, 13].

Následně anorganické látky sedimentují přímo nebo se prostřednictvím koagulace ukládají na dno toku. Suspendované organické a ostatní anorganické látky se ukládají na dno toku, nejvíc na místa s nejmenší unášecí silou. Na místech s větší rychlostí toku pak dochází k přemísťování dnových sedimentů, resp. k sekundární migraci znečišťujících látek. Při větším průtokovém zatížení (při zvýšení hladiny vody, záplavách) může dojít až k vyplavování sedimentu v okolí vodního toku, a tím ke zpětné kontaminaci půdy [13].

## 2.3 Těžké kovy

Lidskou činností jsou do životního prostředí vnášeny prvky, jejichž přítomnost v určité míře a podobě není v životním prostředí přirozená, ačkoli některé z nich se řadí mezi nutné stopové prvky. Většina organismů nemá mechanismy k jejich vylučování. Proto se tyto prvky (případně jejich sloučeniny) hromadí ve tkáních a působí toxicky. Jedná se o prvky obvykle zařazované pod pojem „těžké kovy“.

Těžké kovy, jsou definovány jako kovy, jejichž specifická hmotnost je větší než 5 gramů na 1 cm<sup>3</sup>. Jedná se o následující prvky: La, Ce, Pr, Zr, Hf, Th, V, Nb, Ta, Cr, Mo, W, U, Mn, Re, Fe, Co, Ni, Ru, Rh, Pb, Os, Ir, Pt, Cu, Ag, Au, Zn, Cd, Hg, Ga, In, Tl, Ge, Sn, Pb, As, Bi, Sb, Te. U teluru a arsenu lze hovořit o kovech v elementárním stavu. Pojem „těžké kovy“ není tedy jednoznačně ustáleným pojmem. Společně s hlediskem jejich závažnosti pro životní prostředí se v dnešní době spíše uvádí pod pojmem „rizikové prvky (rizikové kovy)“.

Nejčastějšími kontaminanty ze skupiny rizikových prvků v životním prostředí jsou toxické kovy jako je Hg, Pb, Cd, Cu a další jako je Zn, Cr, Mn, Fe, Ni, ale i Ag, Sn, Mo, Rh, Pd, Au, Bi, Pt a některé polokovy jako je As, Se a Sb, Te. Toxicita těchto prvků je závislá na formě jejich přítomnosti – roztoky anorganických sloučenin, kovový prach, organokovové sloučeniny.

Máme-li z toxikologického hlediska definovat toxický kov, pak je to prvek, který za určitých podmínek může reagovat ztrátou jednoho nebo více elektronů a tvořit tak kationt. Mezi toxické kovy jsou v toxikologii obvykle zařazovány zejména ty, jejichž relativní atomová hmotnost přesahuje hodnotu 100 a jsou vzhledem ke své biologické aktivitě (především toxicitě) významné pro lidský nebo jiný organismus [14, 15, 16, 17].

### 2.3.1 Toxicita a průnik rizikových prvků do organismů

Toxické účinky bývají mnohostranné a působí v podstatě na celý organismus. Některé rizikové kovy mají výrazně toxické účinky i v elementární formě. Toxicita je způsobena interakcí mezi cílovým orgánem a volným iontem. Toxické účinky se mohou projevit různě, od dermatitid, přes zažívací potíže až k selhávání nebo poškození orgánů rakovinným procesům. U toxických kovů je také nebezpečná jejich schopnost ukládat se v různých tkáních organismů.

Ionty rizikových prvků mohou přecházet do organismů, přičemž hlavními vstupními branami jsou dýchací ústrojí, trávicí ústrojí a kůže, v případě teratogenních látek i placenta. Ionty jsou do těla vstřebávány a po určité době pronikají do krve, jejímž prostřednictvím jsou transportovány na různá cílová místa v organismu. Při transportu je kov v některých případech obsažen přímo v červených krvinkách, nejčastěji však ve specifických bílkovinách

krevní plazmy. Jako cílové jsou označovány orgány, které jsou příslušným kovem ovlivňovány, nebo je v nich kov ukládán. Ovlivnění specifických cílových orgánů jednotlivými rizikovými prvky je uvedeno v tabulce 1 [15, 17, 18].

*Tabulka 1: Ovlivnění cílových orgánů významnými rizikovými prvky [17]*

<b>Prvek</b>	<b>Cílový orgán</b>
Arsen	centrální nervový systém, kůže, vlasy
Chrom	plíce, játra, ledviny, pohlavní orgány, kůže
Kadmium	ledviny, játra, varlata
Měď	játra, kostní dřeň, ledviny, mozek, oční rohovka
Nikl	plíce, srdce, imunitní systém, kůže
Olovo	dlouhé kosti, mozek, játra, ledviny, placenty
Rtuť	mozek, játra, ledviny, imunitní systém

### **2.3.2 Znečišťování životního prostředí rizikovými prvky**

Jedním z průvodních jevů neustále se rozvíjejících žádoucích i nežádoucích aktivit člověka je pokračující znečišťování životního prostředí rizikovými prvky. Mezi hlavní zdroje vstupu do životního prostředí patří přirozeně vlastní výroba a zpracování kovových a polymetalických rud, výroba čistých kovů, dále všechny spalovací procesy emitující rizikové kovy v nejběžnější formě (páry, aerosoly, mikročástice), výroba anorganických i organokovových sloučenin s obsahem rizikových kovů, galvanické technologie a mnohé další. Mezi největší znečišťovatele tedy logicky patří energetický, hutní, strojírenský a automobilový průmysl.

Vzhledem k možnosti přímého vlivu na člověka nelze opomenout ani na zdroje těžkých kovů v procesu výroby, skladování a konzumace potravin (kontaminace oděrem, korozí, přímou interakcí s obalem apod.). Svým způsobem paradoxní, avšak nesčetné jsou pak případy, kdy člověk sám (ne)vědomě recykluje vstup těžkých kovů do životního prostředí, například nevhodným nakládáním s odpady.

Neustálý přísun těžkých kovů do životního prostředí vede logicky k nárůstu jejich koncentrace v ovzduší, ve vodách a půdách, v potravinovém řetězci, a tím i v tkáních a tělních tekutinách současné populace. Není proto divu, že i přes někdy zdánlivou „čitelnost“ celé problematiky těžkých kovů jako skupiny polutantů v životním prostředí, je tato nadále velmi živou a aktuální [15, 18].

### 2.3.3 Primární zdroje rizikových prvků

Vzhledem k všestrannému použití nejrůznějších sloučenin těžkých kovů existuje i mnoho zdrojů a možností jejich úniku do všech složek životního prostředí. Jedná se o různá odvětví průmyslu a zemědělství, která mohou být jak lokálními, tak i celoplošnými zdroji těžkých kovů. Přehled nejdůležitějších zdrojů rizikových prvků je uveden v tabulce 2 [17].

*Tabulka 2: Zdroje kontaminace životního prostředí významnými rizikovými kovy [17]*

<b>Prvek</b>	<b>Zdroje kontaminace</b>
Arsen	zpracování rud, aditiva do skla, zemědělství (hnojiva, insekticidy), léčiva pro veterinární medicínu, kouření, ochranné prostředky na dřevo
Chrom	chemický průmysl, pigmenty do barev, ochranné prostředky na dřevo, zpracování kůže, výroba cementu, pokovování, slitiny kovů, spalování fosilních paliv
Kadmium	doprovodný kov v zinkových a olověných rudách, zemědělství (fosfátová hnojiva), kouření, pigmenty pro barvy a plasty, baterie, spalování fosilních paliv
Měď	elektrotechnický materiál, slitiny kovů (mosaz, bronz), komunální odpad, chemický průmysl, zemědělství (fungicidy), měděné dráty a plechy
Nikl	úpravny rud, hutě, rafinerie, baterie, pokovování, slitiny kovů, kouření, kosmetické přípravky (šampony, laky na vlasy)
Olovo	úpravny rud, hutě, rafinerie, chemický průmysl, akumulátory, pigmenty do barev, olovnaté sklo, přísady do glazur, zemědělství (hnojiva, insekticidy), spalování fosilních paliv, automobilový průmysl
Rtuť	zpracování rud, zemědělství (herbicidy, fungicidy), elektrochemie, katalytické procesy, baterie, spalování fosilních paliv
Selen	zpracování rud, komunální odpady, spalování fosilních paliv, povrchové úpravy kovů polovodiče
Zinek	galvanizace, pigmenty do barev a keramických glazur, slitiny kovů (mosaz, bronz), zemědělství, kouření, komunální odpady

## 2.3.4 Vstup rizikových prvků do půdy a sedimentů

### Zvětrávání hornin

Zvětráváním a ostatními půdotvornými procesy dochází k neustálé tvorbě půdy, a tím i k obohacování rizikovými prvky. Vyjádříme-li tyto vstupy rizikových prvků v % jejich celkového obsahu v půdě, pak roční průměrný přírůst jednotlivých prvků se pohybuje od 0,023 do 0,039 %. Ve srovnání s celkovými vstupy rizikových prvků do půd se vstupy zvětráváním pohybují mezi 5 až 10 % [7].

### Atmosférická depozice

Atmosférickou depozici lze charakterizovat mokrou depozicí (přenos uskutečňují atmosférické srážky) a suchou depozicí (gravitační sedimentace, impakce a sorpce). Zdroje rizikových kovů v ovzduší mohou být přírodní (sopečná činnost, větrná eroze, lesní požáry) a antropogenní (produkty elektráren, průmyslu, dopravy a městských aglomerací představující hlavně popílek, prach, dým a kouř). Tyto emise se podílejí na celkovém vstupu rizikových prvků do půdy asi z 80 % [7].

### Aplikace hnojiv, průmyslových kompostů

Zemědělství znečišťuje půdu jednak bodovými zdroji (silážní jámy, velkochovy, hnojiště, močůvkové jímky, sklady průmyslových hnojiv apod.) a jednak plošně (aplikací průmyslových hnojiv, kompostů a pesticidů na obdělávanou půdu). Výše plošných vstupů je odvislá na složení výrobních surovin, na druhu a množství aplikované látky, rovnoměrnosti a době aplikace. Nejproblémovějším imisním prvkem z této kategorie vstupů je kadmium [7].

### Kaly z čistíren odpadních vod a závlahové vody

Prostřednictvím nekontrolované aplikace kalů z ČOV se do půdy může dostávat značné množství rizikových prvků. Nejvíce znečištěné kaly jsou z ČOV, kde je na kanalizační síť napojeno množství průmyslových podniků. Podobně je tomu i u závlahových vod, v kterých je zvýšená koncentrace těžkých kovů. Především se jedná o meliorační závlahy odpadními vodami [7].

### Odpadní voda

Odpadní vody obsahující zvýšené množství toxických kovů patří ke klíčovým problémům znečišťování vodního prostředí. Jsou to zejména některé důlní vody, vody kontaminované průsakem hlusinovými haldami, odpadní vody z některých složišť popílku, odpadní vody strojírenských závodů, koželužen, odpadní vody z ČOV, kde je na kanalizační síť napojeno množství průmyslových podniků, nekontrolovaná průsaková odpadní voda ze skládek aj [7].

## 2.4 Vybrané rizikové prvky

Vzhledem k praktické části této práce bude dále soustředěno pouze na rtuť, olovo, kadmium a měď, resp. na ty rizikové prvky, jejichž závažnost znečištění z hlediska ochrany životního prostředí je nejdůležitější.

### 2.4.1 Kadmium

Vzhledem k jeho vysoké odolnosti proti korozi se používá především v metalurgii k výrobě slitin a ke galvanickému pokovování, především k povrchové úpravě plechů. Dále se používá k výrobě baterií (Ni-Cd), pigmentů, solárních panelů a fotoelektrických a optických zařízení. Kadmium je obsaženo i v organických hnojivech. Používá se také jako stabilizátor plastů.

V přírodě se přirozeně vyskytuje ve stopovém množství v půdě. Ve vodě nemá výraznou schopnost tvorby komplexních sloučenin. Zesiluje toxické působení dalších těžkých kovů (Cu, Zn). Je vysoce toxické. Jeho nejnebezpečnější vlastností je schopnost vytěsňovat zinek z biochemických struktur, a tím měnit jejich funkci. Dále má schopnost narušovat metabolismus některých prvků, např. železa a vápníku. Narušení metabolismu železa způsobuje rozpad červených krvinek, v případě vápníku dochází hlavně k odvápnění kostí (osteoporóza), kdy dochází k substituci vápníku kadmii. Dále způsobuje vysoký krevní tlak, poškození reprodukčních orgánů a ledvin. Při vdechování oxidů kadmia dochází k edému plic a nekrotám plicního epitelu. Kadmium je také vysoce kumulativní v některých rostlinách, např. v tabáku nebo v pšenici [17, 18, 20, 21].

### 2.4.2 Měď

Měď je v životním prostředí zastoupena převážně ve formě svých rud, ale v některých případech i v ryzí formě. Díky jejímu malému elektrickému odporu slouží k výrobě elektrických vodičů, elektromagnetických relé, slitin a pigmentů. Válcuje se na plechy (pokrývka střech). Z důvodu toxicity pro řasy a sinice se používá k výrobě algicidů.

Měď je esenciálním prvkem, protože je obsažena v enzymech zodpovídajících za správnou funkci metabolismu železa. Její nedostatek může být příčinou zhoršené syntézy hemoglobinu a následně anemických stavů. Absorpci mědi v organismu snižuje přítomnost zinku a kadmia v těle. Vyšší koncentrace mohou vést naopak k vážnějším zdravotním potížím. Měď patří k akumulacním xenobiotikům a hromadí se především v játrech a kostní dřeni. Způsobuje anémii, zažívací potíže spojené s krvácením do zažívacího traktu, poškození jater a ledvin.

Měď je nepříliš toxická pro zvířata a mírně toxická pro rostliny a řasy. Značnou toxicitu má tento kov pro nižší organismy typu bakterií, plísní a nižších hub [17, 18, 19, 20].

### 2.4.3 Olovo

Olovo je jeden z nejdéle známých a hojně využívaných kovů, což záhy vedlo mimo jiné i ke zjištění jeho toxických účinků. Získává se z rudy galenitu (PbS). Používá se převážně k výrobě olověných akumulátorů. Dále pak k výrobě tzv. olověného skla, které se vyznačuje vysokou odrazivostí. Dříve bylo užíváno ve formě tetraethylolova jako antidetonační agens do benzínu nebo k výrobě vodovodního potrubí. Z důvodu nepropustnosti pro radiační záření se z něj vyrábějí ochranné pomůcky proti ozáření. Slouží také k výrobě slitin (pájecí kov), barviv a stříeliva.

Do současné doby nebyl zjištěn žádný esenciální význam olova. V lidském organismu se chová jako antagonist a vápníku, z čehož vyplývá jeho schopnost vytěšňovat vápník z kostí a zde se potom ukládat. Až 90 % olova přijatého organismem se kumuluje v kostech, kde poškozuje krvetvorbu tím, že z důvodu jeho kompetence s železem zabraňuje syntéze hemoglobinu, a to je příčinou anemických stavů. V období kdy má tělo nedostatek vápníku, se může akumulované olovo z kostí mobilizovat, vstoupit do krevního řečiště a toxicky působit na další orgány – játra, ledviny, reprodukční orgány. Ionty olova jsou potenciálně karcinogenní. Olovo má dále extrémně nepříznivý účinek na centrální i obvodovou nervovou soustavu. Olovo a jeho sloučeniny jsou také zařazeny v kategorii teratogenních a mutagenních látek [17, 18, 21].

### 2.4.4 Rtuť

Rtuť je za normální teploty kapalný kov. V horninách se vyskytuje v rudě rumělce (HgS). Rtuť dříve nacházela uplatnění především při výrobě měřících zařízení - teploměrů (do cca mínus 25 °C) a tlakoměrů. Dále se používá k výrobě elektrod pro elektrochemii. Slitiny s dalšími kovy, tzv. amalgámy, se používají v zubním lékařství jako zubní výplň (škodlivost pro organismy ale nebyla prokázána). Vyrábí se z ní také rtuťové lampy a trubky určené k vedení rentgenového záření.

Rtuť patří k nejdéle známým toxickým kovům. Z hlediska toxikologického je velmi důležitá forma, ve které se rtuť vyskytuje. Jednotlivé formy rtuti (elementární rtuť, páry, organické a anorganické sloučeniny) se totiž liší silou jejich toxického účinku. Elementární rtuť je těkavá a vysoce toxická při vdechnutí. Anorganické sloučeniny s iontem  $Hg_2^{+2}$  jsou málo rozpustné a proto poměrně málo toxické, sloučeniny s iontem  $Hg^{2+}$  jsou toxické. Organické sloučeniny rtuti jsou vysoce toxické. Rtuť má vysokou afinitu k síře, což je důsledkem její vazby na sérový albumin. Elementární rtuť je v životním prostředí nebezpečná z důvodu možnosti methylace na organickou methylrtuť, která je mutagenní, teratogenní. Po vdechnutí par se rtuť dostává do mozku přes hemoencefalitickou bariéru a působí neurotoxicky (třes, plachost, nespavost, deprese) [17, 20, 21].



## 2.5 Limitní obsahy vybraných rizikových prvků v půdě a sedimentech v ČR

### 2.5.1 Půdy nezemědělského charakteru

Znečištění zemin nezemědělského charakteru rizikovými prvky jsou řešeny dle Metodického pokynu 3/96 Ministerstva životního prostředí. Tento pokyn rozděluje posuzování znečištění do tří kategorií – kritérií A, B, C.

Kritéria A odpovídají přibližně přirozeným obsahům sledovaných látek v přírodě (v souvislosti s uzančně stanovenou mezí citlivosti analytického stanovení). Překročení kritérií A se posuzuje jako znečištění příslušné složky životního prostředí vyjma oblastí s přirozeným vyšším obsahem sledovaných látek. Pokud však nejsou překročena kritéria B, znečištění není pokládáno za tak významné, aby bylo nutné získat podrobnější údaje pro jeho posouzení, tedy zahájit průzkum nebo znečištění monitorovat.

Kritéria B jsou uměle zavedená kritéria, která jsou pro sledované látky daná přibližně aritmetickým průměrem kritérií A a C. Posuzují se jako znečištění, které může mít negativní vliv na zdraví člověka a složky životního prostředí. Je třeba shromáždit další údaje pro posouzení, zda se jedná o významnou ekologickou zátěž a jaká jsou rizika s ní spojená. Kritéria B jsou tedy vytvořeny jako intervenční hladiny, při jejichž překročení je nezbytné se znečištěním dále zabývat. Překročení kritérií B vyžaduje předběžně hodnotit rizika plynoucí ze zjištěného znečištění, zjistit jeho zdroj a příčiny a podle výsledku rozhodnout o dalším průzkumu či zahájení monitoringu.

Kritéria C představují znečištění, které může znamenat významné riziko ohrožení zdraví člověka a složek životního prostředí. Při odvození kritérií C byly zohledněny fyzikálně-chemické, toxikologické, ekotoxikologické, popř. další (např. senzorické) vlastnosti látek. Kritéria C jsou uvedena pro jednotlivé typy plánovaného užití území. Závažnost rizika může být potvrzena pouze jeho analýzou [22].

Tabulka 3: Limitní koncentrace kovů v půdách dle Metodického pokynu MŽP ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) [22]

Prvek	A	B	C			
			obytné využití území	rekreační využití území	průmyslové využití území	všestranné využití území
Kadmium	0,5	10	20	25	30	12
Měď	70	500	600	100	1500	190
Olovo	80*	250	300	500	800	300
Rtuť	0,4	2,5	10	15	20	10

\*) Může být i vyšší ve velkých městských aglomeracích a oblastech s intenzivní automobilovou dopravou.

## 2.5.2 Půdy zemědělského charakteru

Limitní koncentrace pro rizikové prvky v zeminách náležejících do zemědělského půdního fondu jsou uzákoněny ve sbírce zákonů ČR ve Vyhlášce č. 13/1994 sb., ve znění pozdějších předpisů, kterou se upravují některé podrobnosti ochrany zemědělského půdního fondu. Vyhláška rozlišuje maximálně přípustné hodnoty pro výluh kyselinou dusičnou (výluh roztokem 2 M  $\text{HNO}_3$  při poměru půdy k vyluhovacímu 1 : 10) a celkový obsah (rozklad lučavkou královskou) v lehkých (písčité a hlinitopísčité půdy) a ostatních půdách, přičemž uvedené údaje platí pro směsné vzorky získané z horní vrstvy v tloušťce 0,25 m, vysušené na vzduchu do konstantní hmotnosti. Limitní hodnoty jsou uvedeny v tabulce 4 [23].

Tabulka 4: Limitní obsahy rizikových prvků v zemědělských půdách ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) [23]

Prvek	Výluh 2 M $\text{HNO}_3$		Celkový obsah	
	lehké půdy	ostatní půdy	lehké půdy	ostatní půdy
Kadmium	0,4	1	0,4	1
Měď	30	50	60	100
Olovo	50	70	100	140
Rtuť	-	-	0,6	0,8

## 2.5.3 Sedimenty povrchových vod

O charakteru znečištění škodlivými látkami – rizikovými prvky v sedimentech povrchových vod hovoří Zákon č. 9/2009 Sb., ve znění pozdějších předpisů. Ve IV. části tohoto zákona, kterou se mění Zákon č. 185/2001 Sb., o odpadech, ve znění pozdějších předpisů, v příloze č. 9 jsou uvedeny limitní hodnoty koncentrací škodlivin ve vytěžených zeminách a vytěžených hlušínách, včetně sedimentů z vodních nádrží a koryt vodních toků v  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  sušiny. Tyto hodnoty jsou uvedeny v tabulce 5 [24].

Tabulka 5: Limitní obsahy rizikových prvků v sedimentech vodních toků ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) [24]

Prvek	limitní hodnota
Kadmium	2,5
Měď	100
Olovo	100
Rtuť	0,8

## 2.6 Vybraná metodika stanovení rizikových prvků v půdě a sedimentech

Stanovování rizikových prvků je jednodušší např. oproti stanovování organických těkavých látek v tom, že tyto analyty jsou prakticky stálé a s výjimkou hydridotvorných prvků a organometalických sloučenin většinou nedochází k jejich těkání a ztrátám při jednotlivých postupech analýzy, které je nutné provést pro získání kvalitních výsledků. Problémem, alespoň v oblasti stopových koncentrací, je možná kontaminace z materiálu vzorkovacích nástrojů, nádob, do kterých se vzorky odebírají, a laboratorních pomůcek, které při postupech analýzy přijdou do kontaktu se vzorky a s analyzovanými extrakty. Při stanovování kovových prvků nejlépe vyhovují plastové materiály, např. z teflonu nebo polyethylenu, které byly předem louženy zředěnými minerálními kyselinami (HCl, HNO<sub>3</sub>) [4].

### 2.6.1 Vzorkování půd a sedimentů

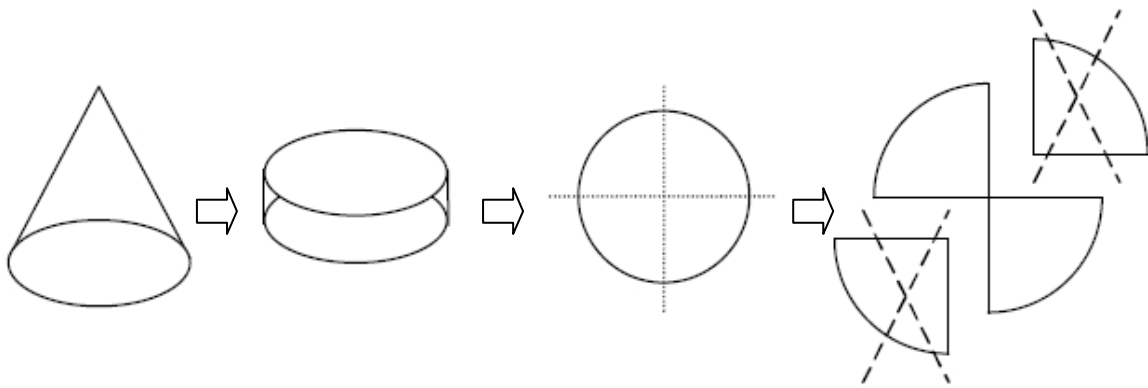
Metodické postupy odběru a přípravy vzorků půd a sedimentů určují následující normy:

- ČSN ISO 10381-1: Kvalita půdy - Odběr vzorků - Pokyny pro návrh programů odběru vzorků [25];
- ČSN ISO 5667-12: Jakost vod – Odběr vzorků – Pokyny pro odběr vzorků dnových sedimentů [26];
- ČSN ISO 11464: Kvalita půdy – Příprava vzorků pro fyzikálně-chemické rozborů [27].

#### Odběr vzorků půd

Půda je heterogenní a v důsledku omezené migrace je zněčištění v půdě lokální, ojedinele plošnou záležitostí – na rozdíl od vod a ovzduší, kde kontaminace bývá homogenní. Proto ve vodách a v ovzduší postačuje odebrat malý počet vzorků ze sledované lokality, zatímco u půd závisí zjištěná kontaminace na přesném místě odběru. Proto je u půd nutné odebírat velký počet vzorků s přesným zakreslením místa a hloubky odběru.

Vzorky odebíráme speciálním rýčem, vrtákem, vzorkovačem, obvykle do hloubky asi 20 cm, u ve vodě dobře rozpustných kontaminantů i hlouběji. Terénní vzorek odebíráme poměrně velký, hned na místě jej dobře promísíme a kvartujeme. Kvartace je zmenšování velkého množství terénního vzorku pro získání požadovaného množství laboratorního vzorku. Postupujeme tak, že půdu upravíme do tvaru kužele a následně protlačením ze špice dostaneme tvar „koláče“, ten se rozdělí na čtyři díly, protilehlé čtvrtiny se odstraní a zbylé promíchají (viz obrázek 5). Je-li množství stále veliké, kvartaci opakujeme [4, 25, 28].



Obrázek 5: Postup metody kvartace [28]

### Odběr sedimentů

V mělkých vodách lze sedimenty odebírat pomocí polyethylenové prachovnice upevněné na tyči, ve větších hloubkách se používají odběráky upevněné na laně. Zpravidla se odebírá vrchní vrstva do hloubky 10 cm a takové sedimenty, kde je vyšší podíl jemných frakcí [26].

### Příprava vzorků k analýze

V laboratoři vzorky zbavíme hrubých nečistot (kameny, dřevo, rostliny), usušíme (na vzduchu při laboratorní teplotě). Pro získání jemné frakce zhomogenizujeme (rozmělníme) a přesejeme (síto o velikosti ok > 2 mm). Tento vzorek rozdělíme na několik analytických vzorků (pro stanovení půdní sušiny, stanovení pH a přípravu extraktů) [4].

#### 2.6.2 Stanovení sušiny odebraných vzorků gravimetrickou metodou

Postup pro stanovení sušiny odebraných vzorků gravimetrickou metodou uvádí mezinárodní norma ČSN ISO 11465: Kvalita půdy - Stanovení hmotnostního podílu sušiny a hmotnostní vlhkosti půdy - Gravimetrická metoda [29].

Cílem je vysušení vzorků půd (příp. sedimentů) do konstantní hmotnosti, tedy odstranění nekystalické půdní vody z daného vzorku, a to bez strukturních změn v hmotě, kterou tento vzorek obsahuje. Vzorek je vysušen do konstantní hmotnosti do té doby, pokud již nedochází k úbytku hmotnosti. Vysušení do konstantní hmotnosti je dosaženo přibližně po čtyřhodinovém vystavení půdního vzorku teplotě 105 °C. Po čtyřech hodinách je úbytek (nekystalické) půdní vody většinou takový, že ani delším setrváním ve vyhřáté sušárně se na hmotnosti vzorku již nic nemění. Z exaktního hlediska to znamená, že při použití analytických vah s přesností  $\pm 0,001$  g nejsme u vzorku vyjmutého ze sušárny schopni zjistit žádné další snižování hmotnosti.

Před vložením do sušárny se vzorek zváží. Vysušení vzorků se provádí v elektrické horkovzdušné sušárně, a to většinou pomocí uzavíratelných vysoušeček. Vysoušečka

se vzorkem se po vyjmutí ze sušárny uzavře víčkem, k vychladnutí se vloží do exsikátoru naplněného buď vysušeným silikagelem či granulovaným chloridem vápenatým. Po vychladnutí se vzorek v zavíčkované vysoušečce opět váží.

### **2.6.3 Stanovení pH odebraných vzorků**

Metodu stanovení pH u odebraných vzorků standardizuje norma ČSN ISO 10390: Kvalita půdy - Stanovení pH a uvádí následný postup stanovení v roztoku chloridu vápenatého o koncentraci  $0,01 \text{ mol}\cdot\text{l}^{-1}$ . Do polyethylenové nádoby (250 ml) se naváží 10 g vzorku, přidá se 50 ml 0,01M roztoku chloridu vápenatého, vzniklá suspenze se nechá třepat po dobu 60 minut. Po ukončení třepání se suspenze po dobu 60 minut nechá ustálit v klidu. Vlastní stanovení pH se provádí pomocí skleněné elektrody, která se vloží do opět protřepané suspenze. Hodnota pH se odečítá po ustálení [30].

### **2.6.4 Extrakce sledovaných prvků kyselinou dusičnou**

Extrakce vzorku zředěnou kyselinou dusičnou za studena podle Vyhlášky MŽP č.13/1994 Sb. se provádí následovně. Do polyethylenové nádoby (250 ml) se naváží 5 g vzorku, přidá se 50 ml 2M  $\text{HNO}_3$  (navážka vzorku 5 g se použije v případě, že je vzorek dostatečně homogenní, v opačném případě je nutno vzít navážku vzorku 10 g a k extrakci 100 ml 2M  $\text{HNO}_3$ ). Následuje třepání při laboratorní teplotě trvající přibližně 16 hodin. Suspenze po ustálení se filtruje přes filtrační papír do čisté polyethylenové lahvičky. Současně se vzorkem se provádí slepý pokus (blank) [23].

### **2.6.5 Využití atomové absorpční spektrometrie ke stanovení rizikových prvků**

Atomová absorpční spektrofotometrie (AAS) je technika využívající jako analytickou vlastnost absorpci záření volnými atomy sledovaného elementu. Tato metoda je využívána v širokém spektru odvětví, neboť umožňuje jednoduše, levně a rychle určit množství vybraného prvku ve vzorku [31, 32].

#### **Princip metody**

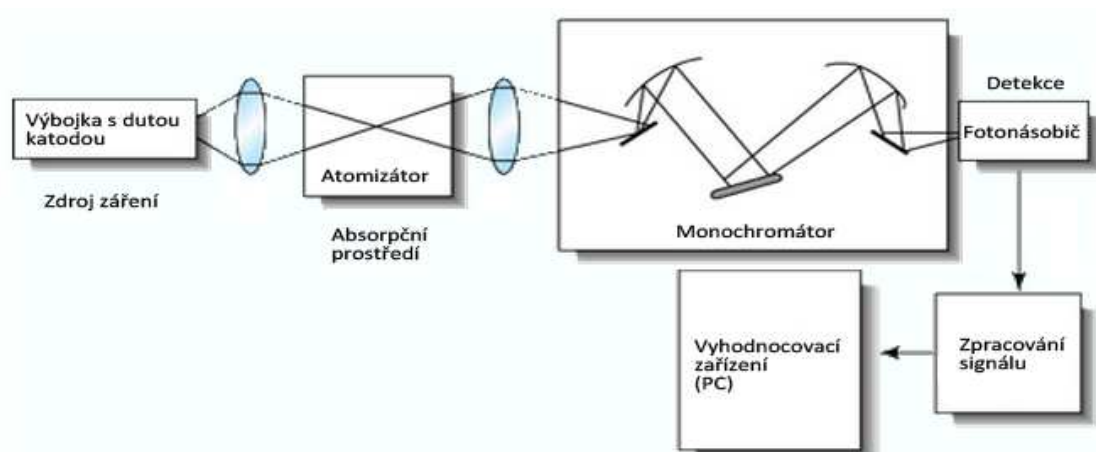
Atomy prvků absorbují v plynném stavu na základní hladině energie modulované monochromatické záření, zpravidla rezonanční čáry téhož prvku v UV a VIS oblasti spektra, které emituje monochromatický zdroj. Předpokladem je vznik atomů v plynné fázi v různých rezervoárech atomů. Přesný způsob takovéto atomizace je dán konkrétní instrumentací, typem AAS – plamenová, elektrotermická. Při interakci s fotonem přechází atom do vzbuzeného (excitovaného) stavu, ve kterém setrvá cca  $10^{-8}$  s. Pro AAS jsou používány rezonanční čáry atomu s nejvyšší pravděpodobností takového přechodu. Neabsorbované

záření prochází mřížkovým monochromátorem a dopadá na fotonásobič (detektor). Výsledný rozdíl emitovaného a neabsorbovaného záření udává absorpci záření, které je úměrné koncentraci atomů prvku v plynné fázi [31, 32, 33, 34].

### Instrumentace v atomové absorpční spektrometrii

Základními konstrukční prvky každého atomového absorpčního spektrometru tak, jak jsou za sebou zařazeny v optické ose, jsou [32, 33, 35, 36]:

- zdroj záření – nízkotlaká, neonem nebo argonem plněná výbojka s dutou katodou, která emituje čárové spektrum prvku, ze kterého je vyrobena;
- absorpční prostředí s volnými atomy – tzv. atomizátor – systém, který je schopen dostatečně účinně převést stanovené prvky z roztoku vzorku do plynného atomárního stavu, atomizaci je možné provádět v plameni nebo elektrotermicky;
- monochromátor – slouží k izolaci rezonanční čáry primárního záření;
- detektor (fotonásobič) – mění proud fotonů na proud elektronů (elektrický proud);
- počítačové zpracování signálu.

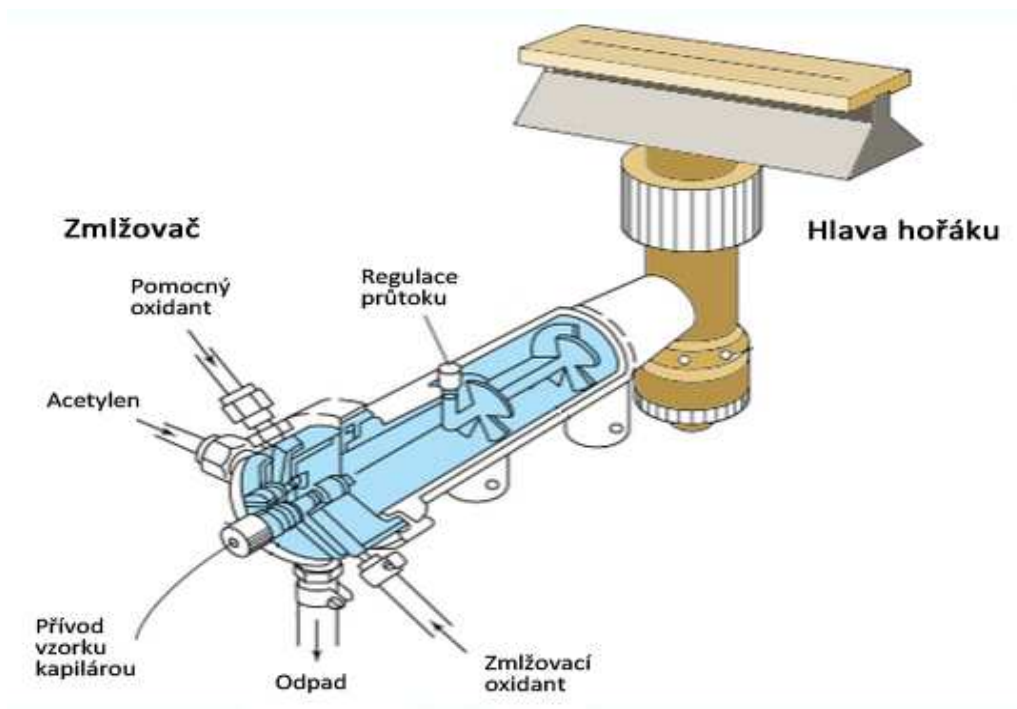


Obrázek 6: Blokové schéma AAS [37]

### Atomizace vzorku v plameni

Absorpční prostředí, kde vznikají volné atomy analytu, musí mít teplotu alespoň 2000 až 3000 K. Nejjednodušeji realizovatelným prostředím k atomizaci je laminární předmíchaný plamen, který se získává hořením předmíchané směsi acetyleny se vzduchem, popř. oxidem dusným ve speciálním hořáku. Jeho ústí má tvar úzké štěrby, pro plamen acetylen – vzduch dlouhé 10 cm a pro plamen acetylen – oxid dusný s vyšší rychlostí hoření pouze 5 cm. Délkou štěrby je dána i maximálně dosažitelná tloušťka vrstvy absorpčního prostředí, kterým prochází záření z výbojky. Analyzovaný vzorek s určeným prvkem se přivádí do plamene ve formě aerosolu, tj. nepatrných kapiček analyzovaného roztoku. Zmlžování

roztoku se provádí pneumatickým zamlžovačem pomocí tlaku oxidujícího plynu, kterým je vzduch, popř. oxid dusný. Každý plamenový absorpční spektrometr musí být vybaven regulací a měřením průtoku paliva i oxidovadla. Složení a teplota plamene se mění s výškou. Pro každý prvek tedy existuje optimální zóna v plameni daná výškou nad ústím hořáku, kde je koncentrace volných atomů nejvyšší. Tuto výšku je třeba zjistit pokusně. Poloha hořáku je tedy nastavitelná ve vertikálním, ale i horizontálním směru [35, 36].



Obrázek 7: Plamenová atomizace – schéma [37]

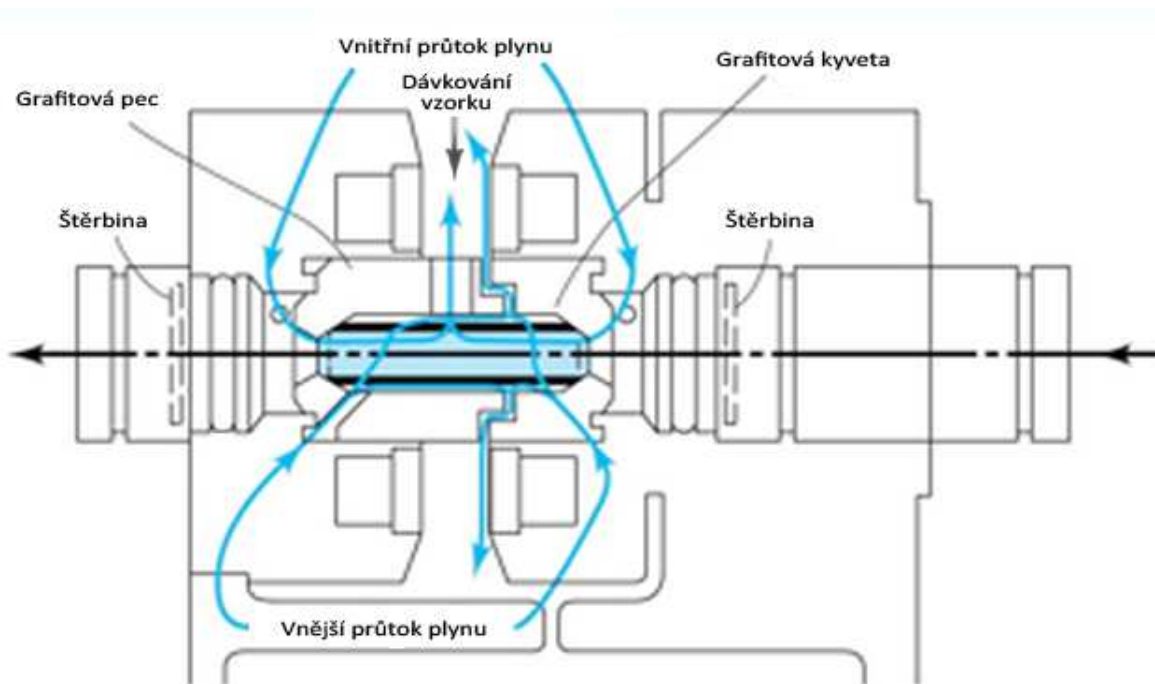
### Elektrotermická atomizace

Při elektrotermické atomizaci se dávkuje velmi malé množství vzorku (10-40  $\mu\text{l}$ ) do speciální miniaturní odporově vyhřívané kyvety. Hlavní výhodou bezplamenných atomizátorů je fakt, že se celé nadávkované množství vzorku podílí na absorpci primárního záření. Dosáhneme tedy mnohem vyšší okamžitou koncentraci volných atomů v plynné fázi ve velmi malém objemu atomizátoru.

K atomizaci nadávkovaného vzorku dochází postupným ohřevem grafitové kyvety průchodem elektrického proudu (kyveta se chová jako elektrický odpor). Kyveta je umístěna ve speciální hlavici elektrotermického atomizátoru, která ji udržuje v optické dráze atomového absorpčního spektrometru. Elektrotermický ohřev kyvety probíhá v atmosféře velmi čistého argonu, aby se zabránilo přístupu kyslíku ze vzduchu k rozžhavenému grafitu a volným atomům analytu [33, 36].

Vzorek je do kyvety dávkován buď pomocí mikrodávkovací, nebo dnes již standardně programovatelným dávkovačem, který je příslušenstvím elektrotermického atomizátoru. Po nadávkování vzorku je teplota kyvety zvyšována v několika krocích, podle teplotního programu. Teplotní program pro stanovení daného prvku v dané matici vzorku je individuální a musí být vždy pro daný přístroj optimalizován [33, 34, 35, 36]:

- fáze sušení – vysušení vzorku, teploty 5 až 10 °C nad bodem varu rozpouštědla;
- fáze termické úpravy (pyrolýza) – cílem je přeměna matrice vzorku, resp. její odstranění bez ztráty analytu;
- fáze atomizace – cílem je vytvoření oblaku plynných atomů sledovaného analytu v základním energetickém stavu a následná absorpce záření těmito atomy;
- fáze čištění – krátkodobé zahřátí kyvety nad teplotu atomizace, která zajistí odpaření zbytků vzorku z kyvety;
- fáze chlazení – návrat teploty na počáteční hodnotu teplotního programu.



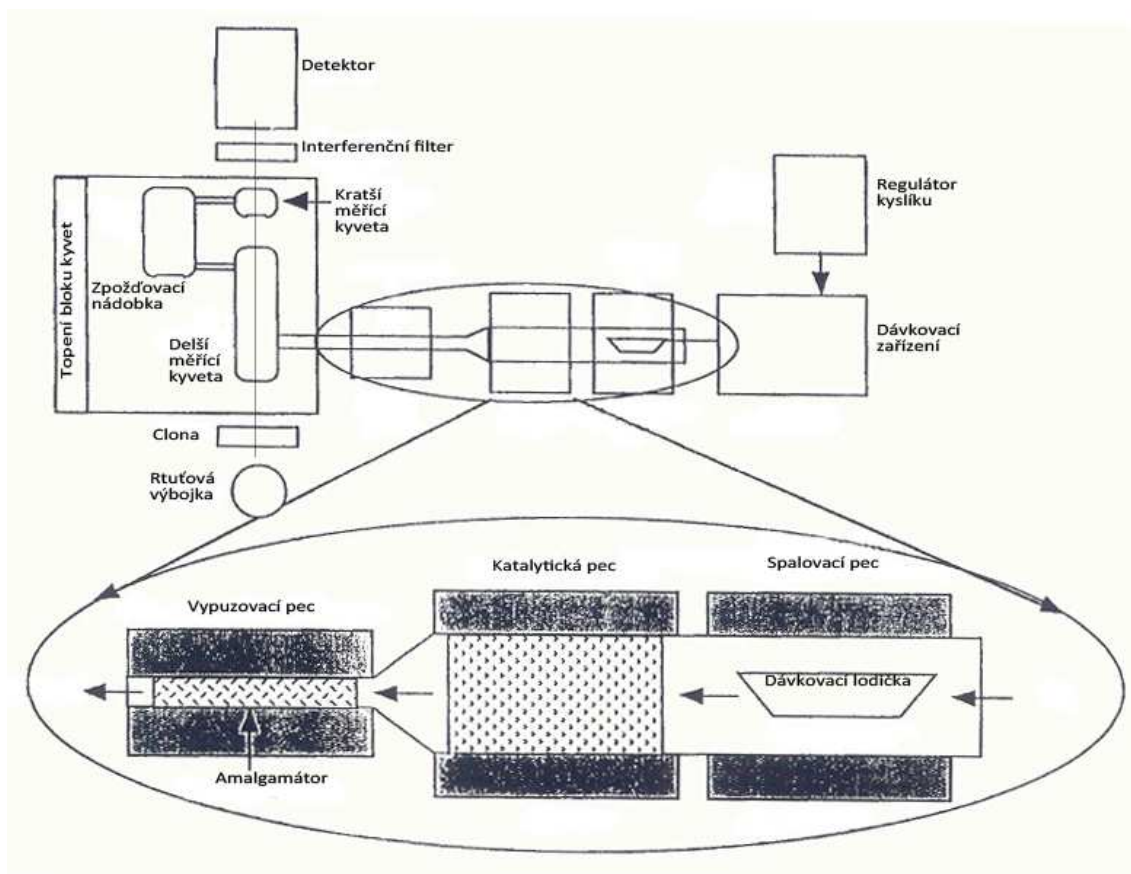
Obrázek 8: Elektrotermická atomizace – schéma [37]

### Analyzátor rtuti (AMA 254)

AMA 254 je jednoúčelový atomový absorpční spektrometr pro stanovení rtuti. Je určen pro přímé stanovení obsahu rtuti v pevných a kapalných vzorcích bez potřeby chemické předúpravy vzorku. Využitím techniky generování par kovové rtuti s následným zachycením a obohacením na zlatém amalgamátoru se dosahuje mimořádně vysoké citlivosti stanovení a nezávislosti výsledku stanovení na matici vzorku [39].



Vzorek o známé navážce či objemu je umístěn na spalovací lodičku a zaveden do spalovací trubice. Řízeným ohřevem spalovací pece je vzorek vysušen a poté spálen (v případě nehořlavého vzorku je rtuť ohřevem uvolněna). Rozkladné produkty procházejí přes katalyzátor, kde je dokončena jejich oxidace a jsou zachyceny látky kyselé povahy (halogeny, oxidy síry atd.). Rozkladné produkty jsou dále vedeny přes amalgamátor, kde je selektivně zachycena rtuť. Protože rozkladné produkty obvykle obsahují vodní páru, je celá plynová cesta až po výstup z bloku měřících kyvet vyhřívána na 120°C, aby se zabránilo kondenzaci vody. Po dokončení rozkladu vzorku a stabilizaci teploty je změřeno zachycené množství rtuti. Rtuť je z amalgamátoru uvolněna krátkodobým ohřevem. Oblak rtuťových par je nosným plynem unášen přes delší měřící kyvetu. Pak se veškerá rtuť shromáždí ve zpoždovací nádobce a z ní vstupuje do kratší měřící kyvety. Zde je měřena absorbance záření atomy rtuti na vlnové délce 253,65 nm a vyhodnocena metodou externí kalibrace. Jako zdroj záření slouží nízkotlaká rtuťová výbojka, záření prochází interferenčním filtrem a detekováno pomocí polovodičové UV diody [39].



Obrázek 9: Konstrukční schéma AMA 254 [40]

Analyzátor pracuje ve dvou rozsazích, mezi kterými software přístroje volí automaticky tak, aby nebyla překročena hodnota absorbance 0,8. První rozsah odpovídá zhruba 0 až 30 ng Hg, ve druhém lze analyzovat až do 500 ng Hg [39].

## 2.7 Metody charakterizace znečištění půdy těžkými kovy

Všechny těžké kovy – rizikové prvky se vyznačují vysokou toxicitou. Pro své odlišné vlastnosti a zastoupení ale mají různý vliv na životní prostředí. Abychom mohli lépe jejich výskyt porovnávat, musíme tyto odlišnosti eliminovat, a tím získat sjednocenou informaci o míře znečištění jednotlivých lokalit. V případě, že známe koncentrace vybraných analytů získaných ze vzorků a známe také dané limitní hodnoty pro jejich výskyt, můžeme k posouzení úrovně kontaminace vzorkovaných lokalit použít index znečištění, příp. integrovaný index znečištění [41, 42].

### 2.7.1 Index znečištění

Index znečištění (PI - Pollution Index), charakterizující míru znečištění lokality (konkrétního vzorku) sledovaným prvkem, se vypočítá se vydělením naměřené koncentrace prvku ze vzorku únosnou mírou (limitní hodnotou koncentrace) prvku pro lokalitu, kde byl vzorek odebrán. Vyjádření vzorcem je následující [41, 42]:

$$PI = \frac{c_M}{c_L}, \quad (1)$$

kde  $c_M$  je naměřená koncentrace sledovaného prvku ve vzorku a  $c_L$  je limitní koncentrace pro sledovaný prvek a lokalitu odběru vzorku dle platné legislativy.

### 2.7.2 Integrovaný index znečištění

Integrovaný index znečištění (IPI - Integrated Pollution Index), většinou sjednocující do sebe více lokalit (odebraných vzorků), charakterizuje míru znečištění území jako celku, ve kterém byly vzorky odebrány. Může i sjednocovat výsledky pro různé analyty a charakterizovat tak celkové znečištění třeba jen jednoho vzorku. Integrovaný index znečištění je definován podle vzorce [41, 42]:

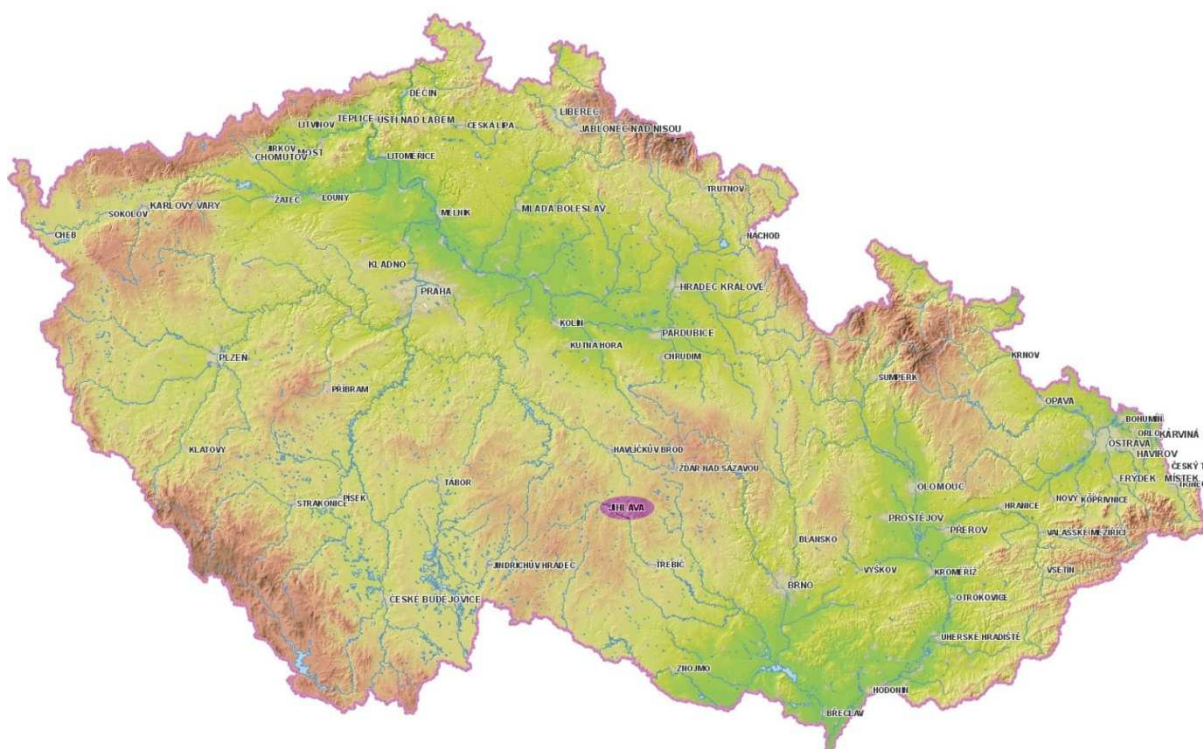
$$IPI = \sum \frac{1}{n} \left( \frac{c_{M_1}}{c_{L_1}} + \frac{c_{M_2}}{c_{L_2}} + \dots + \frac{c_{M_n}}{c_{L_n}} \right). \quad (2)$$

Klasifikační stupnice znečištění podle integrovaného indexu znečištění je následující [42]:

- IPI ≤ 1 ... nízká úroveň znečištění,
- 1 < IPI ≤ 2 ... mírný stupeň znečištění,
- 2 < IPI ≤ 5 ... vysoká úroveň znečištění,
- IPI > 5 ... extrémně vysoká úroveň znečištění.

## 2.8 Studovaná lokalita - Jihlava a její okolí

Podobně jako Česká republika je „srdcem Evropy“, můžeme říci, že Jihlava leží „v srdci“ České republiky. Toto přirovnání není náhodné, protože Jihlava odnepaměti střežila hranici mezi historickými zeměmi Čechy a Moravou. Geografická poloha Jihlavy je vymezena souřadnicemi 49° 23' 47" severní šířky a 15° 35' 25" východní délky, přičemž průměrná nadmořská výška je 525 m. Jihlava nemá výhodnou polohu jen v rámci republiky, ale i v rámci kraje Vysočina, kde zaujímá centrální polohu vůči zbývajícím okresním městům Havlíčkův Brod, Pelhřimov, Třebíč a Žďár nad Sázavou a zároveň funguje jako správní středisko kraje Vysočina. Jihlava je přirozeným centrem oblasti, kde dominuje se svými 51 tisíci obyvateli (51 222 obyvateli k 31. 12. 2009 podle ČSÚ ze dne 15. 6. 2010) [43, 44].



Obrázek 10: Jihlava na mapě ČR [45]

Rozloha okresu Jihlava je 1 199 km<sup>2</sup>, což z něj dělá nejmenší okres v rámci kraje Vysočina. V roce 2009 na tomto území žilo 112 501 obyvatel. Hustota zalidnění byla 93,8 obyvatel/km<sup>2</sup> (zdroj ČSÚ ze dne 15. 6. 2010). V okrese je 123 obcí, z toho 5 měst. Kraj Vysočina je 5. největším krajem podle rozlohy, která činí 6 795 km<sup>2</sup>. Počet obyvatel podle ČSÚ dosahuje hodnoty 514 771 (k 31. 3. 2010) a hustota zalidnění je 75,8 obyvatel/km<sup>2</sup>. Podíl městského obyvatelstva v kraji se blíží k 60 procentům, konkrétně 57,8 %, je třetí nejnižší v České republice [43, 44].

### 2.8.1 Meteorologická situace

Jihlava se nachází v mírně teplé podnebné oblasti. Průměrná roční teplota v centru Jihlavy se pohybuje mezi 7 až 8 °C, na okrajích mezi 6 a 7°C. V létě je průměrná teplota vzduchu 13 až 14°C, v zimě okolo -3 až -1°C. Průměrná roční maxima teploty vzduchu dosahují 32 až 33°C a naopak průměrná roční minima kolem -21°C. Další informace o klimatu jsou zpracovány tabulce 6 [43, 46].

*Tabulka 6: Vybrané klimatické charakteristiky města Jihlavy [46]*

Průměrný roční počet letních dní	20 až 30
Průměrný roční počet dní bez mrazu	220 až 240
Průměrný roční počet mrazových dní	120 až 140
Průměrný roční úhrn srážek	600 až 700
Průměrný sezónní úhrn srážek (léto) v mm	200 až 250
Průměrný sezónní úhrn srážek (zima) v mm	100 až 125
Dny se sněžením	60 až 80
Dny se sněhovou pokrývkou	80 až 120
Průměrná roční relativní vlhkost vzduchu v %	75 až 80

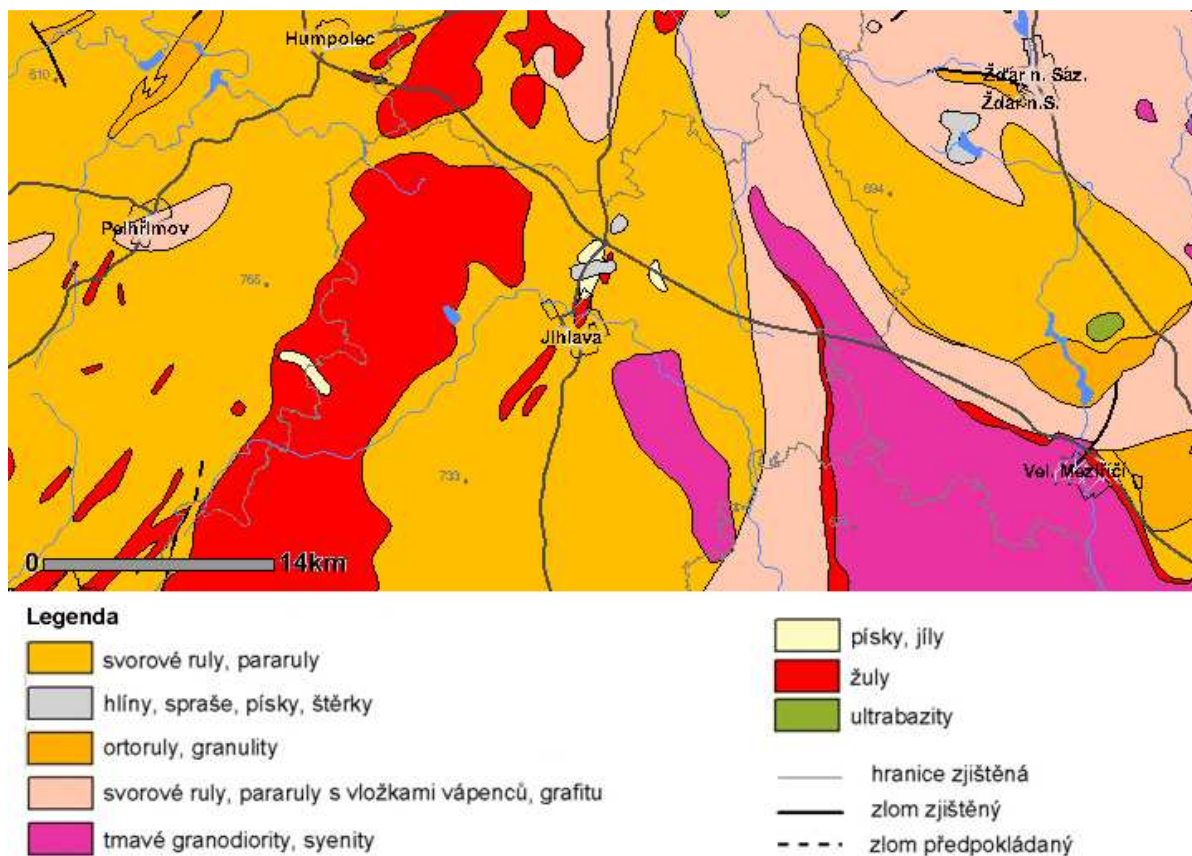
### 2.8.2 Hydrologická charakteristika a řeka Jihlava

Na území města Jihlavy se nachází tyto vodní toky: řeky Jihlava a Jihlávka, Smrčenský, Dražní, Zlatý, Ustavský, Koželužský, Pístovský potok a další bezejmenné potoky.

Osou sledovaného území je řeka Jihlava, která odvádí své vody do povodí Moravy a úmoří Černého moře. Řeka Jihlava pramení na jižních svazích Lísku u Jihlávky ve výšce 670 m.n.m., plocha povodí je 3 117 km<sup>2</sup>, ústí do střední nádrže Nové Mlýny u Iváně v 170 m.n.m., délka toku 184,6 km, průměrný průtok u ústí 11,75 m<sup>3</sup>/s, přičemž průměrný průtok v Jihlavě je 1,98 m<sup>3</sup>/s. Řeka Jihlava protéká městem Jihlava západovýchodním směrem. Jejím, zejména pro město Jihlava, významným pravostranným přítokem je řeka Jihlávka, která pramení u obce Stajiště ve výšce 665 m.n.m. Plocha povodí Jihlávky je 106,5 km<sup>2</sup>, délka toku 21,9 km a průměrný průtok u ústí 0,62 m<sup>3</sup>/s [43].

### 2.8.3 Charakteristika půd

Typické půdy pro Jihlavu a její okolí, resp. pro celou Českomoravskou vrchovinu, jsou půdy podzolové, což jsou půdy bělavé až šedavé, sypké až moučné s viditelnými zrny. Bližší pohled na původ a složení takovýchto půd v Jihlavě a okolí lze získat z geologické mapy (obrázek 11) a následujícího textu [43].



Obrázek 11: Geologická mapa Jihlavy a okolí [47]

Z geologického hlediska je oblast tvořena přeměněnými horninami (rulami a migmatity) a vyvřelými horninami (žulami), v nichž nacházíme ložiska stříbra a barevných kovů. Většina ložisek vznikla na konci prvohor. Většina území Jihlavy je vyplněna cordierit-biotitickým migmatitem, dále se zde objevují prvky drobnozrnné žuly. Místy najdeme v oblasti vystoupení anatektického migmatitu.

Území západně od centra Jihlavy vyplňuje rozsáhlý granolit a polohami granitové ruly. Území na východ od centra Jihlavy zaplňuje biotitická a silimanit-biotitická pararula, která je místy migmatizovaná. Severní oblast je typická převážně písčitojílovitými sedimenty.

Geologický vývoj oblasti byl dokončen dozvuky alpínského vrásnění na konci třetihor a ve čtvrtohorách. Díky pohybům podél zlomů došlo k vytvoření současné říční sítě. Podél řek Jihlavy, Jihlávky a místních potoků se nacházejí fluviální, převážně písčitohlinité sedimenty a sedimenty umělých vodních nádrží. V některých místech u vodních toků se objevují deluviální, hlinitopísčité až hlinitokamennité sedimenty [43].

## **2.9 Charakterizace znečištění rizikovými prvky studované lokality**

Znečištění rizikovými prvky v Jihlavě a jejím okolí je charakterizováno především emisemi tuhých znečišťujících látek v oblasti znečištění ovzduší a přenosy těžkých kovů v odpadech.

### **2.9.1 Znečištění ovzduší**

Podle zákona č. 309/91 Sb., ve znění zákona č. 211/94 Sb., o ochraně ovzduší před znečišťujícími látkami se zdroje znečišťování ovzduší člení na zdroje stacionární a mobilní. Zdroje stacionární jsou dále členěny podle tepelného výkonu, míry vlivu technologického procesu na znečišťování ovzduší nebo rozsahu znečišťování. Zdroje emitující do ovzduší znečišťující látky jsou celostátně sledovány v rámci tzv. Registru emisí a zdrojů znečišťování ovzduší (REZZO). Stacionární zdroje jsou zahrnuty v dílčích souborech REZZO 1 až 3, mobilní zdroje jsou začleněny v REZZO 4. V bilancích jsou zahrnovány emise u těchto látek: tuhé znečišťující látky, oxid siřičitý, oxidy dusíku, oxid uhelnatý a uhlovodíky [48, 49, 50].

#### **Rozdělení zdrojů znečišťování ovzduší**

REZZO 1 – velké stacionární zdroje znečišťování: stacionární zařízení ke spalování paliv o tepelném výkonu vyšším než 5 MW a zařízení zvláště závažných technologických procesů. Jedná se hlavně o velké elektrárny, spalovny a další bodové zdroje.

REZZO 2 – střední stacionární zdroje znečišťování: stacionární zařízení ke spalování paliv o tepelném výkonu od 0,2 do 5 MW, zařízení závažných technologických procesů, uhelné lomy a plochy s možností hoření, zapaření nebo úletu znečišťujících látek.

REZZO 3 – malé stacionární zdroje znečišťování: stacionární zařízení ke spalování paliv o tepelném výkonu, nižším než 0,2 MW zařízení technologických procesů, nespádajících do kategorie velkých a středních zdrojů, plochy, na kterých jsou prováděny práce, které mohou způsobovat znečišťování ovzduší, skládky paliv, surovin, produktů a odpadů a zachycených exhalátů a jiné stavby, zařízení a činnosti, výrazně znečišťující ovzduší.

REZZO 4 - mobilní zdroje znečišťování: pohyblivá zařízení se spalovacími nebo jinými motory, zejména silniční motorová vozidla, železniční kolejová vozidla, plavidla a letadla [49].

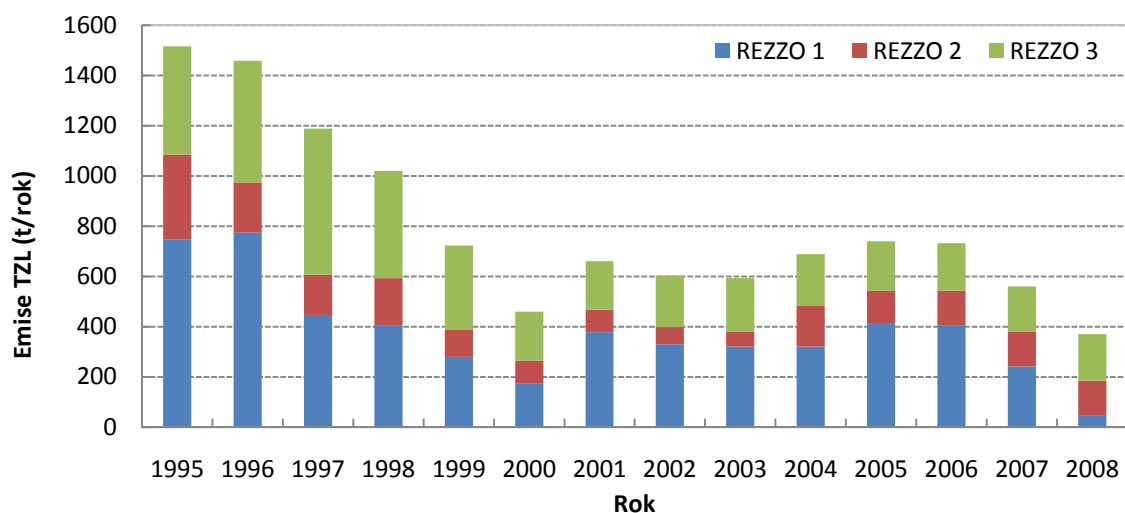
#### **Tuhé znečišťující látky**

Pro charakterizaci znečištění ovzduší těžkými kovy Jihlavy a jejího okolí jsou důležité tuhé znečišťující látky (TZL). Jsou to v podstatě částice různé velikosti, které setrvávají v atmosféře a jsou schopny dálkového transportu. Se zmenšující se velikostí částic vzrůstá jejich schopnost vázat na sebe jiné látky (ať již sorbcí nebo kondenzací). Na tuhé částice v atmosféře jsou tímto způsobem vázány právě těžké kovy, přičemž rozdíly v obsahu jednotlivých kovů jsou dány původem částic [51, 52].

## Stacionární zdroje znečištění TZL

Vývoj emisí TZL v okrese Jihlava je znázorněn v grafu 1 vyplývající z tabulky v příloze č. 1, přičemž největšími zdroji podílející se na znečištění emisemi TZL v rámci REZZO 1 jsou KRONOSPAN ČR s emisemi 214,80 t/rok a KRONOSPAN OSB s emisemi 14,34 t/rok. V rámci REZZO 2 pak COLAS CZ, a.s. Mirošov s emisemi 39,70 t/rok, COLAS CZ, a.s. Rančívov s emisemi 38,52 t/rok a Českomoravský štěrk, a.s. Bílý Kámen s emisemi 33,20 t/rok [45].

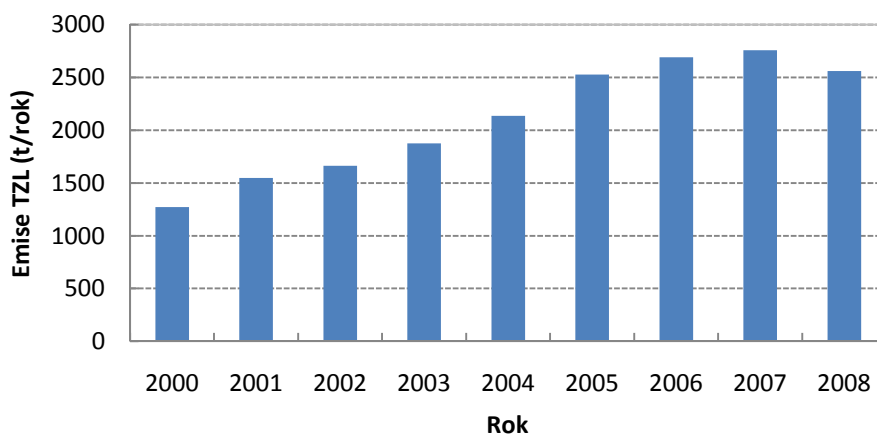
Graf 1: Vývoj emisí TZL stacionárních zdrojů v okrese Jihlava [49]

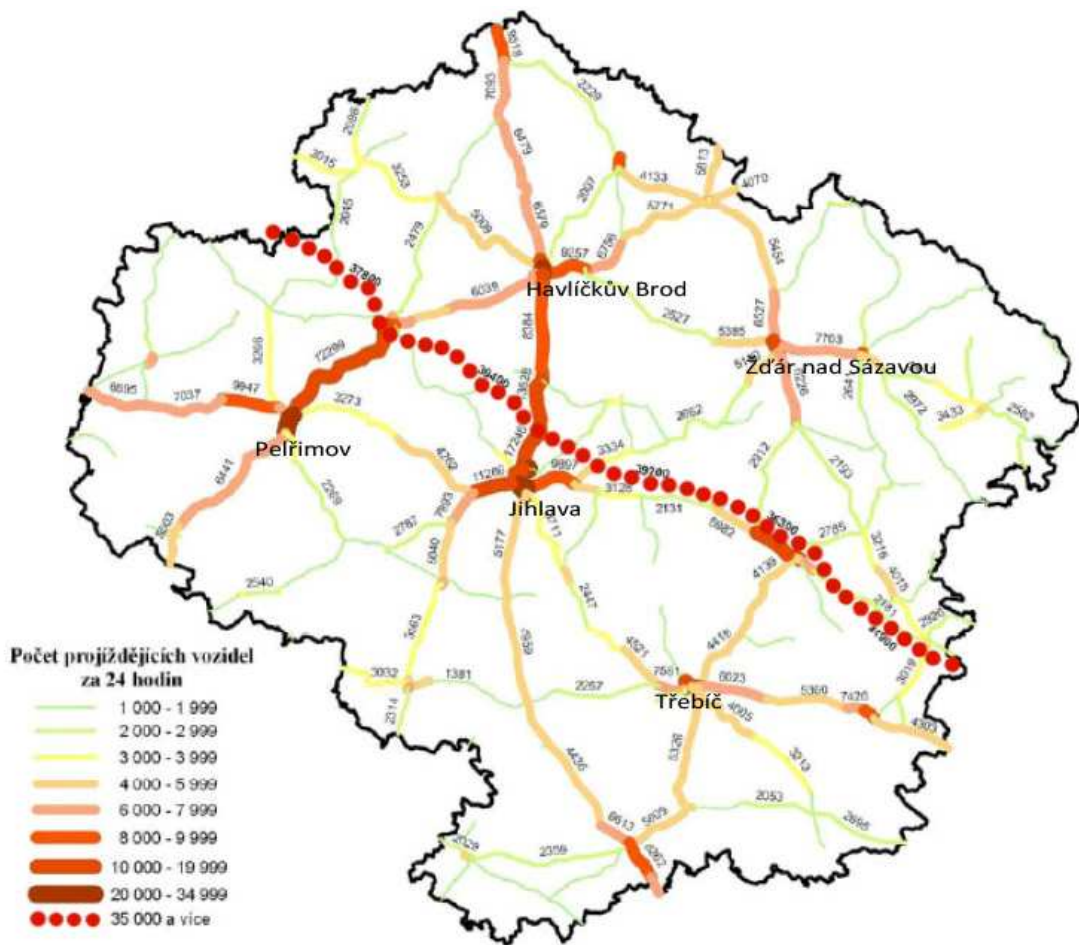


## Mobilní zdroje znečištění TZL

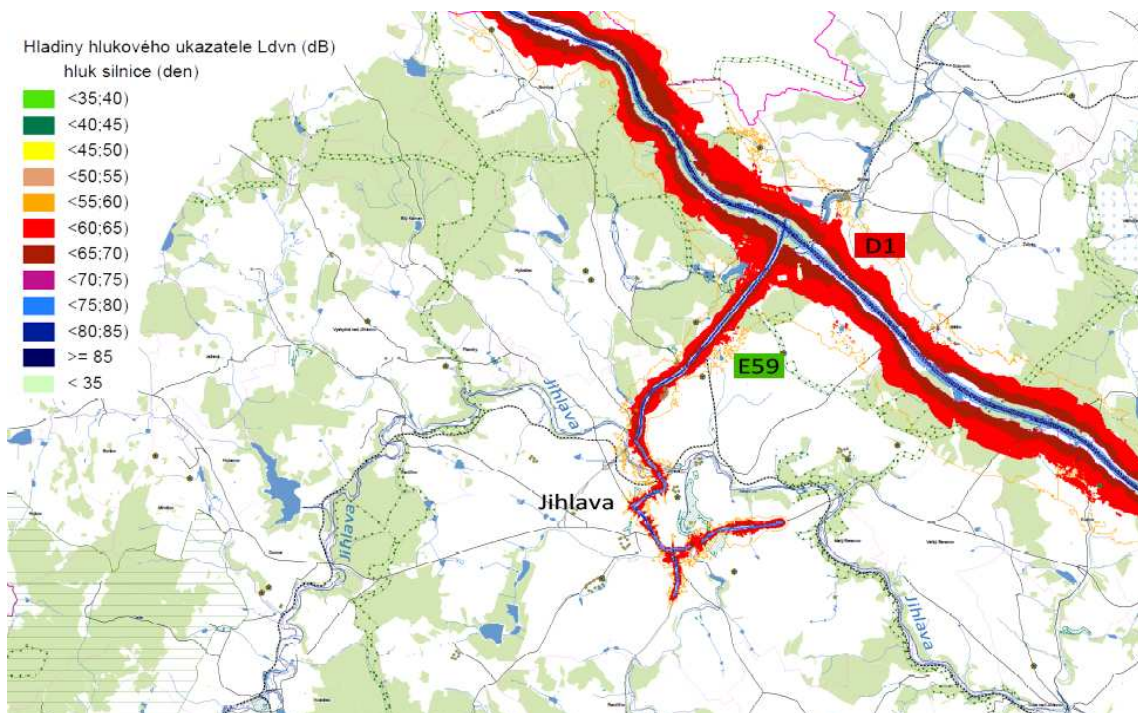
Znečištění Jihlavy a jejího okolí tuhými znečišťujícími látkami z mobilních zdrojů velmi výrazně ovlivňuje tranzitní doprava, protože okres Jihlava protíná dálnice D1. Vývoj emisí TZL v kraji Vysočina je znázorněn v grafu 2 vyplývající z tabulky v příloze č. 2. Rozložení zatížení dopravou v kraji Vysočina vystihuje obrázek 12 a v okolí Jihlavy obrázek 13 [50].

Graf 2: Vývoj emisí TZL mobilních zdrojů v kraji Vysočina [49]





Obrázek 12: Intenzita silniční dopravy v kraji Vysočina (ŘSD, sčítání dopravy v r. 2005) [45]



Obrázek 13: Hlukové ukazatele intenzity dopravy v Jihlavě a jejím okolí [45]



## Koncentrace těžkých kovů v ovzduší a srážkách

O znečištění ovzduší těžkými kovy v Jihlavě a jejím okolí nám vypovídá také koncentrace těžký kovů v prašném aerosolu, v atmosférických srážkách s prašným spadem a v mokré depozici jak je uvedeno v následujících tabulkách 7, 8 a 9.

Tabulka 7: Průměrné měsíční koncentrace TK v prašném aerosolu (ČHMÚ) v ng/m<sup>3</sup> [50]

Rok	Prvek			
	Cd	Pb	Cu	Hg
1997	1,56	38,47	-	-
1998	1,52	34,71	-	-
1999	0,98	36,49	-	-
2000	0,95	25,89	36,10	-
2001	1,00	26,53	12,33	-
2002	1,03	21,20	3,53	-
2003	1,00	21,04	-	-
2004	1,01	13,26	2,31	-
2005	0,88	14,40	2,50	-
2006	0,88	15,98	2,32	-
2007	1,00	10,83	5,55	1,17
2008	0,80	7,72	2,03	1,57
2009	0,49	5,77	2,21	0,69

Tabulka 8: Měsíční koncentrace TK ve srážkách s prašným spadem (ČHMÚ) v µg/l [50]

Prvek	Rok												
	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Pb	12,35	7,86	4,81	3,53	4,55	1,45	2,28	3,00	3,92	1,96	2,78	1,16	1,89
Cd	0,38	0,28	0,28	0,22	0,12	0,11	0,14	0,07	0,09	0,12	0,12	0,10	0,07

Tabulka 9: Roční mokré depozice TK (ČHMÚ), měsíční hodnoty v mg/m<sup>2</sup> [50]

Prvek	Rok						
	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Pb	0,90	1,53	1,14	1,12	0,23	0,22	0,84
Cd	0,06	0,05	0,05	0,07	0,02	0,03	0,02

## 2.9.2 Přenosy těžkých kovů v tuhých odpadech

Kadmium, měď, olovo a rtuť i jejich sloučeniny jsou zařazeny do seznamu registrovaných látek v Integrovaném registru znečišťování (IRZ). Tento registr ale obsahuje pouze ty provozovny, které svým množstvím dané látky uvolněné do složek životního prostředí, popřípadě přenosem látky v odpadech, přesáhly ohlašovací práh, který je dán nařízením vlády č. 368/ 2003 Sb. ve znění pozdějších předpisů. V okrese Jihlava nebyl zaznamenán v rámci IRZ v letech 2007 až 2009 žádný únik sledovaných prvků do ovzduší, vody, půdy ani přenos v odpadních vodách. Přenosy sledovaných prvků v odpadech jsou zaznamenány v tabulce 10 [53].

Tabulka 10: Přenosy v odpadech na území Jihlavy a jejího okolí v letech 2007 až 2009 [53]

Provozovna	Rok	Přenosy v odpadech (kg/rok)			
		Cd	Cu	Hg	Pb
Bosch Diesel, s.r.o., závod I	2007	-	1411,0	-	-
	2008	-	1101,0	-	-
	2009	-	878,0	-	-
Bosch Diesel, s.r.o., závod II	2007	-	4976,0	-	-
	2008	-	4511,0	-	-
	2009	-	3151,0	-	-
Bosch Diesel, s.r.o., závod III	2007	-	21257	-	-
	2008	-	17176,0	-	-
	2009	-	12456,0	-	-
Družstvo Vysočina, provozna Janovice	2009	-	-	-	550
MikroChem LKT spol. s r.o.	2007	-	1306,9	-	-
Moravské kovárny, a.s.	2007	-	31834,0	-	-
	2008	-	26490	-	-
	2009	-	5581,0	-	-
MOTORPAL, a.s., Jihlava	2007	-	787,3	-	-
	2008	-	654,8	-	-
	2009	-	10592,4	-	502,2
Swoboda - Stamping, s.r.o.	2009	-	62165,0	-	-
Telčská strojírenská, a.s.	2009	-	981,5	-	56,1
VODÁRENSKÁ, a.s., ČOV Jihlava	2007	-	-	-	51,0
	2008	-	-	-	71,8
	2009	-	-	-	243,0

### 3 PRAKTICKÁ ČÁST

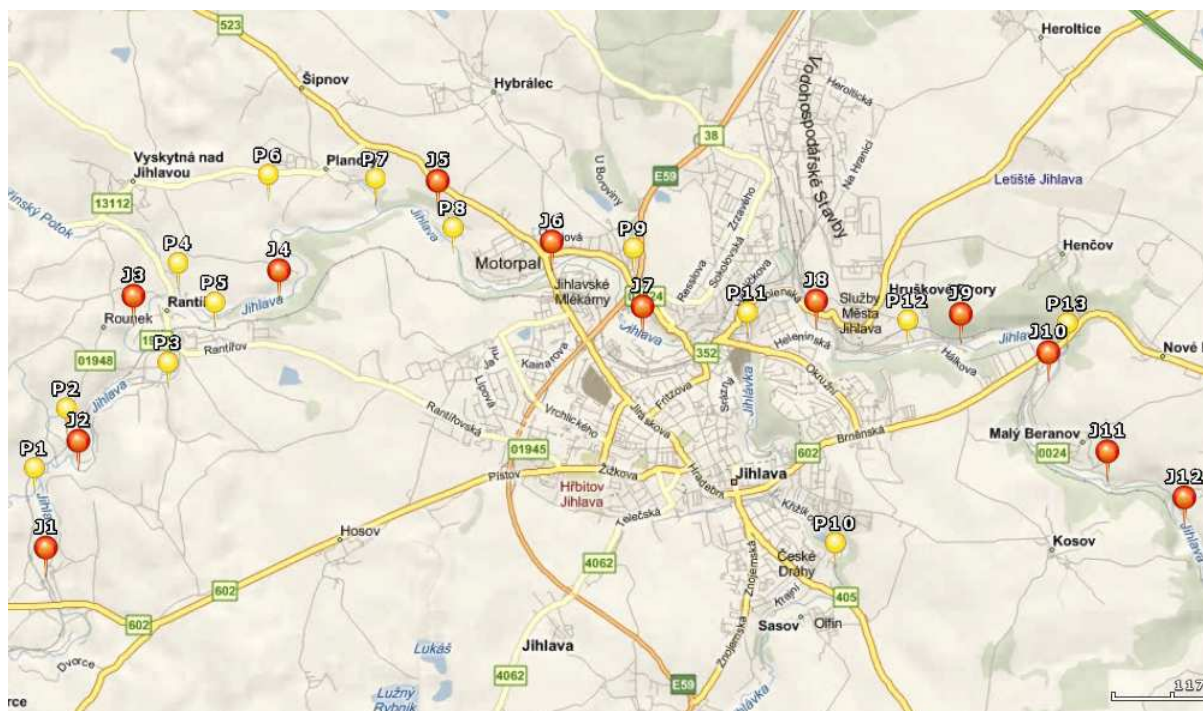
#### 3.1 Odběr vzorků

Cílem praktické části této práce bylo získat přehled o zatížení půd a sedimentů řeky Jihlavy těžkými kovy, a to konkrétně v oblasti, kde řeka Jihlava protéká územím v okolí města Jihlavy a městem samotným. Respektive z odebraných vzorků vyhodnotit vliv města Jihlavy na kontaminaci sedimentů řeky Jihlavy a půd v jejím okolí (břehů) vybranými rizikovými prvky – kadmíem, olovem, mědí a rtuťí.

##### 3.1.1 Odběrová lokalita

Zájmovým územím pro odběr vzorků byl úsek řeky Jihlavy začínající u obce Dvorce, přibližně 10 km před vstupem řeky do města Jihlavy, a končící u obce Bradlo, přibližně 6 km od vyústění řeky z města Jihlavy. Na tomto úseku bylo v rámci možností terénu a přístupu rovnoměrně vybráno 12 odběrových míst týkajících se bezprostředně řeky Jihlavy a jejich břehů. Byly označeny písmenem J a číslem 1 až 12.

Pro dokreslení zátěže půd a sedimentů těžkými kovy řeky Jihlavy, příp. pro vysvětlení nestandardních výsledků, bylo vybráno dalších 13 odběrových míst týkajících se ústí nejvýznamnějších přítoků do vybraného úseku řeky Jihlavy. Byly označeny písmenem P a číslem 1 až 13. Všechna vybraná odběrová místa v zájmovém území jsou vyznačena na mapě (obrázek 14).



Obrázek 14: Odběrová místa v zájmovém území

### 3.1.2 Lokalizace a popis míst odběru

Pro lepší orientaci odběrových míst byl úsek řeky Jihlavy rozdělen na dvě části s tím, že střed ( $J_S$ ) se nachází přibližně ve středu města Jihlavy. Od tohoto místa byla na každou stranu odečítána délka v km – proti směru toku řeky v záporných hodnotách a po proudu řeky v kladných hodnotách. Dále byl úsek řeky Jihlavy rozčleněn na tři zóny (především pro odběry na řece Jihlavě):

- zóna A charakterizující odběry před městem Jihlavou, resp. od kraje města proti proudu řeky (v určeném kilometrovém rozmezí -12,9 a -3,3 km od  $J_S$ ),
- zóna B charakterizující odběry v aglomeraci města Jihlavy (v určeném kilometrovém rozmezí -3,3 a 4,5 km od  $J_S$ ),
- zóna C charakterizující odběry za městem Jihlavou, resp. od druhého kraje města po proudu řeky (v určeném kilometrovém rozmezí 4,5 a 9,3 km od  $J_S$ ).

#### Odběrová místa vzorků pŮd a sedimentů na řece Jihlavě

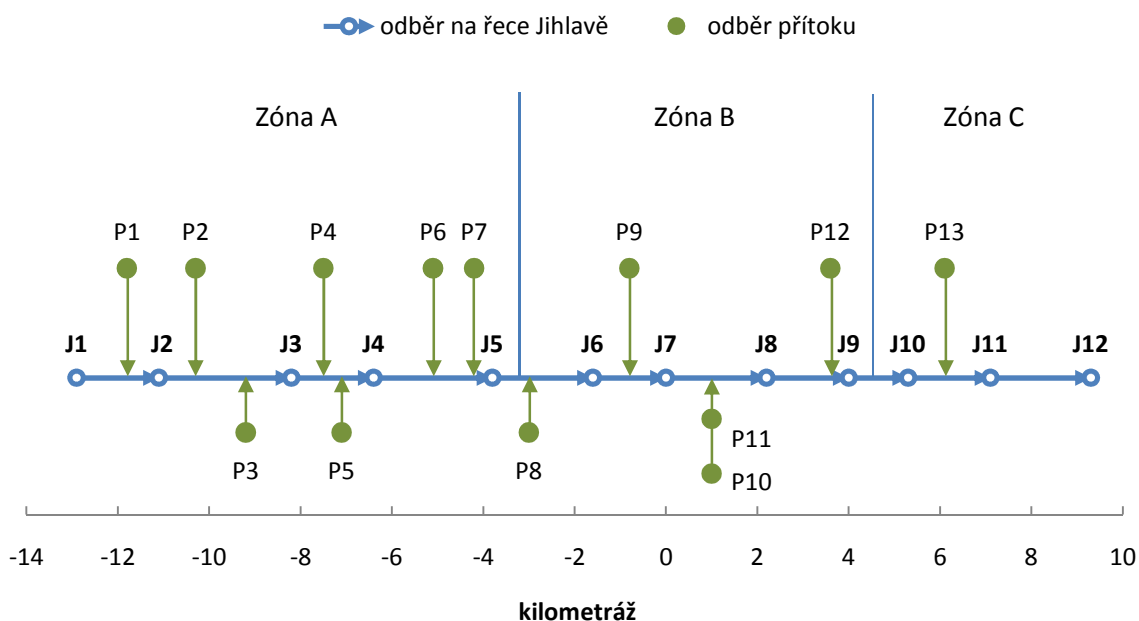
- Odběr J1 (zóna A, -12,9 km od  $J_S$ ) – nachází se nedaleko obce Dvorce
- Odběr J2 (zóna A, -11,1 km od  $J_S$ ) – nachází se v chatové oblasti Dvorce
- Odběr J3 (zóna A, -8,2 km od  $J_S$ ) – nachází se nedaleko obce Rantířov
- Odběr J4 (zóna A, -6,4 km od  $J_S$ ) – nachází se v chatové oblasti Rantířov
- Odběr J5 (zóna A, -3,8 km od  $J_S$ ) – nachází se nedaleko obce Plandry
- Odběr J6 (zóna B, -1,6 km od  $J_S$ ) – nachází se ve městě Jihlava v městské části Staré hory, poblíž průmyslové zóny Motorpal, a.s. a Bosch Diesel, s.r.o.
- Odběr J7 (zóna B, 0 km od  $J_S$ ) – nachází se v určeném středu města Jihlavy, poblíž vlakové nádraží Jihlava - město
- Odběr J8 (zóna B, 2,2 km od  $J_S$ ) – nachází se ve městě Jihlava v městské části Hruškové dvory, poblíž průmyslové zóny ulice Polenské
- Odběr J9 (zóna B, 4 km od  $J_S$ ) – nachází se ve městě Jihlava v městské části Helenín, přibližně 100 m po proudu řeky za výpustí ČOV Jihlava
- Odběr J10 (zóna C, 5,3 km od  $J_S$ ) – nachází se nedaleko obce Nové domky
- Odběr J11 (zóna C, 7,1 km od  $J_S$ ) – nachází se nedaleko obce Malý Beranov
- Odběr J12 (zóna B, 5,3 km od  $J_S$ ) – nachází se nedaleko obce Bradlo

#### Odběrová místa vzorků pŮd a sedimentů přítoků řeky Jihlavy

- Odběr P1 (ústí do řeky Jihlava -11,8 km od  $J_S$ ) – Maršovský potok, levostranný přítok, přitékající z vodní nádrže Hubenov (zásobárna pitné vody pro Jihlavu)
- Odběr P2 (ústí do řeky Jihlava -10,3 km od  $J_S$ ) – levostranný přítok, přitékající z rybníka Rounek

- Odběr P3 (ústí do řeky Jihlava -9,2 km od J<sub>S</sub>) – pravostranný přítok, přitékající z Bradelského rybníku
- Odběr P4 (ústí do řeky Jihlava -7,5 km od J<sub>S</sub>) – Jiřinský potok, levostranný přítok, přitékající z obce Vyskytná nad Jihlavou
- Odběr P5 (ústí do řeky Jihlava -7,1 km od J<sub>S</sub>) – pravostranný přítok, přitékající z Rantířovského, Šaškova a Velkého rybníku
- Odběr P6 (ústí do řeky Jihlava -5,1 km od J<sub>S</sub>) – Bělokamenský potok, levostranný přítok, přitékající z rybníku Dolňák
- Odběr P7 (ústí do řeky Jihlava -4,2 km od J<sub>S</sub>) – levostranný přítok, přitékající z obce Plandry
- Odběr P8 (ústí do řeky Jihlava -3,0 km od J<sub>S</sub>) – Hornokosovský potok, pravostranný přítok
- Odběr P9 (ústí do řeky Jihlava -5,1 km od J<sub>S</sub>) – Smrčenský potok, levostranný přítok, přitékající z obce Hybrálec
- Odběr P10 – odběr na řece Jihlávce před ústím do města Jihlavy
- Odběr P11 (ústí do řeky Jihlava 1,0 km od J<sub>S</sub>) – odběr na řece Jihlávka před ústím do řeky Jihlavy jako pravostranný přítok
- Odběr P12 (ústí do řeky Jihlava 3,6 km od J<sub>S</sub>) – Hruškovdorský potok, levostranný přítok
- Odběr P13 (ústí do řeky Jihlava na 6,1 km od J<sub>S</sub>) – Henčovský potok, levostranný přítok

Graf 3: Schématické znázornění odběrů podle kilometráže



### 3.1.3 Vzorkování

Na každém odběrovém místě byly odebrány vzorky půdy a vzorek sedimentu. Vzorky půdy (přibližně o hmotnosti 500g) byly odebrány pomocí plastové zahradní lopatky ze třech míst, a to ve vzdálenostech 0,5 m, 2 m a 5 m od vodního toku a vždy z hloubek do 10, 20 a 30 cm, celkem tedy 9 vzorků půdy. Následně byly ze vzorků odstraněny nežádoucí předměty (např. kameny, zbytky rostlin, sklo apod.) a umístěny do polyethylenového sáčku. Vzorek sedimentu byl odebrán z kraje vodního toku (přibližně 0,5 až 1 m od břehu) pomocí plastové nádoby, ve které byl vzorek i uchován pro transport. Všechny odebrané vzorky byly řádně označeny, byl zapsán datum a čas, teplota vzduchu, stav počasí a GPS souřadnice místa odběru. Vzorky byly odebírány v období od 10. 8. 2010 do 5. 9. 2010.

Tabulka 11: Lokalizace a meteorologické podmínky odběrů

Vzorek	GPS		Datum a čas odběru	Teplota a	Rychlost a	
	N	E		vlhkost vzduchu	směr větru	směr
				(°C (%))	(m/s)	
J1	49°23'07"	15°29'54"	10. 8. (11:17)	19 (30-50)	1, 5	JV
J2	49°23'41"	15°30'10"	10. 8. (10:52)	18 (30-50)	1, 5	JV
J3	49°24'27"	15°30'37"	17. 8. (11:32)	18 (70-80)	3, 5	SZ
J4	49°24'35"	15°31'48"	18. 8. (9:30)	12 (40-60)	7,2	SZ
J5	49°25'04"	15°33'05"	18. 8. (11:42)	17 (40-60)	7, 2	SZ
J6	49°24'44"	15°34'00"	18. 8. (13:30)	21 (40-60)	7, 2	SZ
J7	49°24'24"	15°34'44"	4. 9. (14:45)	13 (90-100)	4, 6	JZ
J8	49°24'26"	15°36'09"	5. 9. (14:17)	20 (60-80)	3,1	JZ
J9	49°24'21"	15°37'19"	5. 9. (12:30)	18 (60-80)	3,1	JZ
J10	49°24'09"	15°38'02"	5. 9. (15:05)	21 (60-80)	3, 1	JZ
J11	49°23'38"	15°38'31"	5. 9. (15:50)	20 (60-80)	3, 1	JZ
J12	49°23'23"	15°39'08"	5. 9. (17:16)	18 (60-80)	3, 1	JZ
P1	49°23'34"	15°29'48"	10. 8. (9:35)	14 (30-50)	1,5	JV
P2	49°23'53"	15°30'04"	10. 8. (13:44)	22 (30-50)	1, 5	JV
P3	49°24'07"	15°30'53"	17. 8. (10:19)	18 (70-80)	3, 5	SZ
P4	49°24'39"	15°30'58"	10. 8. (12:32)	22 (30-50)	1, 5	JV
P5	49°24'26"	15°31'16"	18. 8. (8:55)	9 (40-60)	7,2	SZ
P6	49°25'07"	15°31'42"	18. 8. (10:35)	16 (40-60)	7, 2	SZ
P7	49°25'06"	15°32'34"	18. 8. (11:15)	17 (40-60)	7, 2	SZ
P8	49°24'50"	15°33'12"	18. 8. (13:05)	20 (40-60)	7, 2	SZ
P9	49°24'44"	15°34'40"	18. 8. (14:44)	21 (40-60)	7, 2	SZ
P10	49°23'10"	15°36'18"	4. 9. (15:52)	13 (90-100)	4 ,6	JZ
P11	49°24'23"	15°35'35"	5. 9. (13:45)	19 (60-80)	3, 1	JZ
P12	49°24'23"	15°37'05"	5. 9. (13:06)	18 (60-80)	3, 1	JZ
P13	49°24'20"	15°38'11"	5. 9. (15:40)	21 (60-80)	3, 1	JZ

Vysvětlivky: N – severní šířky, E – východní délky, JV – jihovýchodní, SZ – severozápadní, JZ – jihozápadní. Informace o vlhkosti vzduch, rychlosti a směru větru (průměrné denní hodnoty) byly odečítány z [www.chmi.cz](http://www.chmi.cz).

## **3.2 Zpracování odebraných vzorků**

Odebrané terénní vzorky byly v laboratoři rozprostřeny na filtrační papír a sušeny při laboratorní teplotě. Po usušení byly vzorky rozmělněny a plastovým sítem o velikost ok 2 mm byly získány jemné podsítné frakce.

Ze vzorků půd byly vytvořeny vždy tři směsné vzorky z každého odběrového místa, a to smícháním vzorků ze stejných hloubek (do 10, 20 a 30 cm) odběrů ze vzdáleností 0,5 m, 2 m a 5 m od vodního toku. Poté pomocí kvartace byla snížena hmotnost těchto směsných vzorků přibližně na 200 g. Všechny vzniklé laboratorní vzorky byly umístěny do označených čistých polyethylenových sáčků, ze kterých pak byly odebírány jednotlivé analytické vzorky pro stanovení půdní sušiny, stanovení pH a přípravu extraktu.

### **3.2.1 Stanovení sušiny gravimetrickou metodou**

Stanovení sušiny gravimetrickou metodou bylo určeno kapitolou 2.6.2. Na porcelánové misky se známou hmotností byl navážen 1 g vzorku s přesností na čtyři desetinná místa. To bylo vloženo do předem vyhřáté (teplota  $105^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ ) sušárny a ponecháno uvnitř po dobu 3 hodin. Po této době byly vzorky přemístěny do exsikátoru a po vychladnutí opět zváženy. Z rozdílu hmotností vzorků před a po procesu sušení bylo zjištěno množství sušiny, jež byly použity k přepočtu obsahu sledovaných kovů ve vysušených vzorcích na množství sušiny vzorků.

### **3.2.2 Stanovení pH v extraktu 0,01 M chloridu vápenatého**

Stanovení pH proběhlo dle kapitoly 2.6.3. Do polyethylenové nádoby o objemu 100 ml bylo naváženo 10 g vzorku s přesností na dvě desetinná místa a následně přidáno 50 ml připraveného 0,01 M roztoku chloridu vápenatého. Tato suspenze byla promíchána a umístěna na třepací zařízení. Třepání probíhalo po dobu 60 minut. Po této době byla suspenze tutéž dobu ponechána v klidu. Před vložením skleněné elektrody pH-metru byla suspenze opět promíchána. Hodnota pH byla po ustálení zapsána.

### **3.2.3 Příprava extraktu 2 M kyselinou dusičnou**

Příprava extraktu byla v souladu s kapitolou 2.6.4. Do polyethylenové nádoby o objemu 100 ml bylo naváženo 5 g vzorku s přesností na dvě desetinná místa a přidáno 50 ml připravené 2 M kyseliny dusičné. Nádoby s kyselinou dusičnou a příslušným množstvím vzorku byly umístěny na třepací zařízení. Samotný proces třepání (extrakce) trval 16 hodin. Po této době byly obsahy nádobek zfiltrány přes filtrační papír. Filtrát byl jímán do čisté polyethylenové nádoby, ve které se uchovával po celou dobu měření.

### 3.3 Kalibrace, mez detekce a mez stanovitelnosti

Ke stanovení neznámé koncentrace prvku v extraktu, je nutné znát vztah odezvy přístroje a koncentraci analytu. Tento vztah se určuje kalibrací a provádí se metodou kalibrační křivky, pomocí které se pak odečte koncentrace analytu odpovídající odezvě přístroje na analyzovaný prvek. Přesnost kalibrace určuje směrodatná odchylka společně s koleračním koeficientem a citlivost pak určují limitní hodnoty (mez detekce, mez stanovitelnosti), které souvisejí s úrovní koncentrace, pro kterou je signál ještě statisticky významně odlišný od šumu [4, 38].

#### 3.3.1 Metoda kalibrační křivky

Tato metoda se provádí pomocí tzv. standardních roztoků, což jsou roztoky se známými rostoucími koncentracemi stanovované látky, či prvku. Dalším krokem je proměření signálů odpovídající těmto roztokům. Získané odezvy přístroje přiřazené k jednotlivým koncentracím se začlení do grafu tak, že se na svislou osu  $y$  obvykle vynese hodnota signálu  $S$  a na osu  $x$  koncentrace  $c$ . To charakterizuje hledanou závislost signálu (závisle proměnná) na koncentraci analytu (nezávisle proměnná) –  $S=f(c)$ . Závislost mezi dvěma proměnnými řeší regresní analýza.

Regresní analýza lineární závislosti určuje odhady koeficientů  $a$  (posunutí) a  $b$  (směrnice), jež jsou charakteristickou vlastností regresní přímky a ta je vyjádřena pomocí rovnice  $y = ax + b$ . Pro odhad koeficientů regresní rovnice se obvykle volí metoda nejmenšího součtu čtverců. A pro ně platí vztahy [38, 54]:

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n x_i^2 \cdot \sum_{i=1}^n y_i - \sum_{i=1}^n x_i \cdot \sum_{i=1}^n x_i y_i}{\sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2} = \frac{1}{n} (\sum_{i=1}^n y_i - b \sum_{i=1}^n x_i), \quad (3)$$

$$b = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \cdot \sum_{i=1}^n y_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2}. \quad (4)$$

#### Směrodatná odchylka

Směrodatná odchylka, která charakterizuje rozptýlení kolem regresní přímky (označována také jako přesnost kalibrace), se určuje jako [38, 54]:

$$s_{y,x} = \sqrt{\frac{1}{n-2} (\sum_{i=1}^n y_i^2 - a \sum_{i=1}^n y_i - b \sum_{i=1}^n x_i y_i)} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - Y_i)^2}{n-2}}, \quad (5)$$

kde  $Y_i$  je hodnota vypočtená z regresní rovnice pro odpovídající  $x_i$ , tedy  $Y_i = a + bx_i$ .



### Koeficient kolerace

Posouzení těsnosti rozložení závisle proměnné  $y$  kolem regresně vypočítané hodnoty funkce  $y=f(x)$  umožňuje korelace. Test rozložení závisle proměnné veličin kolem lineární regresní přímky určuje korelační koeficient [38, 54]:

$$r = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \cdot \sum_{i=1}^n y_i}{\sqrt{[\sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2] \cdot [\sum_{i=1}^n y_i^2 - (\sum_{i=1}^n y_i)^2]}} \quad (6)$$

### 3.3.2 Mez detekce a mez stanovitelnosti

Mez detekce (LOD – limit of detection) analytu je zjednodušeně nejnižší množství analytu ve vzorku, které je možné detekovat, avšak nemusí být nutně měřitelné jako přesná hodnota. Dále je definován jako absolutní množství nebo koncentrace analytu, které poskytuje signál rovný trojnásobku směrodatné odchylky signálu pozadí. Je vyjádřen vztahem [4, 54]:

$$\text{LOD} = \frac{3s_{BL}}{S}, \quad (7)$$

kde  $S$  je citlivost (tj. směrnice kalibrační křivky) a  $s_{BL}$  je směrodatná odchylka signálu slepého pokusu.

Mez stanovitelnosti (LOQ – limit of quantification) je nejmenší množství analytu, které se může s přijatelnou mírou správnosti a přesnosti stanovovat. Je zjišťována s použitím vhodného standardu či vzorku. Obvykle je to nejnižší bod kalibrační křivky. Přesná definice meze stanovitelnosti říká, že je to absolutní množství nebo koncentrace analytu, jež poskytuje signál rovný desetinásobku směrodatné odchylky signálu pozadí. A lze ji takto vyjádřit vztahem [54]:

$$\text{LOQ} = \frac{10s_{BL}}{S}. \quad (8)$$

### 3.4 Stanovení mědi a olova v extraktu vzorku pomocí F-AAS

Pro stanovení mědi a olova byl použit atomový absorpční spektrometr s plamenovou atomizací SpectrAA 30. Před zahájením měření byl přístroj zapnut dle daných postupů, vytvořena analytická metoda s příslušnými parametry pro konkrétní stanovovaný prvek (viz tabulka 12), zažehnut plamen a nastaven průtok vzduchu a acetylénu. Po kalibraci, která proběhla proměřením standardních roztoků o známých koncentracích (viz kapitola 3.3.2), byly proměřeny slepé vzorky a následně jednotlivé extrakty vzorků. Výsledkem měření byly hodnoty absorbance a koncentrace stanovovaného prvku. Pro každý vzorek bylo měření opakováno 3krát. Mezi dávkováním jednotlivých extraktů byla ponechávána přibližně minutová prodleva, kdy dávkovací kapilára byla promývána vodným roztokem kyseliny dusičné (v poměru 1 ml 65% HNO<sub>3</sub> na 1 l vody), k zamezení přenosu kontaminace z předchozího měření. Přístroj byl kalibrován nejen na začátku měření, ale i v jeho průběhu a ukončení.

Tabulka 12: Nastavené parametry pro měření mědi a olova

Prvek	I (mA)	Šířka štěrbin (nm)	Vlnová délka (nm)	průtok vzduchu (l/min)	průtok acetylénu (l/min)
Cu	4,0	0,5	324,8	3,5	1,5
Pb	6,0	1,0	217,0	3,5	1,5

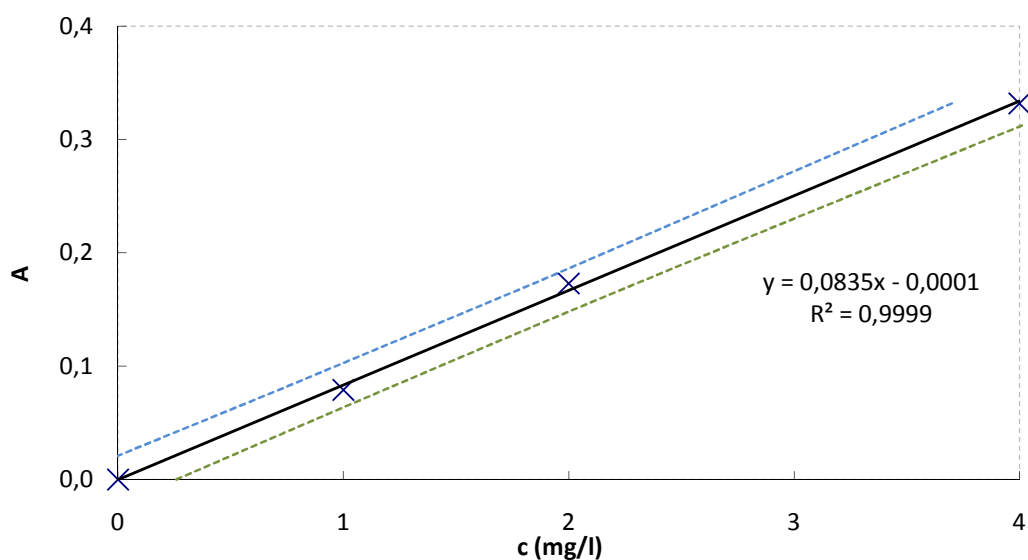
#### 3.4.1 Kalibrační křivky pro stanovení mědi a olova

Kalibrační řady pro stanovení mědi a olova byly vytvořeny ze standardních roztoků mědi, olova o koncentraci  $1 \pm 0,002$  g/l a jsou uvedeny v tabulce 13. Vzniklé kalibrační křivky jsou graficky znázorněny v grafech 4 a 5, kde je vždy vykreslena regresní přímka a znázorněna rovnice lineární regrese a s ní i hodnota korelačního koeficientu  $R^2$  (korelační koeficient  $r$ ). Interval spolehlivosti udává rozmezí, ve kterém se daný parametr s jistou spolehlivostí vyskytuje a je znázorněn dolní a horní mezí ohraničující regresní přímku z obou stran.

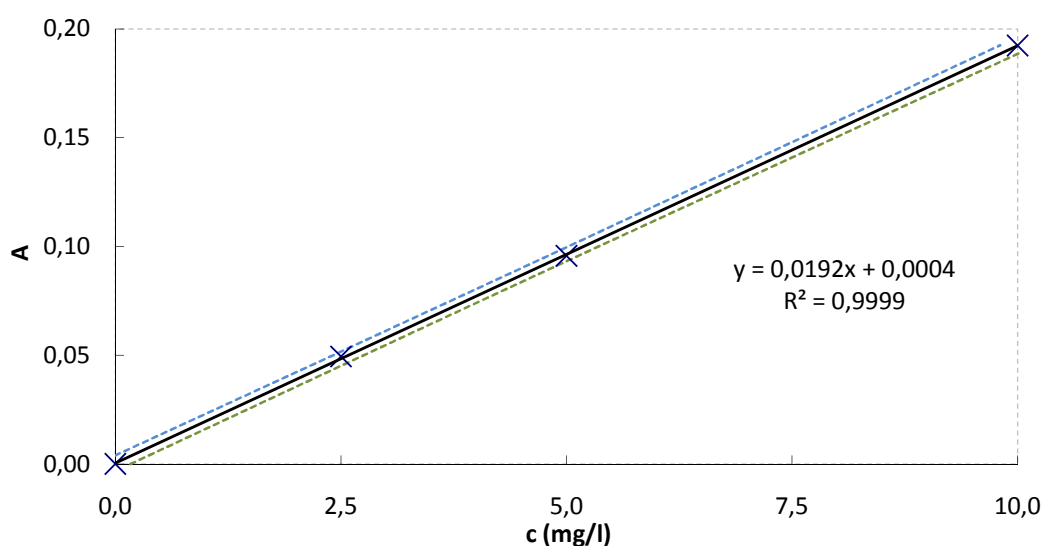
Tabulka 13: Kalibrační řady pro měď a olovo

Cu		Pb	
c (mg/l)	A	c (mg/l)	A
0,0	0,0000	0,0	0,0000
1,0	0,0791	2,5	0,0494
2,0	0,1729	5,0	0,0957
4,0	0,3317	10,0	0,1924

Graf 4: Znáznornění kalibrační křivky pro stanovení mědi v extraktu vzorku



Graf 5: Znáznornění kalibrační křivky pro stanovení olova v extraktu vzorku



### 3.4.2 Mez detekce a mez stanovitelnosti pro měď a olovo

Vypočítané hodnoty meze detekce a meze stanovitelnosti pro měď a olovo jsou uvedeny v tabulce 14.

Tabulka 14: Mez detekce a mez stanovitelnosti pro měď a olovo

Prvek	LOD (mg/l)	LOQ (mg/l)
Cu	0,179339	0,597798
Pb	1,044827	3,482758

### 3.5 Stanovení kadmia v extraktu vzorku pomocí ET-AAS

Pro stanovení kadmia v extraktu vzorku byl použit atomový absorpční spektrometr s elektrotermickou atomizací AAS-Zenit 60. Před zahájením měření byl přístroj zapnut dle daných postupů a byla vytvořena analytická metoda s příslušnými parametry pro měření kadmia (viz tabulka 14).

Tabulka 14: Nastavené parametry pro měření kadmia v extraktu vzorku

Prvek	I (mA)	Šířka štěrbin (nm)	Vlnová délka (nm)	maximální průtok argonu při tlaku 130 kPa (NL/hod)
Cd	7,0	0,8	228,8	48

Standardně po nadávkování vzorku je teplota kyvety zvyšována v několika krocích, podle teplotního programu. Teplotní program pro stanovení daného prvku v dané matici vzorku je individuální a musí být vždy pro daný přístroj optimalizován. Pro měření kadmia byl vytvořen teplotní program uvedený v tabulce 15.

Tabulka 15: Teplotní program ET-AAS pro měření kadmia v extraktu vzorku

Proces	Teplota (C°)	Rampa (C°/s)	Čas držení (s)	Celkový čas (s)	Průtok argonu (MAX/STOP)
Sušení	90	5	20	34	MAX
Sušení	105	3	20	25	MAX
Sušení	110	2	10	12,5	MAX
Pyrolýza	300	250	10	10,8	MAX
Autozero	300	0	4	4	STOP
Atomizace	1000	1000	3	4	STOP
Čištění	2200	500	4	6,6	MAX

Po zahřátí a stabilizaci přístroje byla proměřena kalibrační řada, následně slepé vzorky a extrakty vzorků. Vzorky byly do kyvety dávkovány pomocí programovatelného automatického dávkovače, který byl v příslušenství spektrometru. Extrakty vzorků byly podle potřeby ředěny ultračistou vodou. Výsledkem měření byly hodnoty absorbancí. Každé měření vzorku bylo opakováno 2krát.

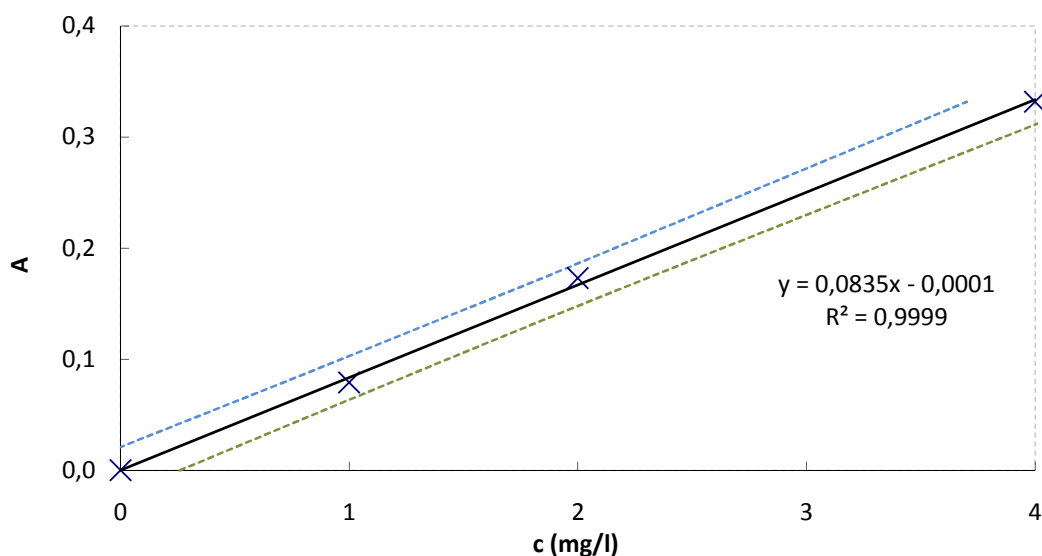
### 3.5.1 Kalibrační křivka pro stanovení kadmia v extraktu vzorku

Kalibrační řada pro stanovení kadmia v extraktu vzorku byla vytvořena ze standardního roztoku kadmia o koncentraci  $1 \pm 0,002$  g/l a je uvedena v tabulce 16. Vzniklá kalibrační křivka je znázorněna v grafu 6 společně s regresní přímkou, rovnicí lineární regrese, hodnotou koeficientu spolehlivosti  $R^2$  (korelační koeficient  $r$ ) a intervalů spolehlivosti.

Tabulka 16: Kalibrační řada pro stanovení kadmia v extraktu vzorku

c (mg/l)	A
0,0	0,0000
1,0	0,0791
2,0	0,1729
4,0	0,3317

Graf 6: Znázornění kalibrační křivky pro stanovení kadmia v extraktu vzorku



### 3.5.2 Mez detekce a mez stanovitelnosti pro kadmium

Vypočítané hodnoty - mez detekce a mez stanovitelnosti pro kadmium jsou uvedeny v tabulce 17.

Tabulka 17: Mez detekce a mez stanovitelnosti pro kadmium

Prvek	LOD (mg/l)	LOQ (mg/l)
Cd	$1,94 \cdot 10^{-4}$	$6,48 \cdot 10^{-4}$

### 3.6 Stanovení rtuti ve vzorku pomocí AMA 254

Pro stanovení rtuti ve vzorcích půd a sedimentů byl použit jednoúčelový atomový absorpční spektrometr pro stanovení rtuti AMA 254.

#### 3.6.1 Čistící program a ověření platnosti kalibrace

Před zahájením měření byl spuštěn čistící program s parametry uvedenými v tabulce 19, při kterém bylo potřeba nadávkovat 100 µl destilované vody. Pokud hodnota naměřené absorbance čistícího programu byla vyšší než 0,003, bylo nutné čištění opakovat.

Po čistícím programu následovalo proměření standardního roztoku o známé koncentraci rtuti (0,2 mg/l) – tzv. check standard. Pro přípravu tohoto kontrolního standardu byly v 50 ml odměrné baňce smíchány chemikálie: 0,5 ml koncentrované HNO<sub>3</sub>, 0,5 ml koncentrované kyseliny HCl, 0,5 ml 1% roztoku K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> a 10 µl kalibračního standardu rtuti o koncentraci 1 ± 0,002 g/l a doplněny ultračistou vodou po rysku. Standardní roztok dávkován v objemu 100 µl byl proměřen 3krát s programem uvedeným v tabulce 19. Naměřené hodnoty koncentrací (viz tabulka 18) blízké (± 10 %) koncentraci dávkovaného kalibračního roztoku (0,2 mg/l) pak dokazují platnost kalibrace.

Tabulka 18: Naměřené hodnoty „check standardu“

c (mg/l)	A
0,1984	0,4783
0,2057	0,4895
0,2031	0,4861

#### 3.6.2 Analýza vzorků

Pro analýzu vzorků půd a sedimentů byla spuštěna analýza s parametry uvedenými v tabulce 19. Na dávkovací lodičku bylo naváženo vždy kolem 50 mg podsítné frakce vzorku. Lodička s navázkou byla umístěna do dávkovacího zařízení. Výsledek měření obsahoval hodnoty absorbancí a celkový obsah rtuti ng. Pro každý vzorek bylo měření opakováno 5krát.

Tabulka 19: Parametry jednotlivých programů

Proces	Doba trvání procesu (s)		
	čištění	ověření platnosti kalibrace	analýza
Sušení	60	60	150
Termický rozklad	60	120	200
Čekání	60	45	45

### 3.7 Použité chemikálie

- Ultra čistá voda (Milli-Q)
- 65% kyselina dusičná -  $\text{HNO}_3$
- Koncentrovaná kyselina chlorovodíková  $\text{HCl}$
- 1% roztok dichromanu draselného -  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$
- Chlorid vápenatý -  $\text{CaCl}_2$
- Standardní roztok olova o koncentraci  $1 \pm 0,002 \text{ g}\cdot\text{l}^{-1}$  (Analytica, s r.o. Praha)
- Standardní roztok kadmia o koncentraci  $1 \pm 0,002 \text{ g}\cdot\text{l}^{-1}$  (Analytica, s r.o. Praha)
- Standardní roztok rtuti o koncentraci  $1 \pm 0,002 \text{ g}\cdot\text{l}^{-1}$  (Analytica, s r.o. Praha)
- Standardní roztok mědi o koncentraci  $1 \pm 0,002 \text{ g}\cdot\text{l}^{-1}$  (Analytica, s r.o. Praha)

### 3.8 Použité přístroje a zařízení

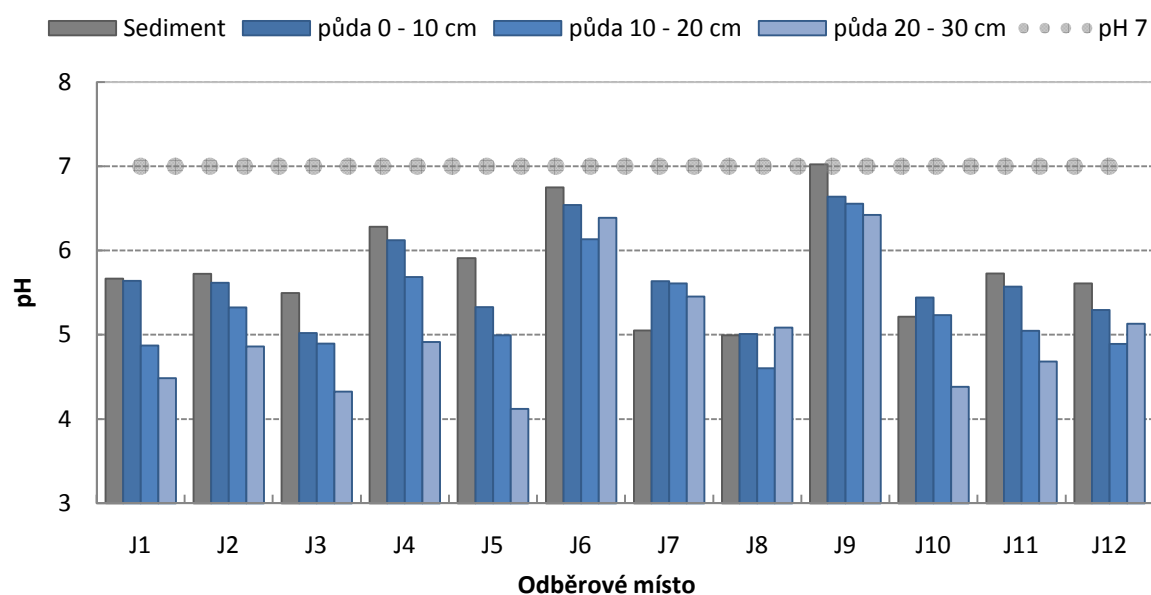
- SpectrAA 30 (Varian, Austrálie)
- AAS-Zenit 60 (Analytik Jena AG, Německo)
- AMA 254 (Altec, s r.o., ČR)
- Zařízení pro přípravu ultračisté vody (PURELAB Classic, Elga PL 5242)
- Analytické váhy (Denver Instrument, Německo)
- Sušárna (model 500, Memmert, Německo)
- Třepačka LT2
- pH-metr WTW 320
- Síto o velikosti ok 2 mm
- Mikropipety
- Filtrační papír (Whatman Cat No. 1440 110, póry  $8\mu\text{m}$ )
- Tlaková láhev s argonem (čistota 5.0)
- Tlaková láhev s kyslíkem (technický 2.5)
- Tlaková láhev s acetylénem (pro plamenovou fotometrii 2.6)

## 4 VÝSLEDKY A DISKUSE

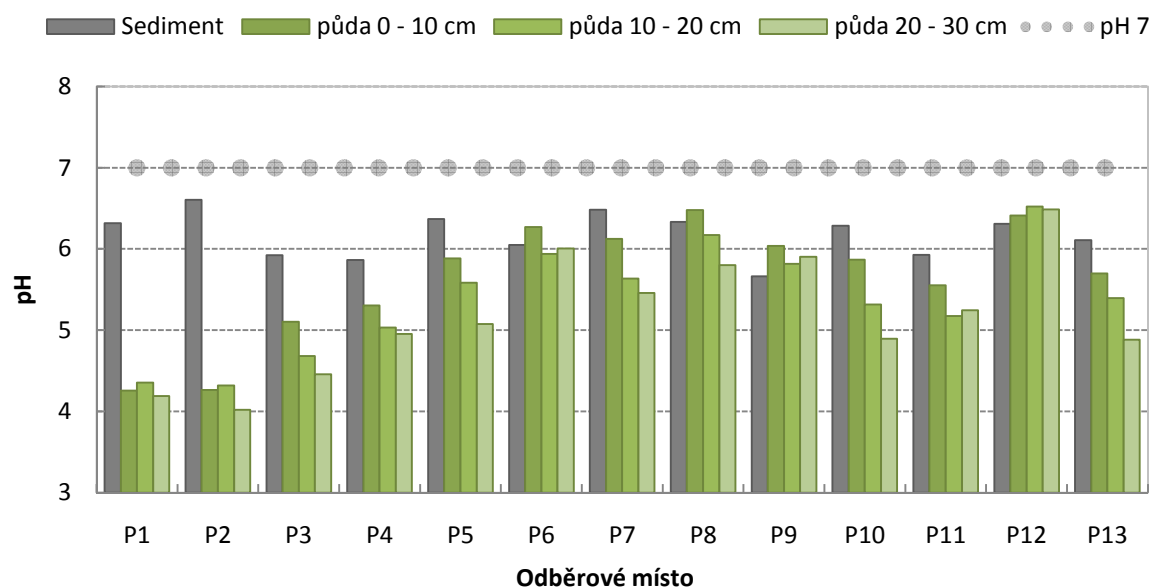
### 4.1 Stanovení pH vzorků v extraktu chloridu vápenatého

Měření pH proběhlo dle pracovních postupů uvedených v kapitole 3.2.2. Všechny naměřené hodnoty pH vzorků půd a sedimentů jsou uvedeny v přílohách 3 a 4. Grafické znázornění výsledků je vyznačeno v grafech 7 a 8.

Graf 7: Znázornění naměřených hodnot pH půd a sedimentů řeky Jihlavy



Graf 8: Znázornění naměřených hodnot pH půd a sedimentů přítoků řeky Jihlavy





Podle grafického znázornění lze všeobecně vyhodnotit, že výsledky pH vzorků půd a sedimentů se nacházejí v mírně až středně kyselé oblasti. Tato oblast pH u vzorků v zóně A a C je zřejmě způsobena tím, že kolem řeky se v této oblasti nachází převážně jehličnaté lesy, které jsou charakteristické právě kyselou půdou. V oblasti B může být pokles pH u odebraných vzorků způsoben kyselou atmosférickou depozicí.

Srovnáme-li hodnoty sedimentů a půd z různých hloubek odběru, lze říci, že všeobecně nejvyšší hodnoty, až na některé výjimky, dosahují sedimenty. Nižší hodnoty pak mají vzorky půd se sestupnou tendencí společně se zvyšující se hloubkou odběru.

U vzorků řeky Jihlavy dosahují nejvyšších hodnot pH: ze sedimentů vzorek z odběrového místa J9 (pH = 7,025), z půd z hloubky odběru 0 až 10 cm, 10 až 20 cm i 20 až 30 cm vzorky opět z odběrového místa J9 (pH = 6,425 až 6,639). Naopak nejnižších hodnot pH dosahují: ze sedimentů vzorek z odběrového místa J8 (pH = 4,994), z půd z hloubky odběru 0 až 10 cm a 10 až 20 cm vzorky opět z odběrového místa J8 (pH = 5,010 a 4,603), z hloubky odběru 20 až 30 cm pak vzorky z odběrového místa J3 (pH = 4,327).

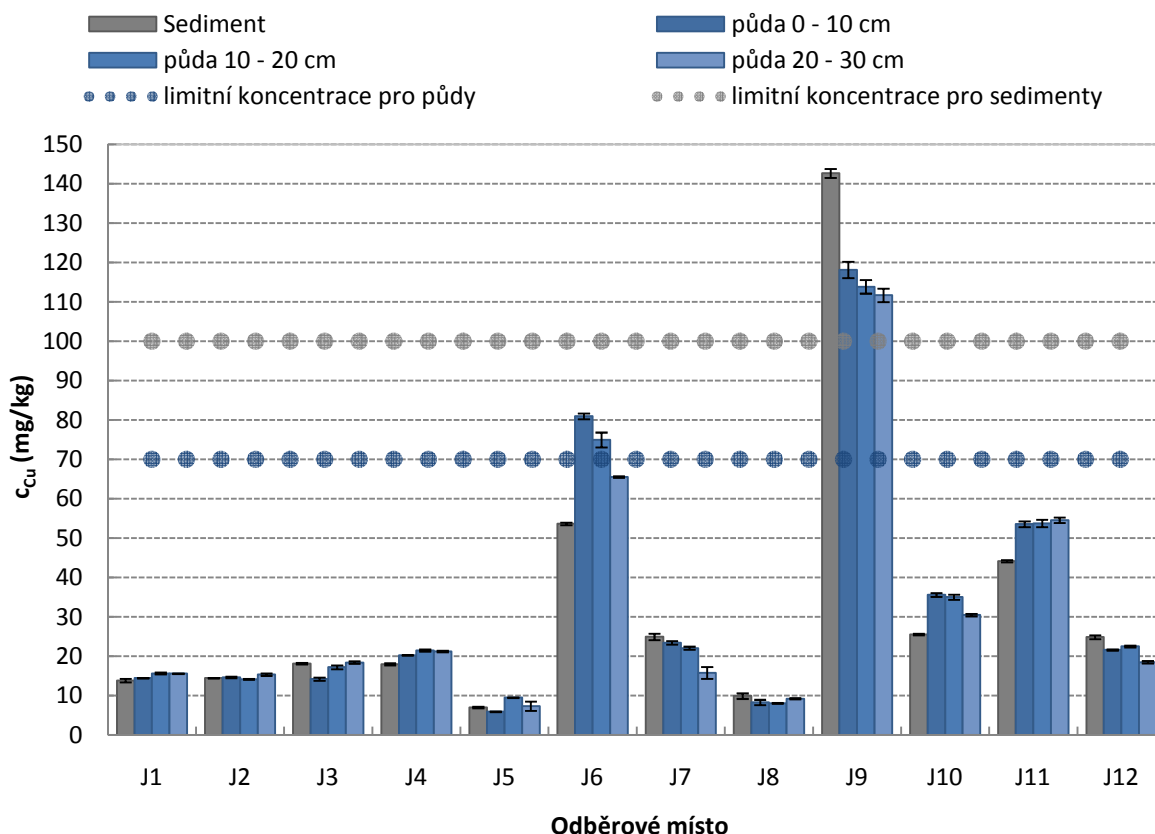
U vzorků přítoků řeky Jihlavy lze pozorovat výrazný pokles hodnot pH u půd z odběrových míst P1 a P2, což může být způsobeno zemědělskou produkcí, neboť v okolí těchto odběrových míst se nacházejí rozsáhlé zemědělsky obdělávaná pole. Nejvyšších hodnot pH dosahují: ze sedimentů vzorek z odběrového místa P2 (pH = 6,603), z půd z hloubky odběru 0 až 10 cm vzorek z odběrového místa P8 (pH = 6,478), z hloubek 10 až 20 cm a 20 až 30 cm vzorky z odběrového místa P12 (pH = 6,523 a 6,486). Naopak nejnižších hodnot pH dosahují: ze sedimentů vzorek z odběrového místa P9 (pH = 5,663), z půd z hloubky odběru 0 až 10 cm vzorek z odběrového místa P1 (pH = 4,254), z hloubek 10 až 20 cm a 20 až 30 cm vzorky z odběrového místa P2 (pH = 4,320 a 4,019).

## 4.2 Stanovení mědi v extraktech půd a sedimentů

Stanovení obsahu mědi v extraktech vzorků půd a sedimentů zředěnou kyselinou dusičnou proběhlo pomocí atomové absorpční spektrometrie s plamenovou atomizací dle pracovních postupů uvedených v kapitole 3.4. Z naměřených hodnot byla vypočítána střední hodnota množiny (medián) a směrodatná odchylka (smodch). Ty jsou uvedeny v tabulkách příloh 5 a 6.

Pomocí grafů 9 a 10 jsou znázorněny obsahy mědi v odebraných vzorcích půd a sedimentů z jednotlivých odběrových míst, které jsou zde porovnány s limitní hodnotou pro obsah mědi v půdě nezemědělského charakteru dle kritérií A – přirozených obsahů rizikových prvků v půdách dle Metodického pokynu 3/96 Ministerstva životního prostředí, která činí do 70 mg/kg sušiny, a limitní hodnotou pro obsah mědi v sedimentech dle Zákona č. 9/2009 Sb., ve znění pozdějších předpisů, která činí do 100 mg/kg sušiny. Limitní hodnoty viz kapitola 2.6.

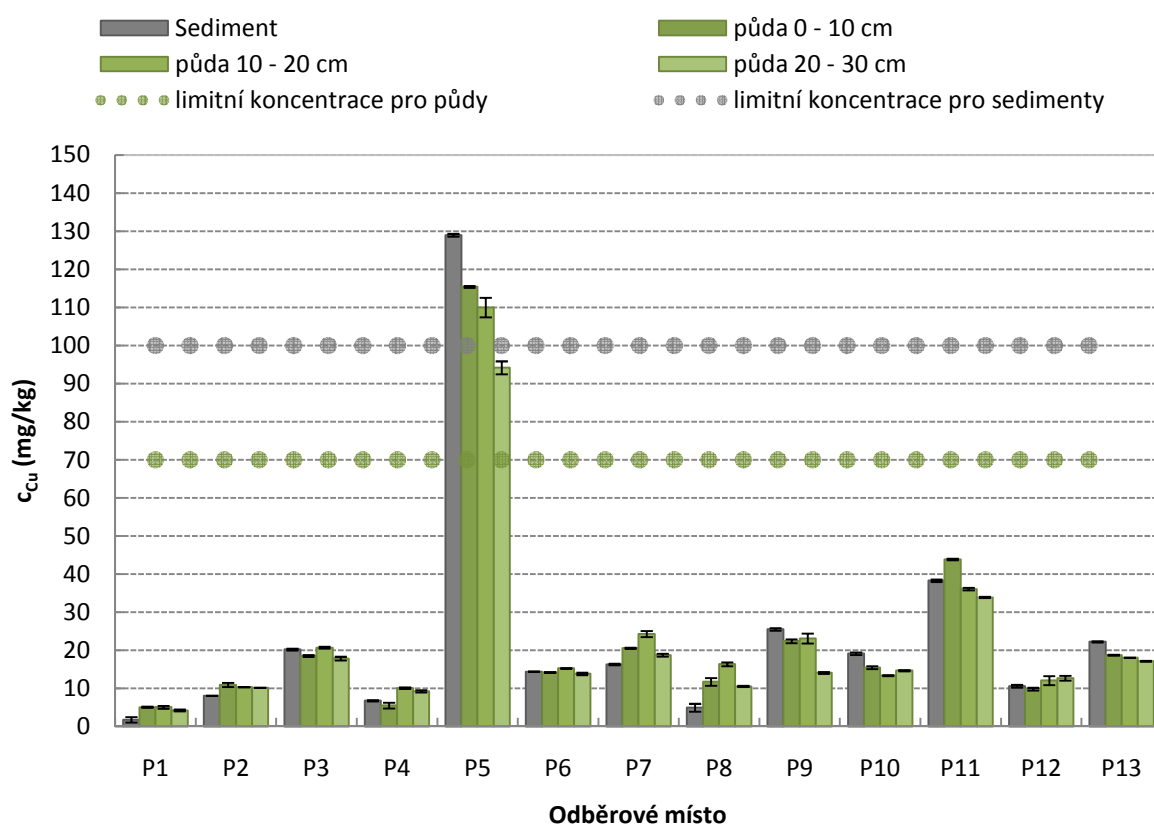
Graf 9: Znázornění obsahu mědi v půdách a sedimentech řeky Jihlavy



Nízké obsahy mědi v půdách a sedimentech řeky Jihlavy byly naměřeny v odběrových místech J1, J2, J3, J4, J5, J7, J8, J10 a J12, vyšší v odběrových místech J6 (překročení limitních hodnot u vzorku půd z hloubek 0 až 10 cm –  $c_{Cu} = 80,9$  mg/kg a 10 až 20 cm –

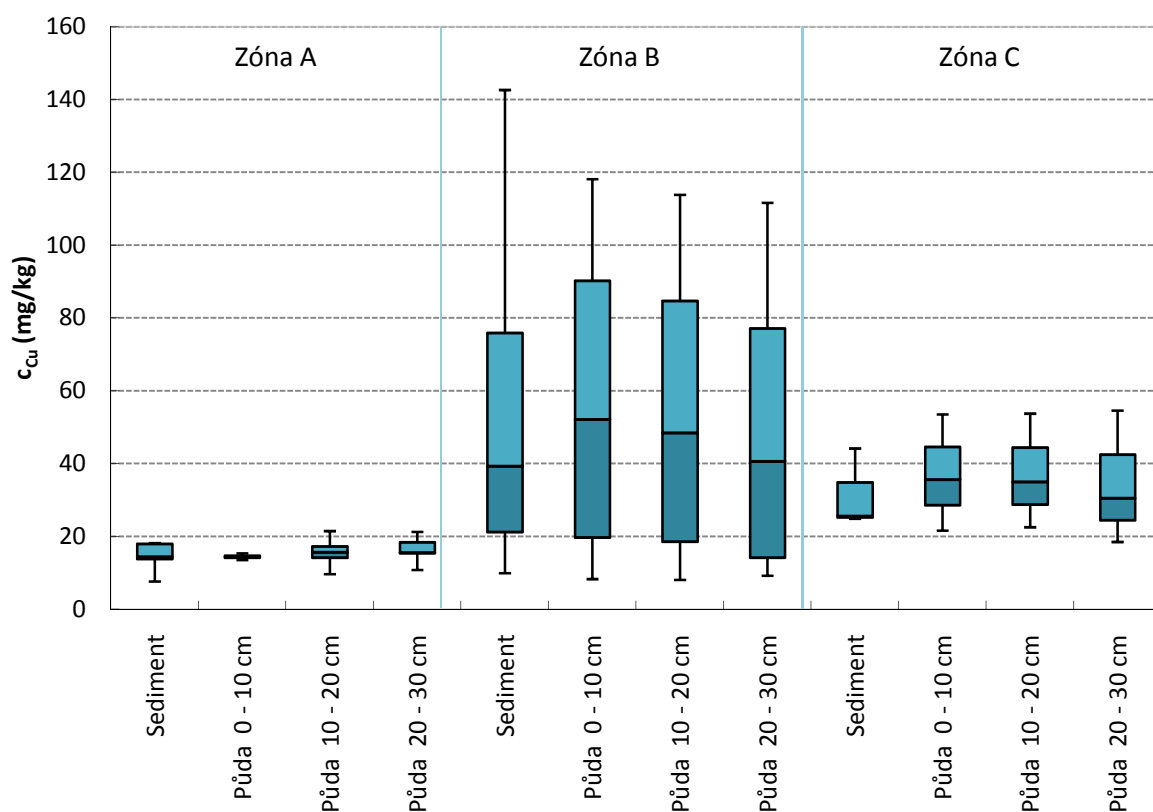
$c_{Cu} = 75,0$  mg/kg) a J11. Významně zvýšený obsah mědi v půdách a sedimentech řeky Jihlavy, ve srovnání s limitními hodnotami, byly naměřeny v odběrovém místě J9, kde bylo také dosaženo nejvyšších hodnot koncentrací mědi jak ze sedimentů ( $c_{Cu} = 142,6$  mg/kg), tak i z půd z hloubek odběru 0 až 10 cm ( $c_{Cu} = 118,1$  mg/kg), 10 až 20 cm ( $c_{Cu} = 113,8$  mg/kg) i 20 až 30 cm ( $c_{Cu} = 111,7$  mg/kg), a kde můžeme hovořit o přesáhnutí limitních hodnot přibližně o 30 %. Všeobecně nejnižších hodnot jak ze sedimentů ( $c_{Cu} = 7,0$  mg/kg), tak i z půd z hloubky odběru 0 až 10 cm ( $c_{Cu} = 5,9$  mg/kg), 10 až 20 cm ( $c_{Cu} = 8,1$  mg/kg) i 20 až 30 cm ( $c_{Cu} = 7,3$  mg/kg) dosáhly vzorky z odběrového místa J5.

Graf 10: Znázornění obsahu mědi v půdách a sedimentech přítoků řeky Jihlavy



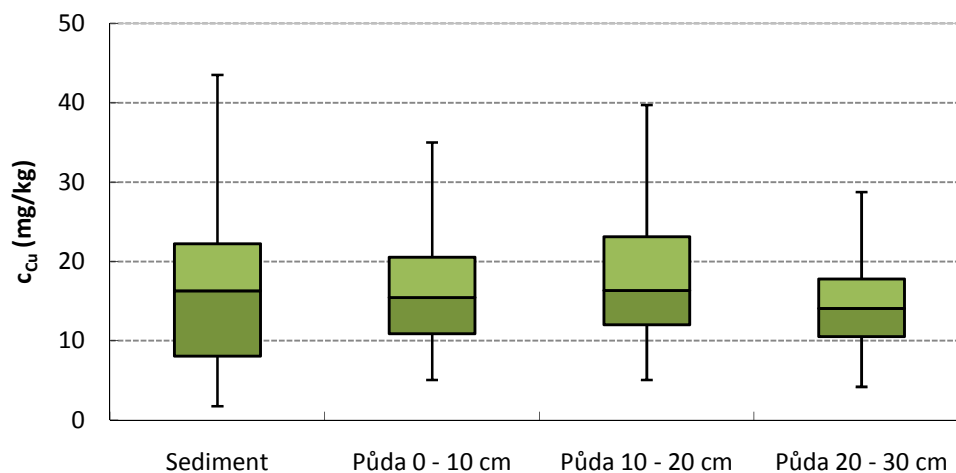
Téměř ve všech v odběrových místech přítoků řeky Jihlavy byly zjištěny poměrně nízké obsahy mědi v půdách a sedimentech. Zvýšený obsah mědi vykazovali pouze vzorky v odběrovém místě P5, kde obsahy mědi jak ve vzorku sedimentu ( $c_{Cu} = 129,0$  mg/kg), tak i ve vzorcích půd z hloubek odběru 0 až 10 cm ( $c_{Cu} = 115,4$  mg/kg), 10 až 20 cm ( $c_{Cu} = 110,0$  mg/kg) a 20 až 30 cm ( $c_{Cu} = 94,2$  mg/kg) dosáhli nejvyšších hodnot i překročili limitní hodnoty. Nejnižší hodnoty jak u sedimentu ( $c_{Cu} = 1,8$  mg/kg), tak i u půd z hloubek odběru 0 až 10 cm ( $c_{Cu} = 5,1$  mg/kg), 10 až 20 cm ( $c_{Cu} = 5,1$  mg/kg) i 20 až 30 cm ( $c_{Cu} = 4,2$  mg/kg) byly naměřeny v odběrovém místě P1.

Graf 11: Znázornění rozptylu obsahu mědi půd a sedimentů řeky Jihlavy podle zón



Z grafu 11, ve kterém jsou znázorněny nejvýznamnější rozptyly obsahů mědi ve vzorcích půd a sedimentů řeky Jihlavy podle zón A, B a C, lze jednoznačně vyčíst, že rozptyl obsahu mědi v sedimentech a půdách v zóně B (v aglomeraci města Jihlavy) je výrazně větší oproti zóně A a C, přičemž koncentrace mědi ve vzorcích zóny A se pohybují v nejnižších hodnotách. Znázornění rozptylu obsahu mědi v půdách a sedimentech přítoků řeky Jihlavy představuje graf 12.

Graf 12: Znázornění rozptylu obsahu mědi půd a sedimentů přítoků řeky Jihlavy

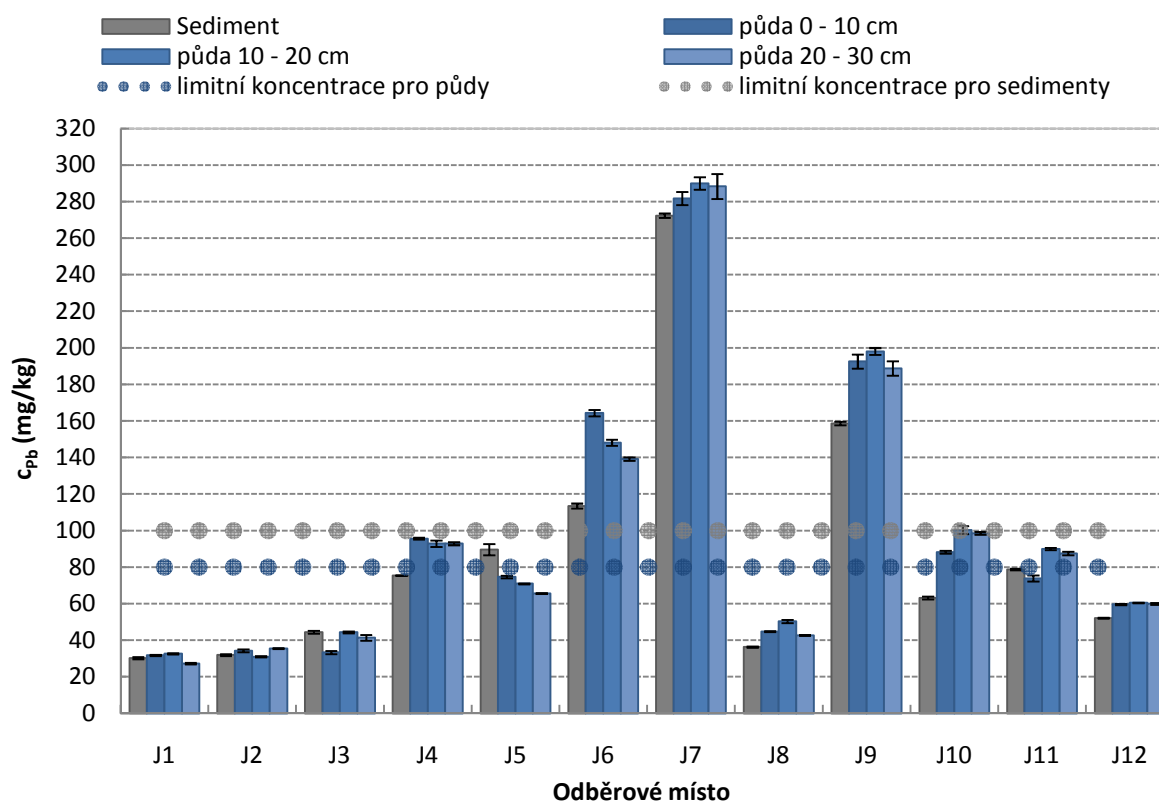


### 4.3 Stanovení olova v extraktech půd a sedimentů

Stanovení obsahu olova v extraktech vzorků půd a sedimentů zředěnou kyselinou dusičnou proběhlo pomocí atomové absorpční spektrometrie s plamenovou atomizací dle pracovních postupů uvedených v kapitole 3.4. Z naměřených hodnot byla vypočítána střední hodnota množiny (medián) a směrodatná odchylka (smodch). Ty jsou uvedeny v tabulkách příloh 7 a 8.

Pomocí grafů 13 a 14 jsou znázorněny obsahy olova v odebraných vzorcích půd a sedimentů z jednotlivých odběrových míst, které jsou zde porovnány s limitní hodnotou pro obsah olova v půdě nezemědělského charakteru dle kritérií A – přirozených obsahů rizikových prvků v půdách dle Metodického pokynu 3/96 Ministerstva životního prostředí, která činí do 80 mg/kg sušiny, a limitní hodnotou pro obsah olova v sedimentech dle Zákona č. 9/2009 Sb., ve znění pozdějších předpisů, která činí do 100 mg/kg sušiny. Limitní hodnoty viz kapitola 2.6.

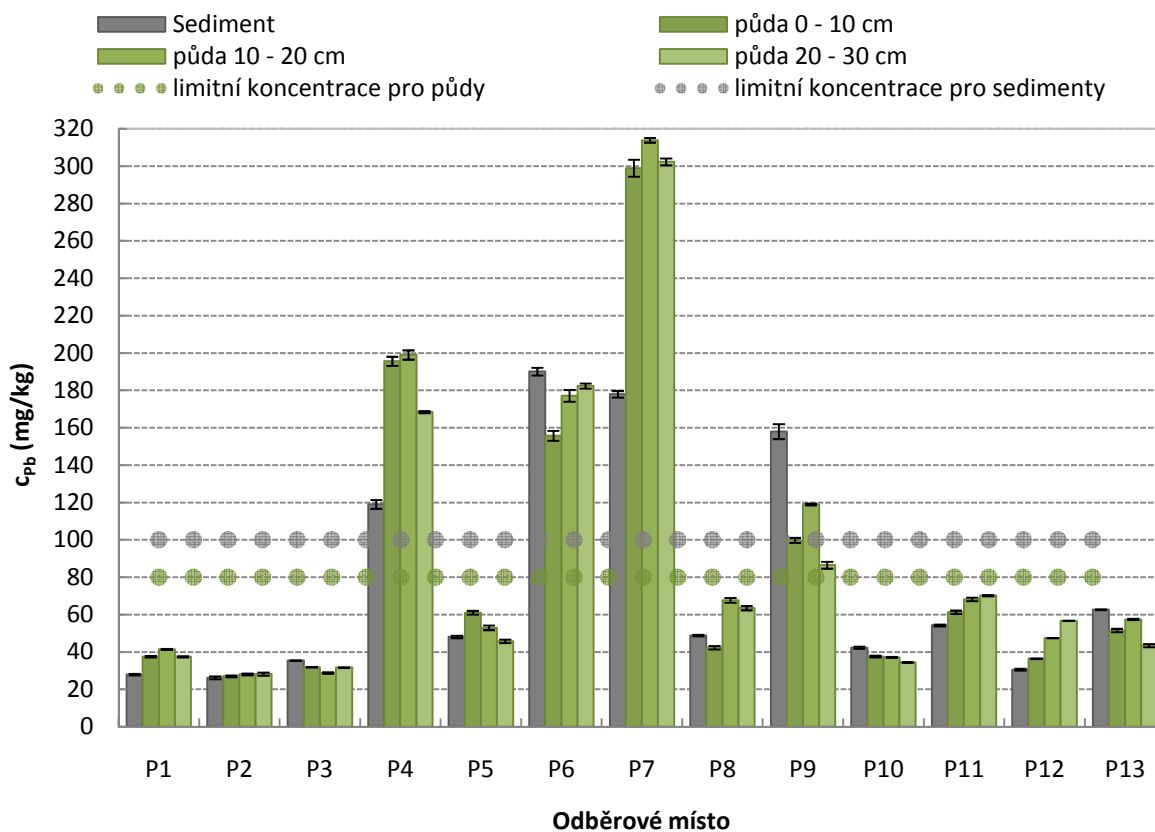
Graf 13: Znázornění obsahu olova v půdách a sedimentech řeky Jihlavy



Nejnižší obsahy olova v půdách a sedimentech řeky Jihlavy byly zjištěny v odběrových místech J1, J2, J3 a J8, vyšší v odběrových místech J4, J5, a J12. Naopak zvýšený obsah olova v půdách a sedimentech řeky Jihlavy, ve srovnání s limitními hodnotami, byly naměřeny v odběrových místech J4, J6, J7, J9, J10 a J11. Přičemž nejnižších hodnot

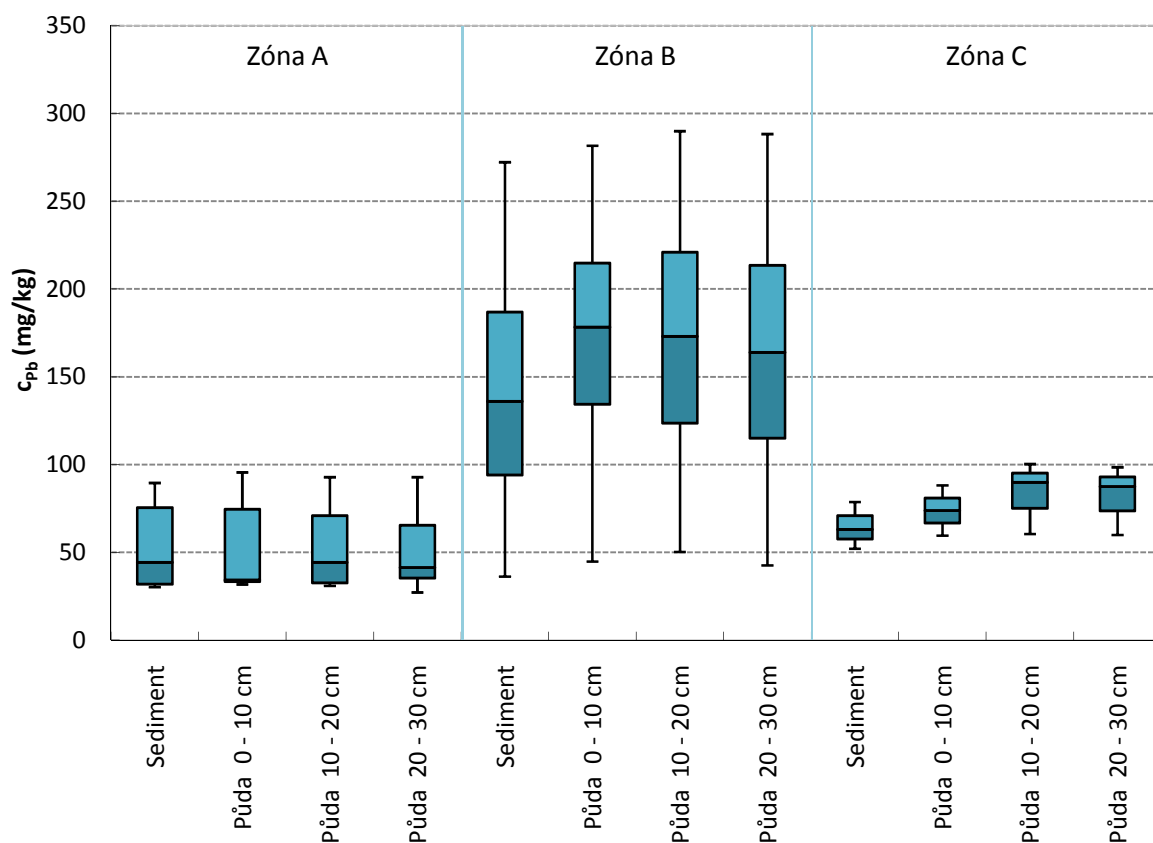
ze sedimentů ( $c_{Pb} = 30,2 \text{ mg/kg}$ ), z půd z hloubky odběru 0 až 10 cm ( $c_{Pb} = 31,8 \text{ mg/kg}$ ) a 20 až 30 cm ( $c_{Pb} = 27,3 \text{ mg/kg}$ ) dosáhly vzorky z odběrového místa J1 a půda z hloubky odběru 10 až 20 cm ( $c_{Pb} = 31,0 \text{ mg/kg}$ ) z odběrového místa J2. Nejvyšších hodnot jak ze sedimentů ( $c_{Pb} = 272,3 \text{ mg/kg}$ ), tak i z půd z hloubek odběru 0 až 10 cm ( $c_{Pb} = 281,7 \text{ mg/kg}$ ), 10 až 20 cm ( $c_{Pb} = 290,0 \text{ mg/kg}$ ) i 20 až 30 cm ( $c_{Pb} = 288,4 \text{ mg/kg}$ ) dosáhly vzorky z odběrového místa J7, kde můžeme hovořit přibližně o trojnásobném přesáhnutí limitních hodnot. Limitní hodnoty přesáhly také všechny vzorky z odběrového místa J6 a J9 ( $c_{Pb} = 113,5$  až  $198,1 \text{ mg/kg}$ ), vzorky půd z odběrového místa J4 a J10 ( $c_{Pb} = 88,3$  až  $100,3 \text{ mg/kg}$ ) a vzorky půd z hloubek odběru 10 až 20 cm ( $c_{Pb} = 90,0 \text{ mg/kg}$ ) a 20 až 30 cm ( $c_{Pb} = 87,5 \text{ mg/kg}$ ) z odběrového místa J11.

Graf 14: Znázornění obsahu olova v půdách a sedimentech přítoků řeky Jihlavy



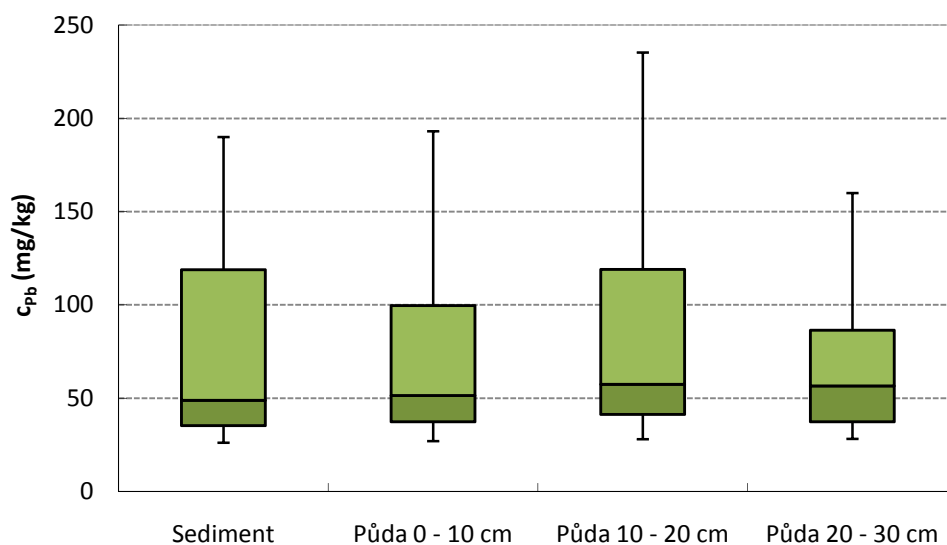
Obsahy olova v půdách a sedimentech přítoků řeky Jihlavy se nacházely v odběrových místech P1, P2, P3, P5, P8, P10, P11, P12 a P13 pod limitní hodnotou. Překročené limitní koncentrace byly naměřeny v odběrových místech P4, P6, P7 a P9. Nejnižší hodnoty jak u sedimentu, tak i u půd z hloubek odběru 0 až 10 cm, 10 až 20 cm i 20 až 30 cm byly naměřeny v odběrovém místě P2 ( $c_{Pb} = 26,3$  až  $28,2 \text{ mg/kg}$ ). Nejvyšších hodnot bylo naměřeno pro sedimenty v odběrovém místě P6 ( $c_{Pb} = 190,1 \text{ mg/kg}$ ) a pro všechny vzorky půd v odběrovém místě P7 ( $c_{Pb} = 299,0$  až  $313,9 \text{ mg/kg}$ ).

Graf 15: Znázornění rozptylu obsahu olova půd a sedimentů řeky Jihlavy podle zón



Z grafu 15 lze jednoznačně vyčíst, že rozptyl obsahu olova v sedimentech a půdách zóny B je výrazně větší oproti zóně A a C. Znázornění rozptylu obsahu olova v půdách a sedimentech přítoků řeky Jihlavy představuje graf 16.

Graf 16: Znázornění rozptylu obsahu olova půd a sedimentů přítoků řeky Jihlavy

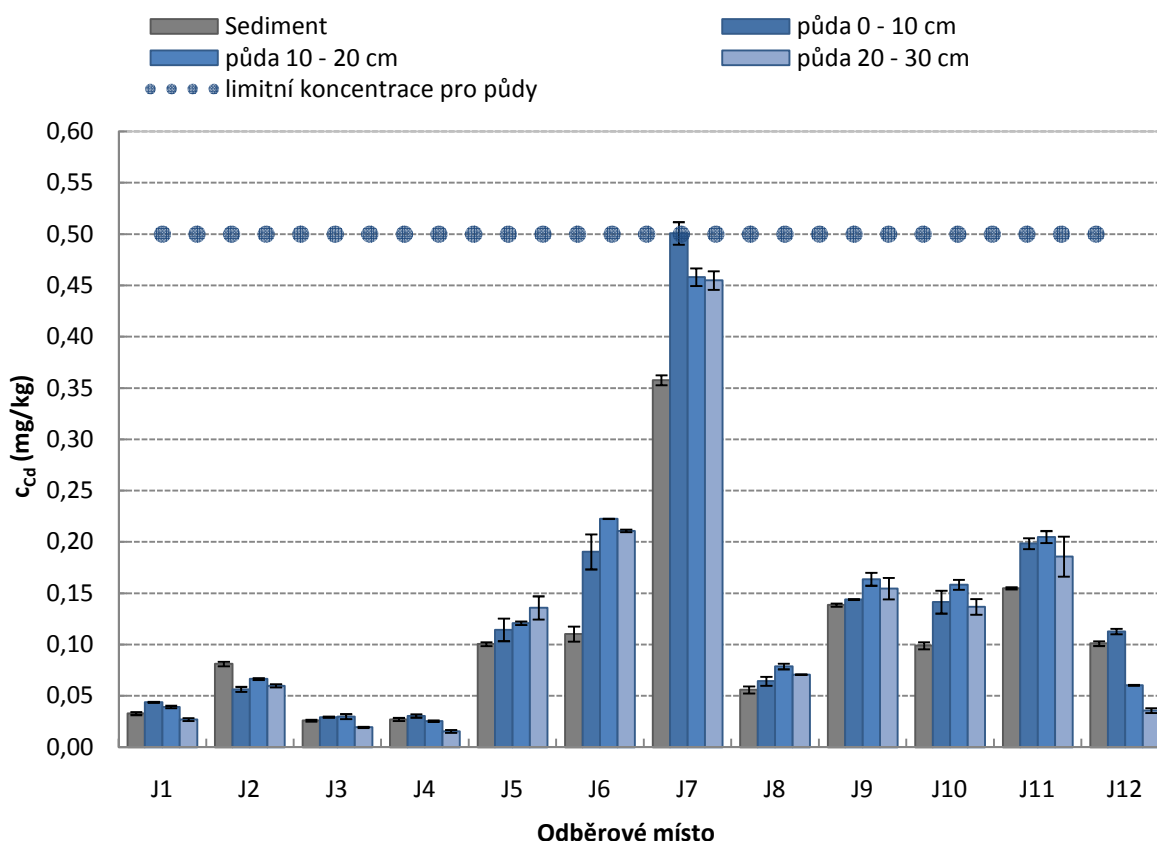


#### 4.4 Stanovení kadmia v extraktech půd a sedimentů

Stanovení obsahu kadmia v extraktech vzorků půd a sedimentů zředěnou kyselinou dusičnou proběhlo pomocí atomové absorpční spektrometrie s elektrotermickou atomizací dle pracovních postupů uvedených v kapitole 3.5. Z naměřených hodnot byla vypočítána střední hodnota množiny (medián) a směrodatná odchylka (smodch). Ty jsou uvedeny v tabulkách příloh 9 a 10.

V grafech 17 a 18 jsou znázorněny obsahy kadmia v odebraných vzorcích půd a sedimentů z jednotlivých odběrových míst, které jsou zde porovnány s limitní hodnotou pro obsah kadmia v půdě nezemědělského charakteru dle kritérií A – přirozených obsahů rizikových prvků v půdách dle Metodického pokynu 3/96 Ministerstva životního prostředí, která činí do 0,5 mg/kg sušiny. Limitní hodnota pro obsah kadmia v sedimentech dle Zákona č. 9/2009 Sb., ve znění pozdějších předpisů v grafu není uvedena, protože žádný ze vzorků sedimentů této hodnoty nedosáhl. Limitní hodnoty viz kapitola 2.6.

Graf 17: Znázornění obsahu kadmia v půdách a sedimentech řeky Jihlavy

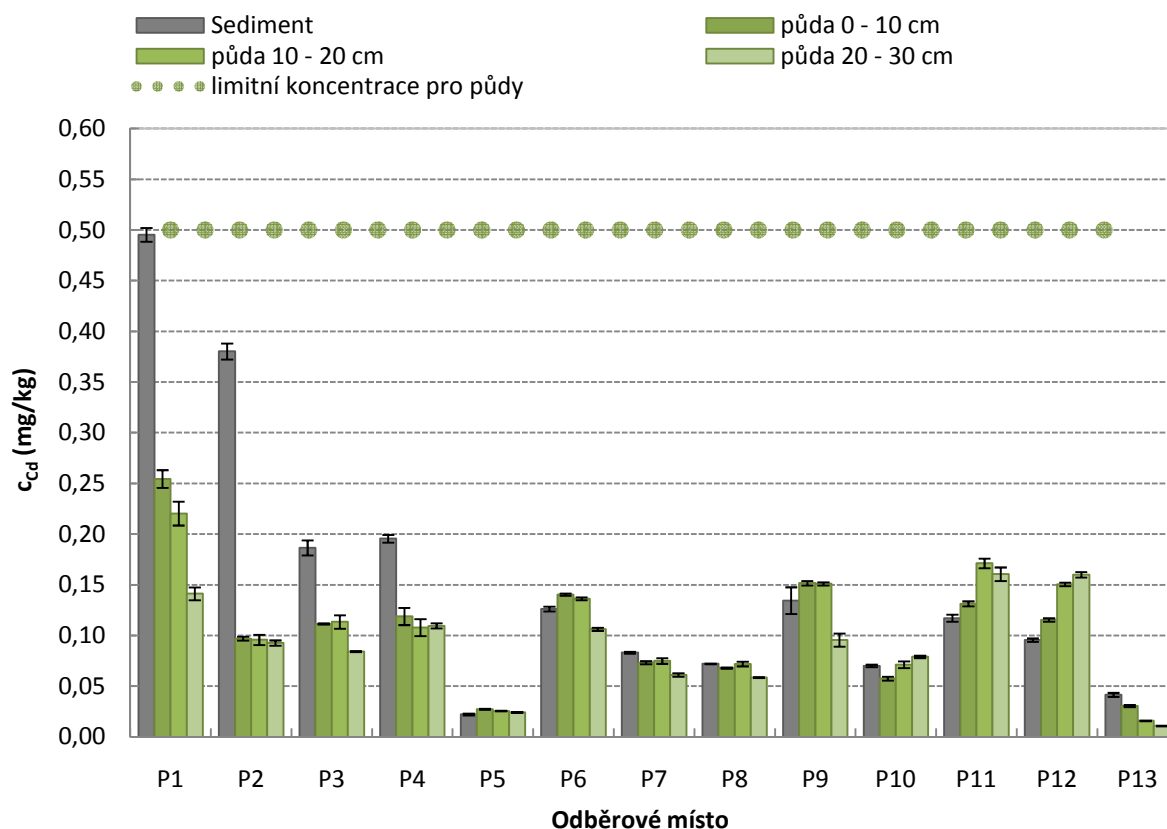


Velmi nízké obsahy kadmia v půdách a sedimentech řeky Jihlavy byly naměřeny v odběrových místech J1, J2, J3, J4, J8 a J12, mírně vyšší v odběrových místech J5, J6, J9, J10 a J11. Naopak zvýšený obsah kadmia v půdách a sedimentech řeky Jihlavy, ve srovnání



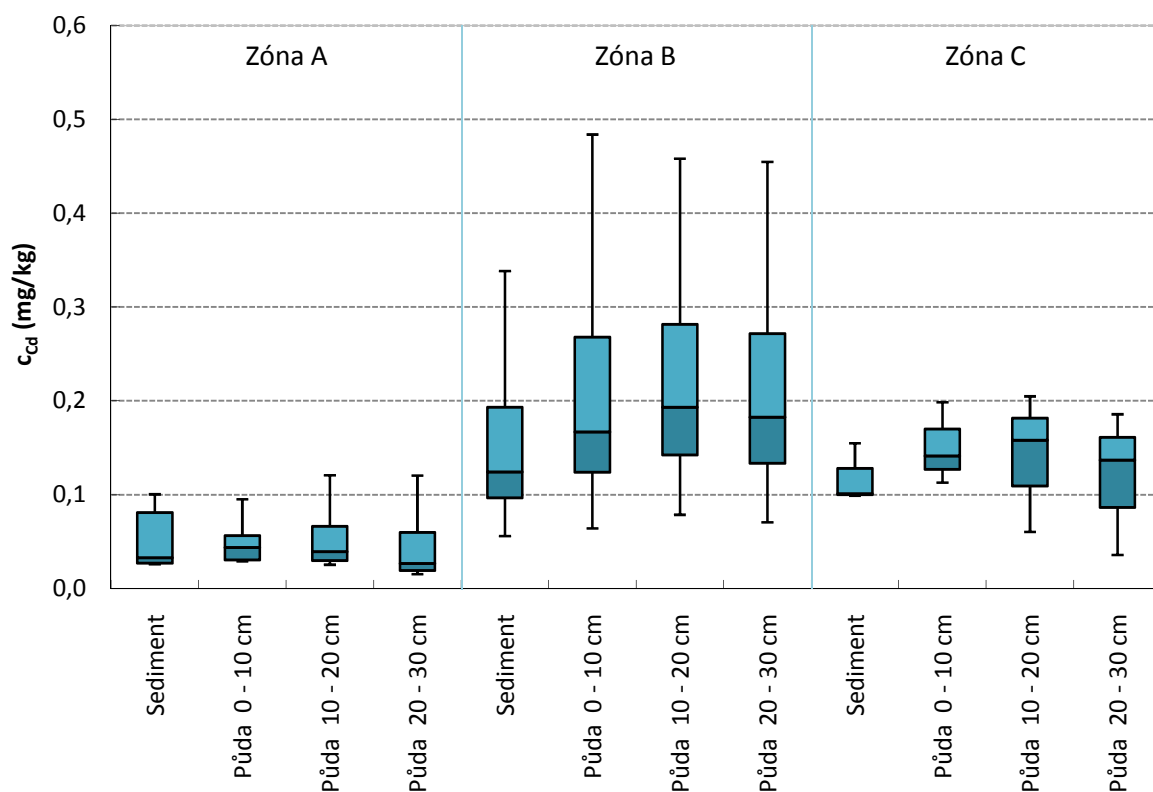
s ostatními hodnotami, byly naměřeny v odběrovém místě J7. Přičemž nejnižších hodnot ze sedimentů ( $c_{Cd} = 0,026$  mg/kg) a půdy z hloubky odběru 0 až 10 cm ( $c_{Cd} = 0,029$  mg/kg) dosáhly vzorky z odběrového místa J3 a půdy z hloubky 10 až 20 cm ( $c_{Cd} = 0,026$  mg/kg) a 20 až 30 cm ( $c_{Cd} = 0,016$  mg/kg) dosáhly vzorky z odběrového místa J4. Nejvyšších hodnot jak ze sedimentů ( $c_{Cd} = 0,358$  mg/kg), tak i z půd z hloubek odběru 0 až 10 cm ( $c_{Cd} = 0,501$  mg/kg), 10 až 20 cm ( $c_{Cd} = 0,458$  mg/kg) i 20 až 30 cm ( $c_{Cd} = 0,455$  mg/kg) dosáhly vzorky z odběrového místa J7, kde můžeme hovořit spíše o přiblížení se limitních hodnot než o jejich překročení.

Graf 18: Znázornění obsahu kadmia v půdách a sedimentech přítoků řeky Jihlavy



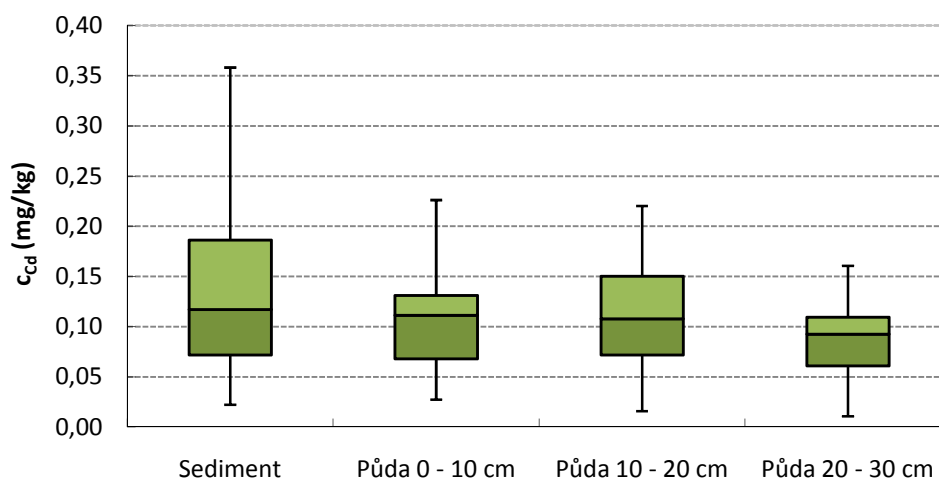
Nejnižší obsahy kadmia v půdách a sedimentech přítoků řeky Jihlavy byly naměřeny v odběrových místech P5 a P13, mírně vyšší pak u všech zbývajících. Zvýšený obsah kadmia lze pozorovat pouze u vzorků sedimentů z odběrových míst P1 a P2. Nejnižších hodnot jak u sedimentu, tak i u půdy z hloubky odběru 0 až 10 cm byly naměřeny v odběrovém místě P5 ( $c_{Cd} = 0,022$  a  $0,027$  mg/kg) a u půd z hloubek odběru 10 až 20 cm a 20 až 30 cm pak v odběrovém místě P13 ( $c_{Cd} = 0,016$  a  $0,011$  mg/kg). Nejvyšších hodnot bylo naměřeno ze sedimentů ( $c_{Cd} = 0,495$  mg/kg) a z půd z hloubek odběru 0 až 10 cm ( $c_{Cd} = 0,254$  mg/kg) a 10 až 20 cm ( $c_{Cd} = 0,220$  mg/kg) v odběrovém místě P1 a z půd z hloubek 20 až 30 cm ( $c_{Cd} = 0,161$  mg/kg) v odběrovém místě P11.

Graf 19: Znázornění rozptylu obsahu kadmia půd a sedimentů řeky Jihlavy podle zón



V grafu 19, kde jsou znázorněny nejvýznamnější rozptyly obsahů kadmia ve vzorcích půd a sedimentů řeky Jihlavy podle zón A, B a C, je zřetelné, že rozptyl obsahu kadmia, podobě jako u rozptylů obsahů mědi a olova, v sedimentech a půdách v zóně B (v aglomeraci města Jihlavy) je větší oproti zóně A a C. Znázornění rozptylu obsahu kadmia v sedimentech a půdách přítoků řeky Jihlavy představuje graf 20, kde je viditelný zvýšený rozptyl obsahu kadmia u sedimentů oproti půdě.

Graf 20: Znázornění rozptylu obsahu kadmia půd a sedimentů přítoků řeky Jihlavy

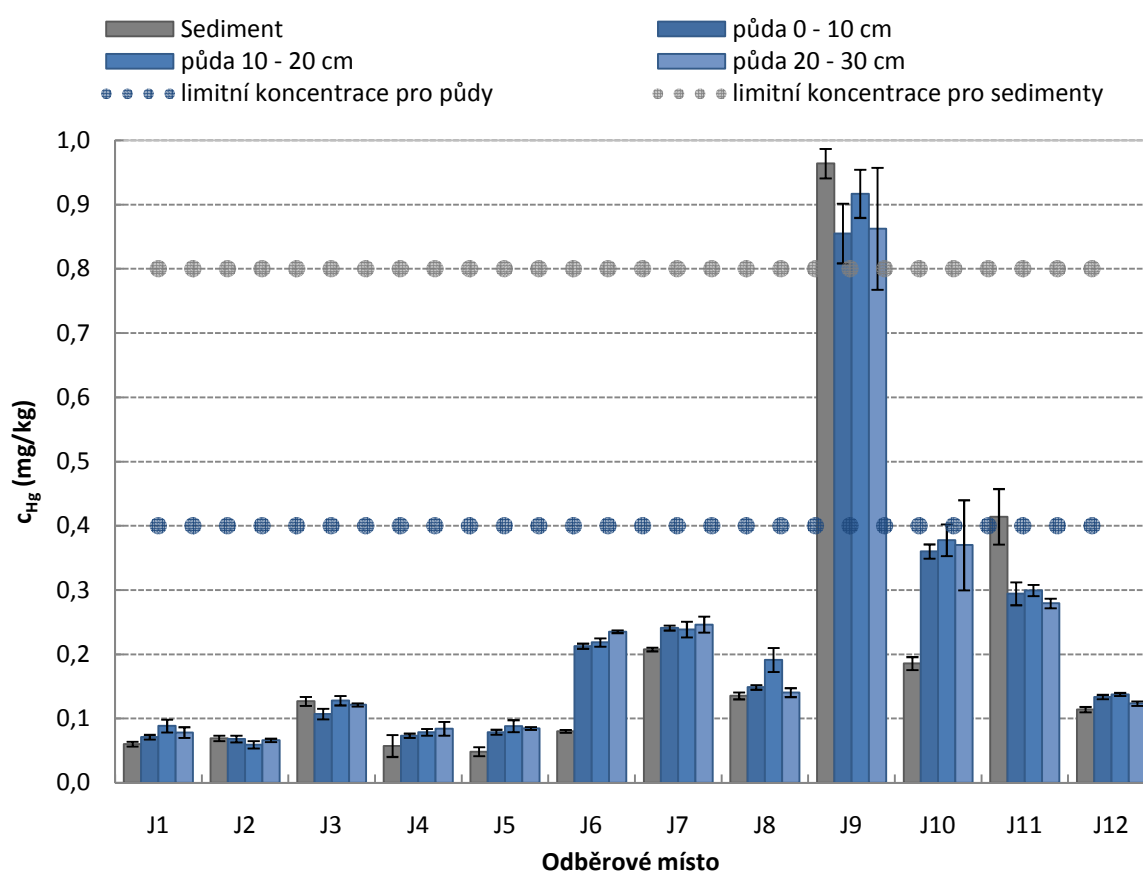


#### 4.5 Stanovení rtuti ve vzorcích půd a sedimentů

Stanovení obsahu rtuti ve vzorcích půd a sedimentů proběhlo pomocí jednoúčelového atomového absorpčního spektrometru pro stanovení rtuti (AMA 254) dle pracovních postupů uvedených v kapitole 3.6. Z naměřených hodnot byla vypočítána střední hodnota množiny (medián) a směrodatná odchylka (smodch). Ty jsou uvedeny v tabulkách příloh 11 a 12.

Pomocí grafů 21 a 22 jsou znázorněny obsahy rtuti v odebraných vzorcích půd a sedimentů z jednotlivých odběrových míst, které jsou zde porovnány s limitní hodnotou pro obsah rtuti v půdě nezemědělského charakteru dle kritérií A – přirozených obsahů rizikových prvků v půdách dle Metodického pokynu 3/96 Ministerstva životního prostředí, která činí do 0,4 mg/kg sušiny, a limitní hodnotou pro obsah rtuti v sedimentech dle Zákona č. 9/2009 Sb., ve znění pozdějších předpisů, která činí do 0,8 mg/kg sušiny. Limitní hodnoty viz kapitola 2.6.

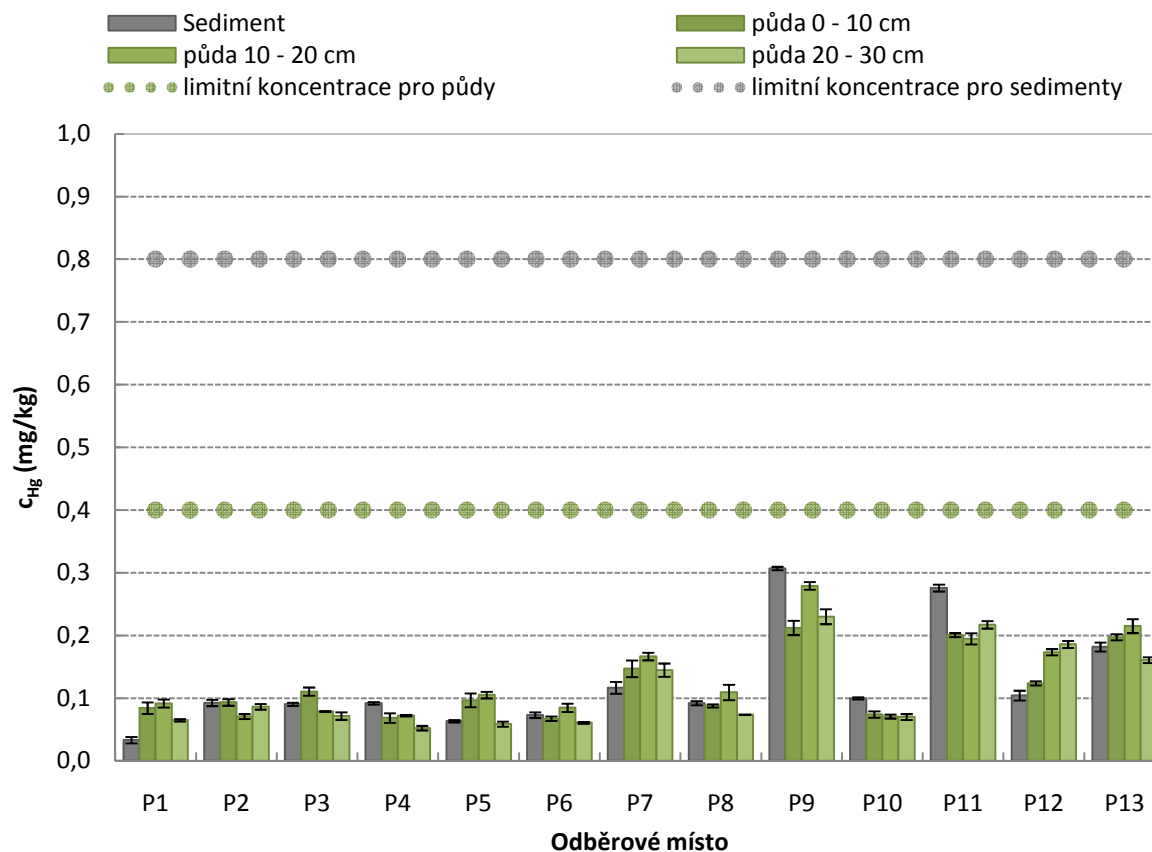
Graf 21: Znázornění obsahu rtuti v půdách a sedimentech řeky Jihlavy



Obsahy rtuti pod limitní hodnotou v půdách a sedimentech řeky Jihlavy byly naměřeny téměř ve všech odběrových místech, z nichž mírně vyšší charakter měly vzorky z odběrových míst J6, J7, J10 a J11. Zvýšený obsah rtuti v půdách a sedimentech řeky

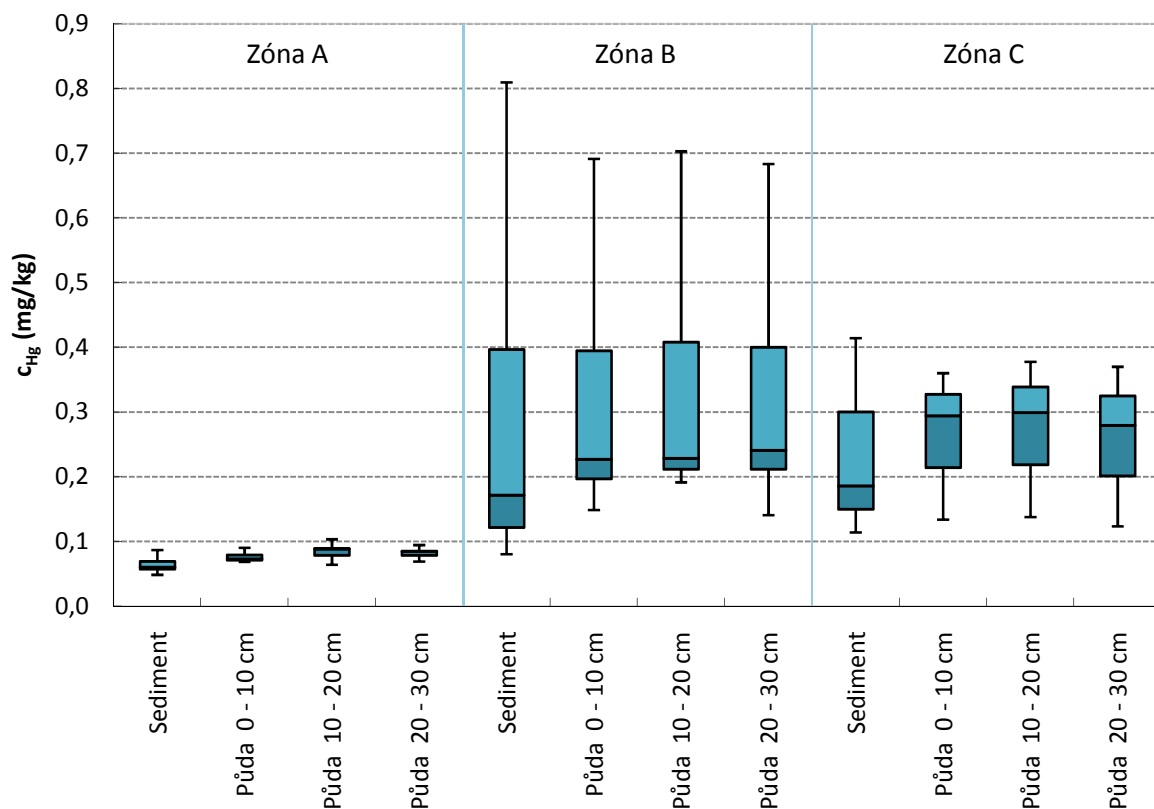
Jihlavy s překročením limitních hodnot a dosažením nejvyšších hodnot na řece Jihlavě byl naměřen jen v odběrovém místě J9 ( $c_{\text{Hg}}$  od 0,86 do 0,96 mg/kg). Nejnižší hodnoty ze sedimentů dosáhl vzorek z odběrového místa J5 ( $c_{\text{Hg}} = 0,06$  mg/kg), z půd z hloubek odběrů 0 až 10 cm, 10 až 20 cm a 20 až 30 cm dosáhly vzorky z odběrového místa J2 ( $c_{\text{Hg}}$  0,06 až 0,07 mg/kg).

Graf 22: Znázornění obsahu rtuti v půdách a sedimentech přítoků řeky Jihlavy



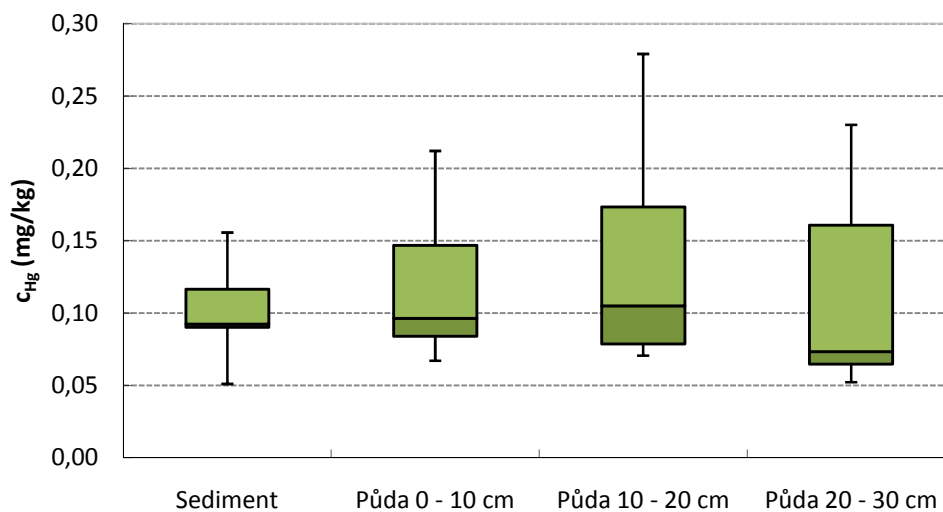
Nejnižší obsahy rtuti v půdách a sedimentech přítoků řeky Jihlavy byly naměřeny v odběrových místech P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8 a P10, mírně vyšší v odběrových místech P9, P11, P12 a P3. Přičemž nejnižších hodnot ze sedimentů dosáhl vzorek z odběrového místa P1 ( $c_{\text{Hg}} = 0,03$  mg/kg), z půd z hloubky odběru 0 až 10 cm vzorek z odběrového místa P6 ( $c_{\text{Hg}} = 0,07$  mg/kg), 10 až 20 cm vzorek z odběrového místa P2 ( $c_{\text{Hg}} = 0,07$  mg/kg) a 20 až 30 cm dosáhl vzorek z odběrového místa P4 ( $c_{\text{Hg}} = 0,05$  mg/kg). Nejvyšších hodnot jak ze sedimentů, tak i z půd z hloubek odběru 0 až 10 cm, 10 až 20 cm i 20 až 30 cm dosáhly vzorky z odběrového místa P9 ( $c_{\text{Hg}} = 0,21$  až 0,31 mg/kg). Žádný ze vzorků nepřesáhl limitní hodnoty.

Graf 23: Znázornění rozptylu obsahu rtuti půd a sedimentů řeky Jihlavy podle zón



Z grafu 23, ve kterém jsou znázorněny nejvýznamnější rozptyly obsahů rtuti ve vzorcích půd a sedimentů řeky Jihlavy podle zón A, B a C, lze jednoznačně vyčíst, že rozptyl obsahu rtuti v sedimentech a půdách v zóně B (v aglomeraci města Jihlavy) je výrazně větší oproti zóně A. Zóně C lze také přisoudit zvýšené obsahy rtuti. Podobné znázornění rozptylu obsahu rtuti v půdách a sedimentech přítoků řeky Jihlavy představuje graf 24.

Graf 24: Znázornění rozptylu obsahu rtuti půd a sedimentů přítoků řeky Jihlavy



#### 4.6 Charakterizace znečištění půd studované lokality pomocí IPI indexu

Pro posouzení úrovně kontaminace půd vzorkovaných lokalit byl zvolen integrovaný index znečištění (viz kapitola 2.7). Nejprve byly vypočítány indexy znečištění pro každý sledovaný prvek a vzorek půdy ( $PI_M$ ) dle:

$$PI_M = \frac{c_M}{c_L}, \quad (9)$$

do kterého za  $c_M$  byly dosazovány naměřené koncentrace sledovaného prvku ve vzorku a za  $c_L$  byly dosazovány limitní koncentrace dle kritérií A – přirozených obsahů rizikových prvků v půdách dle Metodického pokynu 3/96 MŽP. Poté byly vytvořeny integrované indexy znečištění pro každé odběrové místo a sledovaný prvek dle následujícího vzorce:

$$IPI_M = \frac{1}{3} (PI_{M_{0-10\text{ cm}}} + PI_{M_{10-20\text{ cm}}} + PI_{M_{20-30\text{ cm}}}). \quad (10)$$

Získali jsme tak  $IPI_{M(J1-J12)}$  a  $IPI_{M(P1-P13)}$ , z nichž byly dále vypočítány integrované indexy znečištění charakterizující znečištění pro každé odběrové místo na řece Jihlavě ( $IPI_J$ ), a tak i přítoků řeky Jihlavy ( $IPI_P$ ) dle následujícího vzorce:

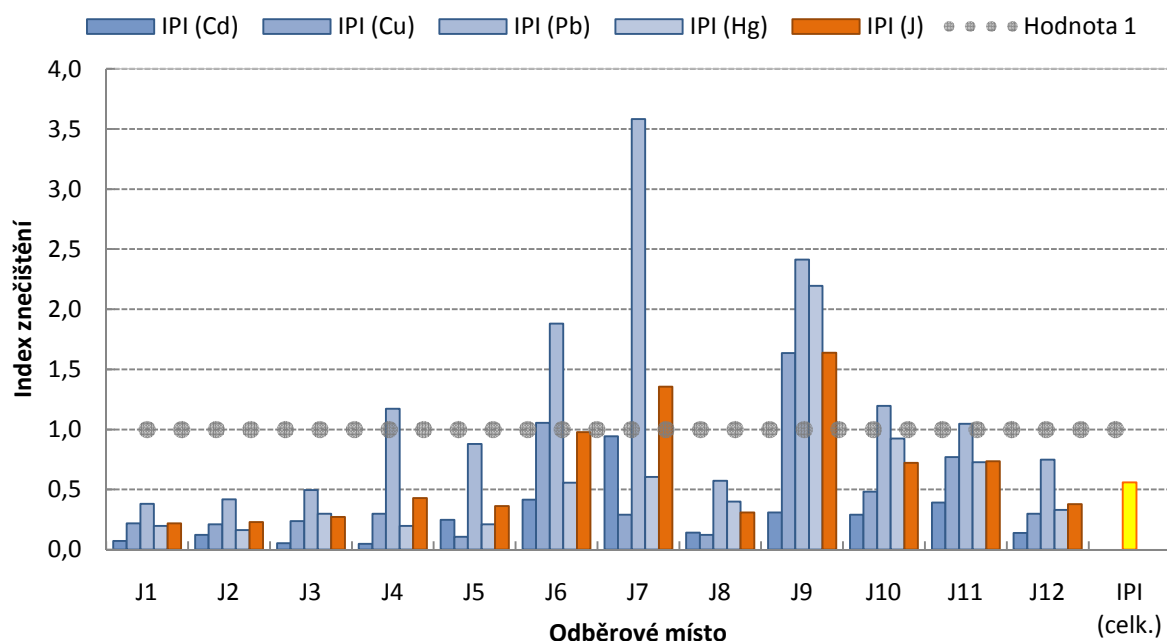
$$IPI_{J/P} = \frac{1}{4} (IPI_{Cd} + IPI_{Cu} + IPI_{Pb} + IPI_{Hg}). \quad (11)$$

Na závěr byl ještě spočítán celkový integrovaný index znečištění charakterizující zatížení celé studované lokality rizikovými prvky dle následujícího vzorce:

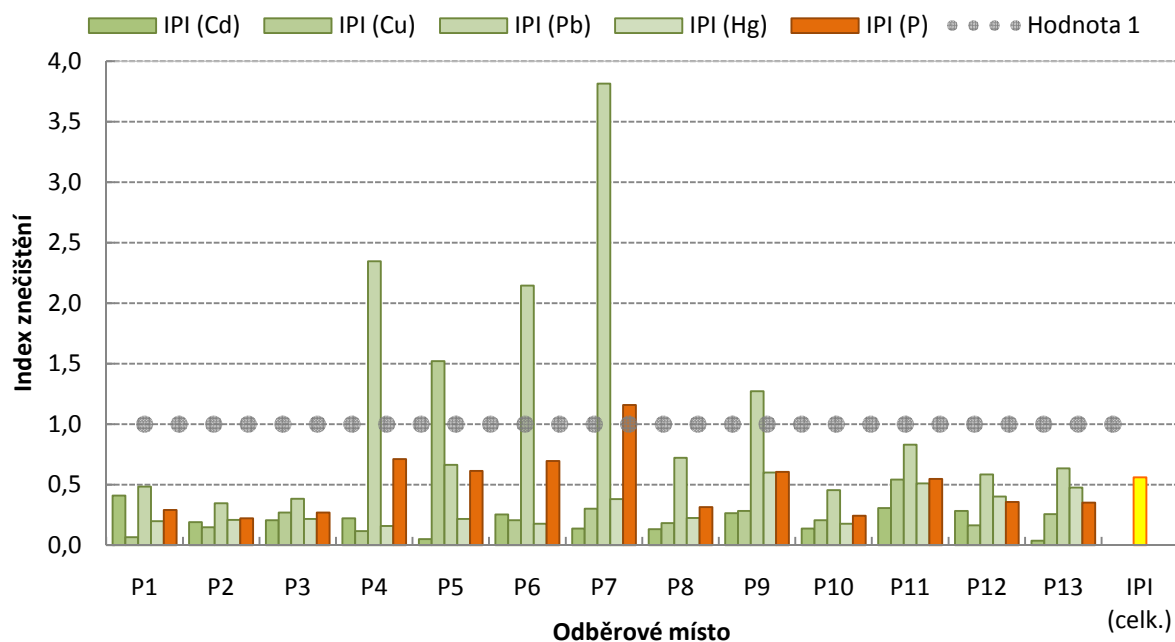
$$IPI_{celk.} = \sum \frac{1}{25} (IPI_{J1} + IPI_{J2} + \dots + IPI_{J12} + IPI_{P1} + IPI_{P2} + \dots + IPI_{P13}). \quad (12)$$

Výsledný  $IPI_{celk.}$  dosáhl hodnoty 0,561. Ostatní vypočítané integrované indexy znečištění ( $IPI_{M(J1-J12)}$ ,  $IPI_{M(P1-P13)}$ ,  $IPI_J$  a  $IPI_P$ ) jsou uvedeny v přílohách 13 a 14. Jejich grafické znázornění je představeno grafy 25 a 26, ve kterých jsou výsledné hodnoty integrovaných indexů znečištění porovnávány s hodnotou 1, znázorňující sjednocené limitní hodnoty nebo také vytváří předěl mezi kategorií nízké úrovně znečištění ( $IPI \leq 1$ ) a ostatními kategoriemi – mírný stupeň znečištění ( $1 < IPI \leq 2$ ), vysoká úroveň znečištění ( $2 < IPI \leq 5$ ), extrémně vysoká úroveň znečištění ( $IPI > 5$ ) dle klasifikační stupnice integrovaných indexů znečištění uvedené v kapitole 2.7.2.

Graf 25: Znárodnění indexů znečištění půd řeky Jihlavy



Graf 26: Znárodnění indexů znečištění půd přítoků řeky Jihlavy



Dle vypočítaných a znázorněných integrovaných indexů znečištění při porovnání s hodnotou 1, která přeneseně charakterizuje limitní hodnoty, lze vyčíst, že zatížení většiny odběrových míst studované lokality rizikovými prvky se nachází v hodnotách (pod nebo těsně kolem hodnoty 1), které odpovídají jejich přirozenému výskytu v půdách nezemědělského charakteru. Celkové zatížení půd rizikovými prvky studované lokality,

vycházející z  $IPI_{celk}$ , lze též charakterizovat oblastí přirozeného výskytu těchto prvků v půdách nezemědělského charakteru. Tedy dle klasifikační stupnice znečištění podle integrovaného indexu znečištění (viz kapitola 2.7.2) můžeme říci, že ve studované lokalitě je nízká úroveň znečištění.

Pouze v některých odběrových místech byl zaznamenán zvýšený obsah sledovaných prvků. Na řece Jihlavě se to týká těchto odběrových míst nacházejících se v zóně B:

- J7 – integrovaný index znečištění odběrového místa  $IPI_{J7} = 1,356$  odpovídající mírnému stupni znečištění, který obsahoval zvýšený index  $IPI_{PB} = 3,584$  značící vysokou úroveň znečištění olovem;
- J9 – integrovaný index znečištění odběrového místa  $IPI_{J9} = 1,639$  (mírný stupeň znečištění), se zvýšenými indexy  $IPI_{Cu} = 1,636$  značící mírný stupeň znečištění mědí,  $IPI_{PB} = 2,414$  značící vysokou úroveň znečištění olovem a  $IPI_{Hg} = 2,196$  značící vysokou úroveň znečištění rtutí.

U odběrů přítoků řeky Jihlavy byl zvýšený obsah sledovaných prvků zjištěn v jednom odběrovém místě:

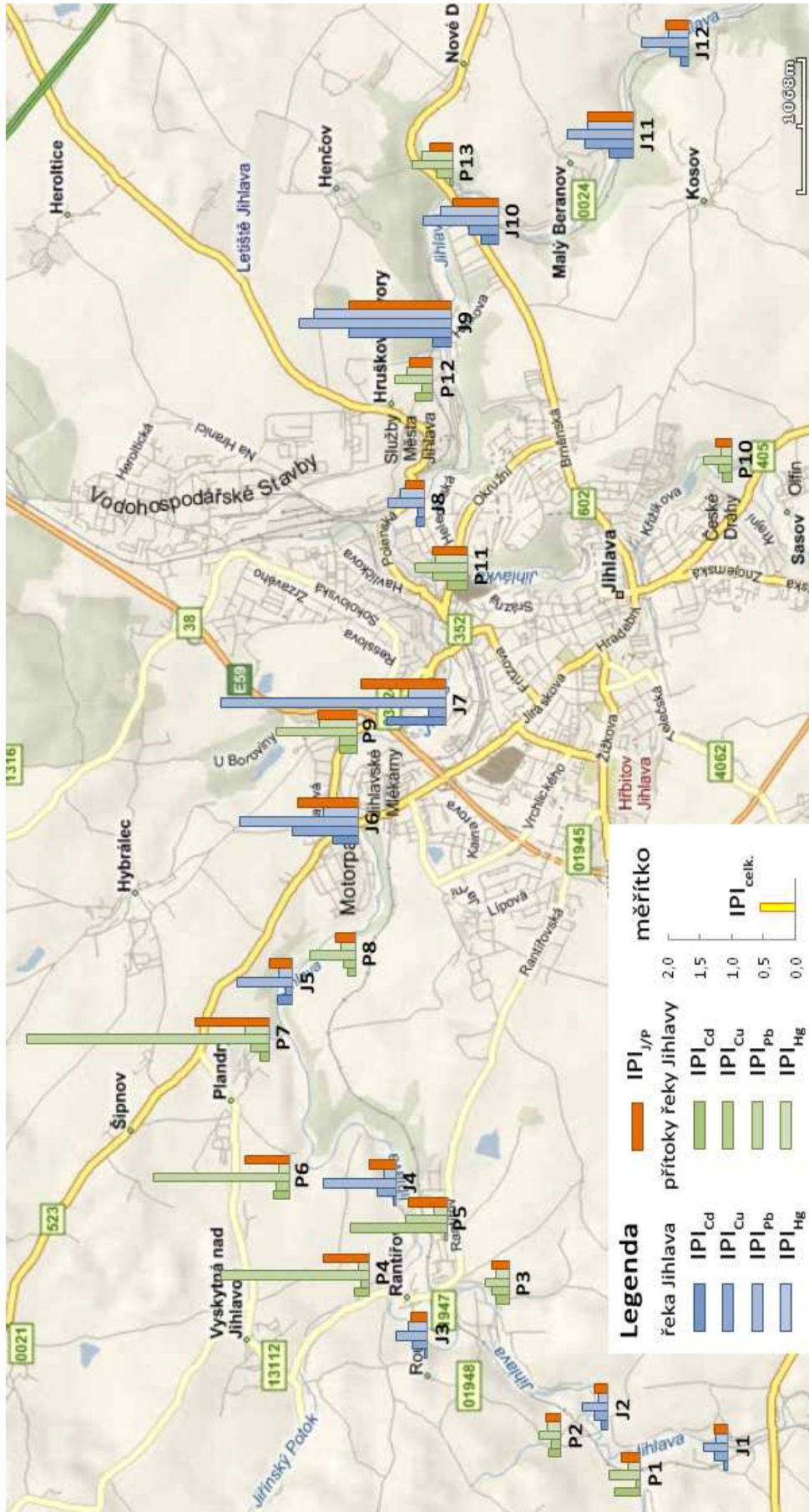
- P7 s integrovaným indexem znečištění odběrového místa  $IPI_{P7} = 1,160$  značící mírný stupeň znečištění (nad hodnotou 1 ale pouze  $IPI_{PB} = 3,814$  značící vysokou úroveň znečištění olovem).

Případně zvýraznit můžeme i odběrová místa, kde sice jejich index znečištění pro odběrové místo nepřesáhl hodnotu 1, ale bylo zjištěno lokální znečištění konkrétním rizikovým prvkem. Výčet těchto odběrových míst je následující:

- J4 ( $IPI_{PB} = 1,172$  značící mírný stupeň znečištění),
- J6 ( $IPI_{Cu} = 1,054$  značící mírný stupeň znečištění mědí a  $IPI_{PB} = 1,882$  značící mírný stupeň znečištění olovem),
- J10 ( $IPI_{PB} = 1,196$  značící mírný stupeň znečištění olovem),
- J11 ( $IPI_{PB} = 1,047$  značící mírný stupeň znečištění olovem),
- P4 ( $IPI_{PB} = 2,346$  značící vysokou úroveň znečištění olovem),
- P5 ( $IPI_{Cu} = 1,522$  značící mírný stupeň znečištění mědí),
- P6 ( $IPI_{PB} = 2,147$  značící vysokou úroveň znečištění olovem) a
- P9 ( $IPI_{PB} = 1,272$  značící mírný stupeň znečištění olovem).

Rozložení zátěže rizikovými prvky charakterizované pomocí integrovaných indexů znečištění v Jihlavě a jejího okolí, resp. vybraného úseku řeky Jihlavy, můžeme vidět na obrázku 15.





Obrázek 15: Celkový pohled na míru zátěže vybranými rizikovými prvky studované lokality

## 5 ZÁVĚR

Diplomová práce pojednává o půdách a sedimentech v našem životním prostředí. Řeší jejich znečištění s profilací na distribuci a transport rizikových prvků. Ve studované lokalitě, Jihlavě a jejího okolí, byly v období srpna až září roku 2010 odebrány vzorky půd a sedimentů řeky Jihlavy a jejích přítoků v úseku začínající u obce Dvorce, přibližně 10 km před vstupem řeky do města Jihlavy, a končící u obce Bradlo, přibližně 5 km od vyústění řeky z města Jihlavy. Celkem se jedná o 25 odběrových míst, přičemž z každého odběrového místa byly získány 3 směsné vzorky půdy a 1 vzorek sedimentu, dohromady tedy 100 vzorků půd a sedimentů.

Ve všech získaných vzorcích byla zjištěna hodnota pH a stanoveny obsahy vybraných rizikových prvků – kadmia, mědi, olova a rtuti. V extraktech vzorků 2M kyselinou dusičnou proběhlo stanovení kadmia s využitím atomové absorpční spektrometrie s elektrotermickou atomizací, mědi a olova s využitím atomové absorpční spektrometrie s plamenovou atomizací. Stanovení rtuti ve vzorcích půd a sedimentů proběhlo s využitím jednoúčelového analyzátoru rtuti AMA 254.

Pro lepší orientaci a hodnocení výsledků byla studovaná lokalita vybraného úseku řeky Jihlavy pomyslně rozdělena do tří zón (A, B a C). Zóna A má za úkol charakterizovat odběry před městem Jihlavou, resp. od kraje města proti proudu řeky. Zóna B charakterizuje odběry v aglomeraci města Jihlavy a zóna C odběry za městem Jihlavou, resp. od druhého kraje města dále po proudu řeky.

Hodnoty pH vzorků půd a sedimentů se nacházejí v mírně až středně kyselé oblasti. Všeobecně nejvyšších hodnot pH (průměrně kolem hodnoty pH 6,0) dosahují sedimenty. Nižších hodnot pH pak dosahují vzorky půd se sestupnou tendencí společně se zvyšující se hloubkou odběru (nejnižší hodnoty pH přibližně kolem 4,2). Významně snížené hodnoty pH ukazovaly vzorky přítoků řeky Jihlavy v odběrových místech P1 a P2.

Výsledky stanovení vybraných rizikových prvků v odebraných půdách a sedimentů řeky Jihlavy poukázaly na všeobecně zvýšené hodnoty koncentrací kadmia, mědi, olova i rtuti v zóně B oproti zónám A a C. Lze tedy konstatovat, že vliv městské aglomerace Jihlavy má jistý vliv na znečištění řeky Jihlavy v úseku, kde řeka městem protéká. Nejhorší výsledky, resp. přesáhnutí limitních obsahů rizikových prvků v půdách (podle kritérií A – přirozených obsahů rizikových prvků v půdách dle Metodického pokynu 3/96 Ministerstva životního prostředí) a sedimentech (dle Zákona č. 9/2009 Sb., ve znění pozdějších předpisů) v zóně B ukázaly vzorky z odběrových míst J6 (zvýšená koncentrace olova), J7 (zvýšená koncentrace olova) a J9 (zvýšená koncentrace mědi, olova a rtuti).

Všechny výsledky stanovení rizikových prvků v půdách řeky Jihlavy v zónách A a C se pohybovaly v oblasti kritérií A – přirozených obsahů rizikových prvků v půdách dle Metodického pokynu 3/96 Ministerstva životního prostředí. Stejně tak i vzorky sedimentů řeky Jihlavy v zónách A a C nepřekročili limitní hodnotu koncentrací škodlivin ve vytěžených zeminách a vytěžených hlušínách, včetně sedimentů z vodních nádrží a koryt vodních toků dle Zákona č. 9/2009 Sb., ve znění pozdějších předpisů. Podobné výsledky ukazovali i vzorky půd a sedimentů přítoků řeky Jihlavy. Překročení limitních hodnot bylo zjištěno pouze u olova a to v odběrových místech P4, P6 a P7 a u mědi v odběrovém místě P5.

Při celkovém hodnocení výsledků celé studované lokality Jihlavy a jejího okolí, lze konstatovat, že zatížení půd zájmového území rizikovými kovy se většinou nachází v oblasti přirozených obsahů těchto rizikových prvků v půdách. I když v některých lokalitách byly překročeny limitní hodnoty, dle vypočítaného celkového integrovaného indexu znečištění, který dosáhl hodnoty 0,561, je celkově kontaminace půd rizikovými prvky klasifikována nízkou úrovní znečištění (IPI < 1). Kontaminace půdy na území města Jihlavy a jejího okolí při řece Jihlavě tedy není závažná a alarmující. Ovšem je důležité nezanedbat snahu o snižování všech možných množství emisí škodlivých látek či produkci odpadů a nadále monitorovat všechny složky životního prostředí, zejména v poukázaných oblastech na zvýšené zatížení rizikovými prvky.

## 6 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] ŠKÁRKA, Bohumil; POLÍVKA, Ľudovít; FENDRICH, Emil; HOSTÍN, Stanislav; LACUŠKA, Miroslav. *Environmentálna chémia*. 1. vyd. Bratislava: Slovenská technická univerzita, 2003. 163 s. ISBN 80-227-1973-0.
- [2] WITTLINGEROVÁ, Zdena; JONÁŠ, František. *Ochrana životního prostředí*. 2. Vyd. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, Lesnická fakulta, Katedra ekologie, 2002. 132 s. ISBN 80-213-0754-4.
- [3] *Chemie životního prostředí III.: Pedosféra – Půdotvorné procesy* [online]. Vydáno 2007 [cit. 2010-03-24]. Dostupný z WWW: <<http://www.recetox.muni.cz/res/file/prednasky/holoubek/chzp-iii/chzp-iii-pedosfera-04-pudotvorne-procesy-huminifikace.pdf>>.
- [4] POPL, Milan; FÄHNRIK, Jan. *Analytická chemie životního prostředí*. 4. vyd. Praha: VŠCHT, 1999. 218 s. ISBN 80-708-0336-3.
- [5] *Chemie životního prostředí III.: Pedosféra – Složení a vlastnosti půd* [online]. Vydáno 2007 [cit. 2010-03-24]. Dostupný z WWW: <<http://www.recetox.muni.cz/res/file/prednasky/holoubek/chzp-iii/chzp-iii-pedosfera-06-slozeni-a-vlastnosti-pud.pdf>>.
- [6] BENEŠ, Stanislav. *Obsahy a bilance prvků ve sférách životního prostředí. Část 1: Obsahy, akumulace a kritéria hodnocení prvků v zemědělských půdách*. 1. vyd. Praha: Ministerstvo zemědělství České republiky v Agrospojii, 1993. 88 s. ISBN 80-7084-051-X.
- [7] BENEŠ, Stanislav. *Obsahy a bilance prvků ve sférách životního prostředí. Část 2: Vstupy prvků do půd zvětráváním hornin, atmosférickými spady, aplikací hnojiv a ostatních surovin ve srovnání s výstupy erozní činností, podzemními vodami a sklizní zemědělských plodin*. 1. vyd. Praha: Ministerstvo zemědělství České republiky v Agrospojii, 1994. 159 s. ISBN 80-7084-090-0.
- [8] *Chemie životního prostředí III.: Pedosféra – Znečištění půd* [online]. Vydáno 2007 [cit. 2010-03-24]. Dostupný z WWW: <<http://www.recetox.muni.cz/res/file/prednasky/holoubek/chzp-iii/chzp-iii-pedosfera-07-znecistenipud.pdf>>.
- [9] PITTER, Pavel. *Hydrochemie*. 2., přeprac. a rozš. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1990. 565 s. ISBN 80-03-00525-6
- [10] MANAHAN, E., Stanley. *Fundamentals of Environmental Chemistry*. 2<sup>nd</sup> ed. CRC Press, 2001. 315 p. ISBN 978-1-56670-491-5.
- [11] KUKAL, Zdeněk. *Geologie recentních sedimentů*. 1. vyd. Praha: Československá akademie věd, 1964. 444 s. ISBN 2058-21-101-64.

- [12] KVĚT, Radvan. *Geochemické metody při výzkumu sedimentů*. Olomouc: Vlastivědný ústav, 1970. 152 s.
- [13] HAAG, Ingo; KERN, Ulrich; WESTRICH, Bernhard. *Erosion investigation and sediment quality measurements for a comprehensive risk assessment of contaminated aquatic sediments*. The Science of The Total Environment. 2001, 266, s. 249-257.
- [14] KOSTURA, Bruno; GREGOROVÁ, Miloslava. *Základy chemie pro bakalářské obory*. 2. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2004. 152 s. ISBN 80-248-0565-0.
- [15] ČÍŽEK, Zdeněk. *Těžké kovy: sborník referátů*. Praha: BIJO, 1993. 107 s. ISBN 80-248-0565-0.
- [16] TREBICHA VSKÝ, Jan; HAVRDOVÁ, Dagmar; BLOHBERGER, Milan. *Toxické kovy*. 1. vyd. Kutná Hora: NSO, 1998. 483 s.
- [17] KAFKA, Zdeněk; PUNČOCHÁŘOVÁ, Jana. *Těžké kovy v přírodě a jejich toxicita*. Chemické listy: 2002. Roč. 96, č. 7, s. 611–617. ISSN 1213-7103.
- [18] BENCKO, Vladimír; CIKRT, Miroslav; LENER, Jaroslav. *Toxické kovy v životním a pracovním prostředí člověka*. 2. přepr. a dopl. vyd. Praha: Grada Publishing, 1995. 282 s. ISBN 80-716-9150-x.
- [19] TICHÝ, Miloň. *Toxikologie pro chemiky: toxikologie obecná, speciální, analytická a legislativa*. 2. vyd. Praha: Karolinum, Učební texty Univerzity Karlovy v Praze, 2003. 119 s. ISBN 80-246-0566-x.
- [20] SKERFVING, S.: *Heavy metal toxicology*. Applied Radiation and Isotopes. 1998. Vol. 49, No. 5/6, p. 697.
- [21] BRADL, H. B. *Heavy metals in the environment*. Elsevier LTD. London: 2005. Volume 6. ISBN 0-12-088381-3.
- [22] Metodický pokyn 3/96 Ministerstva životního prostředí České republiky: Kritéria znečištění zemin a podzemní vody.
- [23] Vyhláška č. 13/1994 sb., kterou se upravují některé podrobnosti ochrany zemědělského půdního fondu, ve znění pozdějších předpisů.
- [24] Zákon č. 9/2009 Sb., ve znění pozdějších předpisů, část IV., kterou se mění Zákon č. 185/2001 Sb., o odpadech, ve znění pozdějších předpisů, příloha č. 9: Limitní hodnoty koncentrací škodlivin ve vytěžených zeminách a vytěžených hlušínách, včetně sedimentů z vodních nádrží a koryt vodních toků.
- [25] ČSN ISO 10381-1: Kvalita půdy - Odběr vzorků: Pokyny pro návrh programů odběru vzorků.
- [26] ČSN ISO 5667-12: Jakost vod - Odběr vzorků: Pokyny pro odběr vzorků dnových sedimentů.

- [27] ČSN ISO 11464: Kvalita půdy – Příprava vzorků pro fyzikálně-chemické rozbory.
- [28] ČURDOVÁ, Eva; TVRDÍKOVÁ, Monika. *Metodický návod pro stanovení kovů v půdě*. Praha: Státní zdravotní ústav, 1994. 28 s. ISSN 0862-5956.
- [29] ČSN ISO 11465: Kvalita půdy - Stanovení hmotnostního podílu sušiny a hmotnostní vlhkosti půdy - Gravimetrická metoda.
- [30] ČSN ISO 10390: Kvalita půdy - Stanovení pH.
- [31] SOMMER, Lumír. *Základy analytické chemie II*. 1. vyd. Brno: VUTIUM, 2000. 347 s. ISBN 80-214-1742-0.
- [32] DASTYCH, Milan. *Instrumentální technika*. 1. vyd. Brno: Masarykova univerzita, Lékařská fakulta, 2007. 131 s. ISBN 978-80-210-4226-1.
- [33] KLOUDA, Pavel. *Moderní analytické metody*. 2. vyd. Ostrava: Pavel Klouda, 2003. 132 s. ISBN 80-86369-07-2.
- [34] *Atomic Absorption Spectroscopy* [online]. 2006 [cit. 2011-04-24]. NMSU Board of Regents. Dostupné z WWW: <<http://www.chemistry.nmsu.edu/Instrumentation/AAS1.html>>.
- [35] KOMÁREK, Josef. *Atomová absorpční spektrometrie*. 1. vyd. Brno: Masarykova univerzita, 2000. 85 s. ISBN 80-210-2500-x.
- [36] ČERNOHORSKÝ, Tomáš; JANDERA, Pavel. *Atomová spektroskopie*. 1. vyd. Pardubice: Univerzita Pardubice, 1997. 218 s. ISBN 80-719-4114-x.
- [37] *Atomic Absorption Spectroscopy: Instrumental* [online]. [cit. 2010-04-17]. Dostupný z WWW: <[http://faculty.sdmiramar.edu/fgarces/LabMatters/Instruments/AA/AAS\\_Instrument/AASInstruments.htm](http://faculty.sdmiramar.edu/fgarces/LabMatters/Instruments/AA/AAS_Instrument/AASInstruments.htm)>.
- [38] OPEKAR, František; JELÍNEK, Ivan; RYCHLOVSKÝ, Petr; PLZÁK, Zbyněk. *Základní analytická chemie*. 2. vyd. Praha: Karolinum, Učební texty Univerzity Karlovy v Praze, 2002. 203 s. ISBN 978-80-246-1775-6.
- [39] Atomová absorpční spektrometrie - stanovení rtuti pomocí analyzátoru AMA 254. Ústav analytické chemie, VŠCHT v Praze, 2010 [online]. [cit. 2010-04-18]. Dostupný z WWW: <[http://www.vscht.cz/anl/josef/LabAtom/Navod\\_AMA\\_2010.pdf](http://www.vscht.cz/anl/josef/LabAtom/Navod_AMA_2010.pdf)>.
- [40] *Analyzátor rtuti AMA 254: Schéma analyzátoru AMA 254* [online]. [cit. 2010-04-17]. Dostupný z WWW: <<http://www.natur.cuni.cz/geologie/laboratore/laboratore-a-metody/analyzator-rtuti-ama-254>>.
- [41] DEBNÁROVÁ, Andrea; DOLEŽALOVÁ WEISSMANNOVÁ, Helena. *Assessment of Heavy Metal Pollution (Cd, Cu, Pb, Hg) in Urban Soils of Roadsides in Brno*. Transactions on transport sciences [online]. 2010, 4, [cit. 2011-04-18]. Dostupný z WWW: <<http://www.transportsciences.org/>>. ISSN 1802-9876.

- [42] BINGGAN, Wei; LINSHENG, Yang. *A review of heavy metal contaminations in urban soils, urban road dusts and agricultural soils from China*. Microchemical Journal 2010. Vol. 94, p. 99 - 107.
- [43] KREMLÁČKOVÁ, Michaela: *Jihlava – poloha, struktura, infrastruktura a obraz města*. Diplomová práce. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Pedagogická fakulta, katedra geografie, 2010. 103 str.
- [44] *Data Českého statistického úřadu* [online]. Vydáno 2011 [cit. 2010-04-23]. Dostupný z WWW: <<http://www.czso.cz/>>.
- [45] *Vyhodnocení kvality ovzduší průmyslové zóny města Jihlavy a z něho vyplývajících zdravotních rizik*. Brno, 2009 [online]. Vydáno 2009 [cit. 2010-04-21]. Dostupný z WWW: <[http://extranet.kr-vysocina.cz/download/ozp/kvalita\\_ovzdusi/03a-VYSOCINA\\_ANALYZA\\_KVALITY\\_OVZDUSI.pdf](http://extranet.kr-vysocina.cz/download/ozp/kvalita_ovzdusi/03a-VYSOCINA_ANALYZA_KVALITY_OVZDUSI.pdf)>.
- [46] *Data Českého hydrometeorologického ústavu* [online]. Vydáno 2011 [cit. 2010-04-19]. Dostupný z WWW: <<http://www.chmi.cz/>>.
- [47] *Geologická mapa 1:500 000: Česká geologická služba*. Topografický podklad ARCDATA Praha, s. r. o.: *Mapová aplikace, verze 1.1* [online]. Vydáno 2003 [cit. 2010-04-18]. Dostupný z WWW: <<http://www.geology.cz/app/ciselniky/lokalizace/>>.
- [48] Zákon č. 309/91 Sb., ve znění zákona č. 211/94 Sb., o ochraně ovzduší před znečišťujícími látkami.
- [49] *Tabelární ročenky: Úsek ochrany čistoty ovzduší – Český hydrometeorologický ústav* [online]. Vydáno 2010 [cit. 2010-04-11]. Dostupný z WWW: <[http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/tab\\_roc/tab\\_roc\\_CZ.html](http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/tab_roc/tab_roc_CZ.html)>.
- [50] *Emisní bilance České republiky: Úsek ochrany čistoty ovzduší – Český hydrometeorologický ústav* [online]. Vydáno 2008 [cit. 2010-04-05]. Dostupný z WWW: <<http://old.chmi.cz/uoco/emise/embil/emise.html>>.
- [51] *Polétavý prach (PM10)* [online]. Vydáno 2010 [cit. 2010-04-11]. Dostupný z WWW: <[http://www.irz.cz/repository/latky/poletavy\\_prach.pdf](http://www.irz.cz/repository/latky/poletavy_prach.pdf)>.
- [52] *Health Aspects of Air Pollution with Particulate Matter, Ozone and Nitrogen Dioxide* [online]. Vydáno 2003 [cit. 2010-04-11]. Dostupný z WWW: <[http://www.euro.who.int/\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0005/112199/E79097.pdf](http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0005/112199/E79097.pdf)>.
- [53] *Integrovaný registr znečišťování: Vyhledávací systém - Vyhledávání úniků a přenosů* [online]. Vydáno 2010 [cit. 2010-04-05]. Dostupný z WWW: <<http://tomcat.cenia.cz/irz/>>.
- [54] *Validace analytických metod*. In KOCOUREK, Vladimír. *Kvalita v laboratorní a kontrolní praxi* [online]. Praha: VŠCHT, 2011 [cit. 2011-03-27]. Dostupné na www: <[http://web.vscht.cz/kocourev/files/QA\\_validace-print.pdf](http://web.vscht.cz/kocourev/files/QA_validace-print.pdf)>.

## 7 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

AAS	Atomic absorption spectrometry (Atomová absorpční spektrometrie)
AMA 254	Advanced mercury analyzer 254
ČR	Česká republika
ČHMÚ	Český hydrometeorologický ústav
ČOV	čistička odpadních vod
ČSÚ	Český statistický úřad
ET-AAS	Electrothermal atomic absorption spectrometry (Atomová absorpční spektrometrie s elektrotermickou atomizací)
F-AAS	Flame atomic absorption spectrometry (Atomová absorpční spektrometrie s plamenovou atomizací)
FCH	Fakulta chemická
GPS	Global Positioning System (Globální polohový systém)
IPI	Integrated Pollution Index (integrovaný index znečištění)
LOD	Limit of detection (mez detekce)
LOQ	Limit of quantitation (mez stanovitelnosti)
MŽP	Ministerstvo životního prostředí
m.n.m	metrů nad mořem
N	north (severně)
E	east (východně)
PI	Pollution Index (index znečištění)
R <sup>2</sup>	koeficient spolehlivosti kalibrační křivky
REZZO	Registr emisí a zdrojů unečišťování
RSD	Relative standard deviation (relativní směrodatná odchylka)
ŘSD	Ředitelství silnic a dálnic
smodch	směrodatná odchylka
TK	těžké kovy
TZL	tuhé znečišťující látky
UV	ultrafialové (ultraviolet) záření
VIS	viditelné (visible) záření
VUT	Vysoké učení technické



## 8 SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha č. 1.: Vývoj emisí TZL stacionárních zdrojů v okrese Jihlava
- Příloha č. 2.: Vývoj emisí TZL mobilních zdrojů v kraji Vysočina
- Příloha č. 3.: Naměřené hodnoty pH půd a sedimentů řeky Jihlavy
- Příloha č. 4.: Naměřené hodnoty pH půd a sedimentů přítoků řeky Jihlavy
- Příloha č. 5.: Obsah mědi v půdách a sedimentech řeky Jihlavy
- Příloha č. 6.: Obsah mědi v půdách a sedimentech přítoků řeky Jihlavy
- Příloha č. 7.: Obsah olova v půdách a sedimentech řeky Jihlavy
- Příloha č. 8.: Obsah olova v půdách a sedimentech přítoků řeky Jihlavy
- Příloha č. 9.: Obsah kadmia v půdách a sedimentech řeky Jihlavy
- Příloha č. 10.: Obsah kadmia v půdách a sedimentech přítoků řeky Jihlavy
- Příloha č. 11.: Obsah rtuti v půdách a sedimentech řeky Jihlavy
- Příloha č. 12.: Obsah rtuti v půdách a sedimentech přítoků řeky Jihlavy
- Příloha č. 13.: Vypočítané indexy znečištění půd řeky Jihlavy
- Příloha č. 14.: Vypočítané indexy znečištění půd přítoků řeky Jihlavy
- Příloha č. 15.: Fotodokumentace odběrových míst



**Příloha č. 1.: Vývoj emisí TZL stacionárních zdrojů v okrese Jihlava**

<b>Rok</b>	<b>REZZO 1</b>	<b>REZZO 2</b>	<b>REZZO 3</b>
	TZL (t/rok)	TZL (t/rok)	TZL (t/rok)
1995	746,1	338,4	430,6
1996	773,5	200,6	484,0
1997	446,8	159,7	581,6
1998	405,6	187,8	426,9
1999	279,7	107,6	335,3
2000	172,6	92,0	194,3
2001	377,4	90,0	192,8
2002	329,3	68,3	206,1
2003	320,0	60,6	213,1
2004	320,8	161,6	206,1
2005	410,9	131,4	197,5
2006	405,4	138,1	188,0
2007	241,6	139,1	179,8
2008	47,8	137,2	185,8

**Příloha č. 2.: Vývoj emisí TZL mobilních zdrojů v kraji Vysočina**

<b>Rok</b>	<b>REZZO 4</b>
	TZL (t/rok)
2000	1270,3
2001	1547,7
2002	1661,9
2003	1875,1
2004	2136,4
2005	2528,0
2006	2691,1
2007	2757,9
2008	2560,4

**Příloha č. 3.: Naměřené hodnoty pH půd a sedimentů řeky Jihlavy**

Odběrové místo	sediment	pH vzorků		
		půda 0 – 10 cm	půda 10 – 20 cm	půda 20 – 30 cm
J1	5,668	5,639	4,871	4,485
J2	5,725	5,619	5,324	4,863
J3	5,496	5,019	4,895	4,327
J4	6,283	6,125	5,687	4,913
J5	5,909	5,327	4,995	4,119
J6	6,752	6,542	6,136	6,390
J7	5,052	5,635	5,612	5,456
J8	4,994	5,010	4,603	5,087
J9	7,025	6,639	6,556	6,425
J10	5,216	5,441	5,234	4,382
J11	5,729	5,573	5,046	4,681
J12	5,612	5,294	4,892	5,132

**Příloha č. 4.: Naměřené hodnoty pH půd a sedimentů přítoků řeky Jihlavy**

Odběrové místo	sediment	pH vzorků		
		půda 0 – 10 cm	půda 10 – 20 cm	půda 20 – 30 cm
P1	6,317	4,254	4,354	4,190
P2	6,603	4,265	4,320	4,019
P3	5,923	5,104	4,681	4,457
P4	5,864	5,303	5,031	4,955
P5	6,370	5,884	5,582	5,074
P6	6,051	6,268	5,939	6,004
P7	6,484	6,125	5,637	5,457
P8	6,333	6,478	6,172	5,801
P9	5,663	6,039	5,817	5,902
P10	6,287	5,867	5,316	4,892
P11	5,927	5,552	5,173	5,246
P12	6,308	6,413	6,523	6,486
P13	6,109	5,699	5,395	4,881

## Příloha č. 5.: Obsah mědi v půdách a sedimentech řeky Jihlavy

Odběrové místo	Koncentrace $c_{Cu}$ (mg/kg sušiny)							
	sediment		půda 0 – 10 cm		půda 10 – 20 cm		půda 20 – 30 cm	
	medián	smodch	medián	smodch	medián	smodch	medián	smodch
J1	13,83	0,46	14,45	0,09	15,64	0,22	15,59	0,08
J2	14,46	0,09	14,66	0,22	14,17	0,11	15,35	0,29
J3	18,14	0,16	14,20	0,40	17,20	0,47	18,40	0,31
J4	17,96	0,26	20,26	0,04	21,48	0,24	21,25	0,19
J5	7,00	0,22	5,90	0,04	9,49	0,09	7,33	1,16
J6	53,62	0,31	80,93	0,74	74,95	1,88	65,56	0,19
J7	24,92	0,80	23,45	0,45	22,05	0,40	15,77	1,51
J8	9,89	0,69	8,27	0,68	8,06	0,13	9,23	0,16
J9	142,64	1,14	118,13	2,09	113,84	1,73	111,66	1,70
J10	25,55	0,20	35,57	0,48	35,03	0,66	30,49	0,31
J11	44,15	0,28	53,55	0,74	53,73	0,94	54,55	0,70
J12	24,84	0,47	21,62	0,14	22,52	0,24	18,49	0,30

Vysvětlivky: Žlutě vyznačené hodnoty znázorňují překročení limitní hodnoty pro sedimenty dle kapitoly 2.5.3 a pro půdy dle kritérií A uvedených v kapitole 2.5.1.

## Příloha č. 6.: Obsah mědi v půdách a sedimentech přítoků řeky Jihlavy

Odběrové místo	Koncentrace $c_{Cu}$ (mg/kg sušiny)							
	sediment		půda 0 – 10 cm		půda 10 – 20 cm		půda 20 – 30 cm	
	medián	smodch	medián	smodch	medián	smodch	medián	smodch
P1	1,76	0,70	5,07	0,15	5,07	0,36	4,21	0,25
P2	8,06	0,02	10,91	0,53	10,32	0,04	10,18	0,04
P3	20,22	0,22	18,54	0,22	20,70	0,26	17,82	0,49
P4	6,76	0,12	5,49	0,77	10,11	0,19	9,26	0,30
P5	128,95	0,35	115,42	0,23	110,01	2,58	94,16	1,71
P6	14,38	0,08	14,21	0,12	15,25	0,11	13,82	0,29
P7	16,31	0,17	20,55	0,14	24,29	0,80	18,75	0,37
P8	4,93	1,03	11,73	1,02	16,34	0,52	10,52	0,15
P9	25,50	0,33	22,39	0,52	23,12	1,31	14,10	0,25
P10	19,13	0,33	15,47	0,36	13,38	0,09	14,67	0,17
P11	38,28	0,30	43,86	0,18	36,07	0,32	33,88	0,17
P12	10,59	0,33	9,79	0,37	12,05	1,16	12,70	0,64
P13	22,24	0,18	18,72	0,12	18,06	0,06	17,16	0,13

Vysvětlivky: Žlutě vyznačené hodnoty znázorňují překročení limitní hodnoty pro sedimenty dle kapitoly 2.5.3 a pro půdy dle kritérií A uvedených v kapitole 2.5.1.

## Příloha č. 7.: Obsah olova v půdách a sedimentech řeky Jihlavy

Odběrové místo	Koncentrace $c_{Pb}$ (mg/kg sušiny)							
	sediment		půda 0 – 10 cm		půda 10 – 20 cm		půda 20 – 30 cm	
	medián	smodch	medián	smodch	medián	smodch	medián	smodch
J1	30,19	0,59	31,81	0,34	32,61	0,27	27,25	0,35
J2	31,91	0,43	34,27	0,74	30,96	0,34	35,48	0,29
J3	44,42	0,73	33,36	0,88	44,37	0,45	41,36	1,54
J4	75,45	0,10	95,62	0,46	92,87	1,78	92,87	0,79
J5	89,62	3,12	74,63	0,65	70,95	0,24	65,54	0,24
J6	113,46	1,37	164,37	1,75	148,08	1,66	139,16	0,99
J7	272,34	1,16	281,71	3,61	290,02	3,41	288,38	6,83
J8	36,29	0,38	44,77	0,25	50,31	0,90	42,69	0,17
J9	158,58	0,96	192,55	3,84	198,06	1,89	188,71	3,96
J10	63,19	0,80	88,25	0,74	100,33	2,16	98,51	0,74
J11	78,76	0,45	73,84	1,67	89,95	0,65	87,49	0,98
J12	52,06	0,25	59,60	0,31	60,50	0,17	59,92	0,53

Vysvětlivky: Žlutě vyznačené hodnoty znázorňují překročení limitní hodnoty pro sedimenty dle kapitoly 2.5.3 a pro půdy dle kritérií A uvedených v kapitole 2.5.1.

## Příloha č. 8.: Obsah olova v půdách a sedimentech přítoků řeky Jihlavy

Odběrové místo	Koncentrace $c_{Pb}$ (mg/kg sušiny)							
	sediment		půda 0 – 10 cm		půda 10 – 20 cm		půda 20 – 30 cm	
	medián	smodch	medián	smodch	medián	smodch	medián	smodch
P1	27,97	0,47	37,48	0,41	41,47	0,17	37,47	0,34
P2	26,28	0,78	27,04	0,54	28,08	0,48	28,25	0,88
P3	35,42	0,19	31,92	0,08	28,75	0,42	31,63	0,09
P4	119,02	2,34	195,64	2,43	199,00	2,48	168,49	0,56
P5	48,14	0,66	61,06	0,98	52,99	1,23	45,78	0,89
P6	190,09	2,09	155,76	2,66	177,15	3,19	182,39	1,36
P7	177,98	1,73	299,00	4,52	313,93	1,26	302,39	1,86
P8	48,89	0,45	42,32	0,93	67,70	1,32	63,54	1,16
P9	158,02	3,97	99,77	1,34	119,04	0,52	86,50	1,84
P10	42,35	0,59	37,60	0,44	37,17	0,19	34,48	0,29
P11	54,27	0,45	61,33	0,91	68,22	0,96	70,18	0,40
P12	30,55	0,46	36,41	0,17	47,45	0,08	56,74	0,05
P13	62,65	0,08	51,53	0,93	57,44	0,33	43,44	0,82

Vysvětlivky: Žlutě vyznačené hodnoty znázorňují překročení limitní hodnoty pro sedimenty dle kapitoly 2.5.3 a pro půdy dle kritérií A uvedených v kapitole 2.5.1.

## Příloha č. 9.: Obsah kadmia v půdách a sedimentech řeky Jihlavy

Odběrové místo	Koncentrace $c_{Cd}$ (mg/kg sušiny)							
	sediment		půda 0 – 10 cm		půda 10 – 20 cm		půda 20 – 30 cm	
	medián	smodch	medián	smodch	medián	smodch	medián	smodch
J1	0,033	0,001	0,044	0,000	0,039	0,001	0,027	0,001
J2	0,081	0,002	0,056	0,002	0,067	0,001	0,060	0,002
J3	0,026	0,001	0,029	0,001	0,030	0,002	0,019	0,001
J4	0,027	0,001	0,031	0,002	0,026	0,001	0,016	0,001
J5	0,101	0,002	0,114	0,011	0,121	0,002	0,136	0,011
J6	0,110	0,007	0,190	0,017	0,223	0,000	0,211	0,001
J7	0,358	0,005	0,501	0,011	0,458	0,009	0,455	0,009
J8	0,056	0,003	0,064	0,004	0,079	0,003	0,071	0,000
J9	0,139	0,002	0,144	0,000	0,164	0,006	0,155	0,011
J10	0,099	0,004	0,141	0,011	0,158	0,005	0,137	0,008
J11	0,155	0,001	0,199	0,005	0,205	0,006	0,186	0,020
J12	0,101	0,002	0,113	0,003	0,060	0,000	0,036	0,002

Vysvětlivky: Žlutě vyznačené hodnoty znázorňují překročení limitní hodnoty pro sedimenty dle kapitoly 2.5.3 a pro půdy dle kritérií A uvedených v kapitole 2.5.1.

## Příloha č. 10.: Obsah kadmia v půdách a sedimentech přítoků řeky Jihlavy

Odběrové místo	Koncentrace $c_{Cd}$ (mg/kg sušiny)							
	sediment		půda 0 – 10 cm		půda 10 – 20 cm		půda 20 – 30 cm	
	medián	smodch	medián	smodch	medián	smodch	medián	smodch
P1	0,495	0,007	0,254	0,009	0,220	0,012	0,141	0,006
P2	0,380	0,008	0,097	0,002	0,096	0,005	0,093	0,003
P3	0,187	0,007	0,111	0,001	0,113	0,007	0,084	0,000
P4	0,196	0,004	0,119	0,008	0,108	0,008	0,110	0,003
P5	0,022	0,001	0,027	0,000	0,026	0,000	0,024	0,000
P6	0,126	0,002	0,140	0,001	0,136	0,001	0,106	0,002
P7	0,083	0,001	0,073	0,001	0,075	0,003	0,061	0,002
P8	0,072	0,000	0,068	0,000	0,072	0,002	0,059	0,000
P9	0,134	0,013	0,152	0,002	0,151	0,002	0,096	0,007
P10	0,070	0,001	0,058	0,002	0,071	0,003	0,079	0,001
P11	0,117	0,003	0,131	0,002	0,171	0,005	0,161	0,007
P12	0,096	0,002	0,115	0,002	0,151	0,002	0,160	0,003
P13	0,042	0,002	0,030	0,001	0,016	0,000	0,011	0,000

## Příloha č. 11.: Obsah rtuti v půdách a sedimentech řeky Jihlavy

Odběrové místo	Koncentrace $c_{Hg}$ (mg/kg sušiny)							
	sediment		půda 0 – 10 cm		půda 10 – 20 cm		půda 20 – 30 cm	
	medián	smodch	medián	smodch	medián	smodch	medián	smodch
J1	0,060	0,004	0,071	0,004	0,089	0,010	0,079	0,008
J2	0,069	0,004	0,068	0,005	0,060	0,006	0,066	0,003
J3	0,127	0,007	0,107	0,008	0,128	0,007	0,122	0,002
J4	0,058	0,017	0,073	0,003	0,079	0,005	0,084	0,011
J5	0,049	0,007	0,079	0,004	0,089	0,009	0,085	0,002
J6	0,080	0,002	0,213	0,004	0,219	0,007	0,235	0,002
J7	0,208	0,003	0,241	0,004	0,239	0,012	0,246	0,012
J8	0,136	0,005	0,149	0,004	0,191	0,019	0,141	0,007
J9	0,964	0,023	0,855	0,046	0,917	0,038	0,863	0,095
J10	0,186	0,010	0,360	0,011	0,378	0,025	0,370	0,070
J11	0,414	0,043	0,295	0,018	0,299	0,009	0,280	0,007
J12	0,114	0,004	0,134	0,003	0,138	0,002	0,124	0,004

Vysvětlivky: Žlutě vyznačené hodnoty znázorňují překročení limitní hodnoty pro sedimenty dle kapitoly 2.5.3 a pro půdy dle kritérií A uvedených v kapitole 2.5.1.

## Příloha č. 12.: Obsah rtuti v půdách a sedimentech přítoků řeky Jihlavy

Odběrové místo	Koncentrace $c_{Hg}$ (mg/kg sušiny)							
	sediment		půda 0 – 10 cm		půda 10 – 20 cm		půda 20 – 30 cm	
	medián	smodch	medián	smodch	medián	smodch	medián	smodch
P1	0,033	0,005	0,084	0,009	0,092	0,006	0,065	0,002
P2	0,092	0,005	0,093	0,005	0,071	0,004	0,086	0,004
P3	0,090	0,003	0,111	0,006	0,079	0,001	0,072	0,006
P4	0,092	0,002	0,068	0,008	0,072	0,001	0,052	0,004
P5	0,063	0,002	0,097	0,011	0,105	0,005	0,059	0,004
P6	0,073	0,004	0,067	0,004	0,085	0,007	0,061	0,001
P7	0,117	0,010	0,147	0,013	0,167	0,006	0,145	0,011
P8	0,092	0,003	0,088	0,003	0,109	0,012	0,074	0,000
P9	0,307	0,003	0,212	0,011	0,279	0,006	0,230	0,012
P10	0,100	0,002	0,074	0,005	0,071	0,003	0,070	0,005
P11	0,276	0,005	0,201	0,003	0,195	0,009	0,217	0,006
P12	0,104	0,008	0,124	0,003	0,173	0,005	0,186	0,006
P13	0,182	0,007	0,197	0,005	0,215	0,011	0,161	0,005



### Příloha č. 13.: Vypočítané indexy znečištění půd řeky Jihlavy

Odběrové místo	IPI <sub>Cd</sub>	IPI <sub>Cu</sub>	IPI <sub>Pb</sub>	IPI <sub>Hg</sub>	IPI <sub>J</sub>
J1	0,073	0,218	0,382	0,199	0,218
J2	0,122	0,210	0,420	0,162	0,228
J3	0,053	0,237	0,496	0,297	0,271
J4	0,048	0,300	1,172	0,197	0,429
J5	0,248	0,108	0,880	0,210	0,361
J6	0,416	1,054	1,882	0,556	0,977
J7	0,942	0,292	3,584	0,605	1,356
J8	0,143	0,122	0,574	0,401	0,310
J9	0,308	1,636	2,414	2,196	1,639
J10	0,291	0,481	1,196	0,923	0,723
J11	0,393	0,771	1,047	0,728	0,735
J12	0,140	0,298	0,750	0,329	0,379

Vysvětlivky: Žlutě vyznačené hodnoty znázorňují mírný stupeň znečištění a červeně jsou vyznačeny hodnoty udávající vysokou úroveň znečištění dle kapitoly 2.7.2.

### Příloha č. 14.: Vypočítané indexy znečištění půd přítoků řeky Jihlavy

Odběrové místo	IPI <sub>Cd</sub>	IPI <sub>Cu</sub>	IPI <sub>Pb</sub>	IPI <sub>Hg</sub>	IPI <sub>P</sub>
P1	0,411	0,068	0,485	0,201	0,291
P2	0,190	0,150	0,347	0,209	0,224
P3	0,206	0,272	0,385	0,218	0,270
P4	0,224	0,118	2,346	0,161	0,712
P5	0,051	1,522	0,666	0,217	0,614
P6	0,255	0,206	2,147	0,177	0,696
P7	0,140	0,303	3,814	0,382	1,160
P8	0,132	0,184	0,723	0,226	0,316
P9	0,266	0,284	1,272	0,601	0,606
P10	0,139	0,207	0,455	0,179	0,245
P11	0,309	0,542	0,832	0,511	0,548
P12	0,284	0,165	0,586	0,403	0,359
P13	0,038	0,257	0,635	0,478	0,352

Vysvětlivky: Žlutě vyznačené hodnoty znázorňují mírný stupeň znečištění a červeně jsou vyznačeny hodnoty udávající vysokou úroveň znečištění dle kapitoly 2.7.2.

**Příloha č. 15.: Fotodokumentace odběrových míst**



*Odběrové místo J1*



*Odběrové místo J2*



*Odběrové místo J3*



*Odběrové místo J4*



*Odběrové místo J5*



*Odběrové místo J6*



*Odběrové místo J7*



*Odběrové místo J8*



*Odběrové místo J9*



*Odběrové místo J10*



*Odběrové místo J11*



*Odběrové místo J12*



*Odběrové místo P1*



*Odběrové místo P2*



*Odběrové místo P3*



*Odběrové místo P4*



*Odběrové místo P5*



*Odběrové místo P6*



*Odběrové místo P7*



*Odběrové místo P8*



*Odběrové místo P9*



*Odběrové místo P10*



*Odběrové místo P11*



*Odběrové místo P12*



*Odběrové místo P13*