

Stanovení kontaminace vod těžkými kovy ve vybrané lokalitě

Viktorie Daňková

Bakalářská práce
2021



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta logistiky a krizového řízení

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta logistiky a krizového řízení

Ústav ochrany obyvatelstva

Akademický rok: 2020/2021

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení:	Viktorie Daňková
Osobní číslo:	L19581
Studijní program:	B2825 Ochrana obyvatelstva
Studijní obor:	Ochrana obyvatelstva
Forma studia:	Kombinovaná
Téma práce:	Stanovení kontaminace vod těžkými kovy ve vybrané lokalitě

Zásady pro vypracování

1. Vypracujte literární rešerši na téma detekce a kvantifikace těžkých kovů ve vodách (podzemní, povrchové ve vybrané lokalitě) pomocí metod elementární analýzy.
2. Připravte vhodný postup elementární analýzy kovů získaných vzorků ze zvolené lokality.
3. Charakterizujte zvolený postup elementární analýzy jednotlivých kovů v analyzovaných vzorcích vody vzhledem k Vyhlášce č. 252/2004 Sb. pro pitnou vodu.
4. Získané data přehledně zpracujte a kriticky vyhodnoťte s ohledem na platnou legislativu ČR pro pitnou vodu.

Rozsah bakalářské práce: **60 stran**
Forma zpracování bakalářské práce: **tiskněná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

1. KOPLIK, Richard. CURDOVÁ, Eva. MESTEK, Oto. Trace Element Speciation in Water, Soils, Sediments and Biological Materials. Chemické listy, 1997. [online] 91(1). Dostupné také z: <http://www.chemicke-listy.cz/ojs3/index.php/chemicke-listy/article/view/2805/2792>.
 2. PROKEŠ, Jaroslav. Základy toxikologie. Praha: Karolinum, 1997. ISBN 80-7184-418-7.
 3. RAVINDRA, K. Gautam. SANJAY, K. Sharma. SURESH, Mahiya. MAHESH C. Chattopadhyaya. Heavy metals in water: presence, removal and safety. Uitgever: Cambridge, Uk: Royal Society Of Chemistry, 2015. ISBN 978-1-84973-885-9.
 4. Novela vyhlášky č. 252/2004 Sb., SZÚ. [online] [Cit. 2020-09-29]. Dostupné z: <http://www.szu.cz/tema/zivotni-prostredi/novela-vyhlasky-c-252-2004-sb>.
 5. Časopisecké a knižní zdroje dostupné prostřednictvím knihovny UTB ve Zlíně.
- Další odborná literatura dle doporučení vedoucí bakalářské práce.

Vedoucí bakalářské práce: **RNDr. Eva Domincová Bergerová, Ph.D.**
Centrum polymerních systémů

Datum zadání bakalářské práce: **1. prosince 2020**
Termín odevzdání bakalářské práce: **14. května 2021**

L.S.

doc. Ing. Zuzana Tučková, Ph.D.
děkanka

prof. Ing. Dušan Vičar, CSc.
ředitel ústavu

V Uherském Hradišti dne 2. prosince 2020

PROHLÁŠENÍ AUTORA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že:

- bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a dostupná k nahlédnutí;
- na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- podle § 60 odst. 1 autorského zákona má Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- pokud bylo k vypracování bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- pokud je výstupem bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

- že jsem na bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou obsahově totožné.

V Uherském Hradišti, dne: 14. 5. 2021

Jméno a příjmení studenta: Viktorie Daňková

.....
podpis studenta

ABSTRAKT

Předložená bakalářská práce se věnuje stanovení těžkých kovů v kontaminovaných zdrojích pitné vody ve vybrané lokalitě, kterou je město Přerov a blízké okolí. Teoretická část zahrnuje literární rešerši dostupných zdrojů, legislativní posouzení ochrany vod v České republice, dále pak charakterizaci vybraných těžkých kovů: arsen, chrom, hliník, kadmium, kobalt, měď, olovo a železo, a způsob jejich analýzy v pitných vodách. Praktická část následně popisuje místo a způsob odběru vzorků, elementární kvantitativní vyhodnocení těžkých kovů v odebraných vzorcích vod. Získané výsledky jsou diskutovány dle platné legislativy a jsou také navrženy postupy ke zkvalitnění kontroly a monitoringu pitných vod.

Klíčová slova: ochrana, těžké kovy, pitná voda, analýza, AAS, EDX-XRF

ABSTRACT

The presented bachelor thesis deals with the determination of heavy metals in contaminated drinking water sources in selected locality, which is the city of Přerov and its close surroundings. The theoretical part includes literary review of available sources, legislative assessment of water protection in Czech Republic, then the characterization of selected heavy metals: arsenic, chromium, aluminum, cadmium, cobalt, copper, lead and iron, and the method of their analysis in drinking water. The practical part then describes the place and method of sampling, the elementary quantitative evaluation of heavy metals in the samples of water taken. The results obtained are discussed according to the valid legislation and procedures are also proposed to improve the quality of drinking water control and monitoring.

Keywords: protection, heavy metals, drinking water, analysis, AAS, EDX-XRF

Poděkování

Zde bych ráda poděkovala paní RNDr. Evě Dominové Bergerové, Ph.D. za odborné vedení, trpělivost a vstřícný přístup při konzultacích, které mi v průběhu zpracování bakalářské práce věnovala.

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

OBSAH

ÚVOD.....	9
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 LEGISLATIVNÍ OPATŘENÍ K OCHRANĚ VOD	12
1.1 VODNÍ HOSPODÁŘSTVÍ	13
1.2 PODZEMNÍ A POVRCHOVÉ VODY	14
1.3 OCHRANA VOD DLE PLATNÉ LEGISLATIVY V ČR	14
2 TĚŽKÉ KOVY V PODZEMNÍCH A POVRCHOVÝCH VODÁCH	17
2.1 ARSEN	17
2.2 CHROM.....	18
2.3 HLINÍK	19
2.4 KADMÍUM	20
2.5 KOBALT	21
2.6 MĚĎ	22
2.7 OLOVO	23
2.8 ŽELEZO	25
3 METODY STANOVENÍ TĚŽKÝCH KOVŮ V KONTAMINOVANÝCH VODÁCH	27
3.1 STANOVENÍ STOPOVÝCH PRVKŮ VE VODÁCH.....	27
3.2 METODY ATOMOVÉ SPEKTROMETRIE	28
3.2.1 Atomová absorpční spektrometrie (AAS).....	28
3.2.2 Hmotnostní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem (ICP-MS).....	30
3.2.3 Metoda na principu rentgenového fluorescenčního záření	32
II PRAKTICKÁ ČÁST.....	34
4 OBECNÉ INFORMACE O ZKOUMANÉ LOKALITĚ - PŘEROV	35
4.1 OBECNÉ INFORMACE O ZKOUMANÉ LOKALITĚ.....	35
4.2 ZDROJE MOŽNÉHO ZNEČIŠTĚNÍ VE ZKOUMANÉ LOKALITĚ.....	36
4.3 SOUČASNÝ STAV VOD V PŘEROVĚ.....	38
5 ODBĚR VZORKŮ VODY, POUŽITÉ PŘÍSTROJOVÉ VYBAVENÍ A CHEMIKÁLIE	40
5.1 POSTUP ODBĚRU VZORKŮ	40
5.2 MÍSTA ODBĚRŮ VZORKU	41
5.3 POUŽITÉ PŘÍSTROJE A CHEMIKÁLIE.....	44
6 STANOVENÍ KONCENTRACE VYBRANÝCH KOVŮ VE VZORCÍCH.....	46
6.1 ELEMENTÁRNÍ ANALÝZA KOVŮ METODOU EDX-XRF	46
6.2 ELEMENTÁRNÍ ANALÝZA KOVŮ METODOU ASS NA GRAFITOVÉ KYVETĚ	48

6.2.1	Stanovení As	50
6.2.2	Stanovení Cr.....	51
6.2.3	Stanovení Al.....	51
6.2.4	Stanovení Cd	52
6.2.5	Stanovení Co	52
6.2.6	Stanovení Cu	53
6.2.7	Stanovení Pb.....	54
6.2.8	Stanovení Fe.....	54
7	NÁVRHY OPATŘENÍ KE SNÍŽENÍ KONTAMINACE VOD.....	56
	ZÁVĚR	58
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	60
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	70
	SEZNAM OBRÁZKŮ	74
	SEZNAM TABULEK.....	75

ÚVOD

V dnešní době se stále častěji diskutuje problematika kontaminace vod těžkými kovy. Na jednu stranu mají těžké kovy, jako např. kobalt nebo železo, nepostradatelný význam pro lidské tělo, na druhé straně ve vysokých koncentracích mohou vážně poškodit lidské zdraví a dokonce přivodit smrt. Lidský organismus nedokáže uvedené těžké kovy biologicky odbourat.

Nutno podotknout, že dle OSN přibližně 2,2 miliardy lidí po celém světě používá kontaminované zdroje pitné vody (Fakta o vodě, c2017). Odstranění těžkých kovů ze životního prostředí je ale nereálné, jelikož jsou součástí přírody a mají schopnost perzistence a rychlé i jednoduché akumulace.

Kvůli vysokému nárůstu populace, se zvýšila poptávka po pitné vodě, avšak úměrně tomu se zhoršuje její kvalita. Důvodem může být nedostatek čistících systémů, nedostatečný monitoring a kontrola pitných zdrojů, a to nejen v rozvojových zemích. Mezi významné producenty kontaminace vod těžkými kovy patří rozvíjející se průmysl a zemědělství. Mimo již řečené znečišťovatele lze dále zmínit i dopravu, jejíž frekvence od minulých let prudce narůstá a nezanedbatelně zatěžuje životní prostředí. Těžké kovy se do podzemních vod mohou uvolňovat také přírodní cestou, tedy ze sedimentů, jelikož jsou součástí mnoha minerálů.

Dle Sdružení oboru vodovodů a kanalizací (SOVAK) dosahuje voda v České republice vhodné kvality v rámci požadavků Evropské unie. Vodohospodářské společnosti neustále pracují na zlepšení kvality vyráběné i dodávané pitné vody. I přesto však musí být brán zřetel na narůstající trendy v kvalitě povrchových a podzemních vod. Investice směřují do zkvalitnění úpraven vod, a také na rekonstrukci stávajících vodovodních sítí, aby byla zachována kvalita pitné vody, i když bude delší dobu uchována v distribučním systému. Voda se v potrubí udržuje delší dobu kvůli snížení spotřeby vody na osobu na den. Právě z těchto potrubí se do pitné vody mohou uvolňovat těžké kovy jako měď, hliník nebo železo (Kvalita pitné vody v ČR je jedna z nejvyšších v Evropě, 2016).

Město Přerov, ve kterém žiji, nevěnuje kvalitě pitné vody značnou pozornost z hlediska těžkých kovů, na základě zjištěných faktů. Monitoring a kontrola vody dodávané do domácností se realizuje na základě platné vyhlášky 252/2004 Sb. novelizované vyhláškou 70/2018 Sb., ale posouzení kontaminace vody na přítomnost těžkých kovů není příliš časté. Pokud ano, jedná se výhradně o kovy, jejichž výskyt bývá ve vodních zdrojích častější, např.

hliník nebo železo. Nelze ani opomenout situaci, která město a okolí v nedávné době postihla. Jedná se o ekologickou katastrofu na řece Bečvě, kdy byly do řeky vypuštěny nebezpečné škodliviny a způsobily úhyn organismů žijících ve vodě.

Vzhledem k železniční a silniční křižovatce, kterou město Přerov představuje, by měly zainteresované orgány více dbát na kontrolu množství těchto polutantů, neboť se vlivem výše zmíněných producentů mohou dostat do vody.

Na základě uvedených faktů se předložená bakalářská práce věnuje stanovení kontaminace vod těžkými kovy právě v oblasti města Přerov a jeho blízkém okolí. Pro analýzu bylo zvoleno 8 kovů, které představují vážné potenciální zdravotní riziko pro lidský organismus a životní prostředí.

Cílem této práce je vyhodnotit kvalitu pitné vody v Přerově a jeho blízkém okolí z hlediska obsahu těžkých kovů. V případě zjištění jejich nadlimitního množství, je také cílem navrhnout opatření ke snížení kontaminace pitné vody.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 LEGISLATIVNÍ OPATŘENÍ K OCHRANĚ VOD

Voda je jednou ze základních složek životního prostředí, jehož definici vymezuje zákon č. 17/1992 Sb., o životním prostředí. Zákon definuje životní prostředí takto „*Životním prostředím je vše, co vytváří přirozené podmínky existence organismů včetně člověka a je předpokladem jejich dalšího vývoje. Jeho složkami jsou zejména ovzduší, voda, horniny, půda, organismy, ekosystémy a energie*“ (Zákon č. 17/1992 Sb.).

K nedílné a nezbytné součásti ochrany životního prostředí patří i chránění a starostlivost o podzemní a povrchové zdroje.

Zákon dále vymezuje zásady ochrany životního prostředí:

- „*Území nesmí být zatěžováno lidskou činností nad míru únosného zatížení.*
- *Přípustnou míru znečišťování životního prostředí určují mezní hodnoty stanovené zvláštními předpisy; tyto hodnoty se stanoví v souladu s dosaženým stavem poznání tak, aby nebylo ohrožováno zdraví lidí a aby nebyly ohrožovány další živé organismy a ostatní složky životního prostředí.*

Mezní hodnoty musejí být stanoveny s přihlédnutím k možnému kumulativnímu působení nebo spolupůsobení znečišťujících látek a činností.

- *Lze-li se zřetelem ke všem okolnostem předpokládat, že hrozí nebezpečí nevratného nebo závažného poškození životního prostředí, nesmí být pochybnost o tom, že k takovému poškození skutečně dojde, důvodem pro odklad opatření, jež mají poškození zabránit.*
- *Každý se může stanoveným způsobem domáhat u příslušného orgánu svých práv vyplývajících z tohoto zákona a dalších předpisů upravujících věci životního prostředí.*
- *Výchova, osvěta a vzdělávání se provádějí tak, aby vedly k myšlení a jednání, které je v souladu s principem trvale udržitelného rozvoje, k vědomí odpovědnosti za udržení kvality životního prostředí a jeho jednotlivých složek a k úctě k životu ve všech jeho formách“ (Zákon č. 17/1992 Sb.).*

1.1 Vodní hospodářství

Vodní hospodářství představuje činnost, jejímž cílem je ochrana, využití a rozvoj vodních zdrojů a jejich chránění před škodlivými účinky, které mohou narušit kvalitu vodních systémů. Za vodní zdroje mohou být považovány podzemní a povrchové vody, které jsou využívány společností k zajištění základních potřeb obyvatelstva. Při využívání vod musí být zachována jejich udržitelnost a užití musí být v souladu s životním prostředím a také s biodiverzitou ve vodních systémech (Základní informace o vodním hospodářství, c2021).

Mezi hlavní a nejdůležitější úkoly vodního hospodářství v ČR patří zajištění zásobování obyvatelstva pitnou vodou, a také zmírnění následků vlivem extrémního počasí, jako jsou povodně a sucha. Hospodaření s vodou a starání se o vodní zdroje si žádá odborný dohled, který se neustále posouvá vpřed s ohledem na potřeby státu i jednotlivých občanů. Ministerstvo zemědělství představuje ústřední vodoprávní úřad a odpovídá za činnost státní správy ve smyslu vodního zákona a zákona o vodovodech a kanalizacích (Voda, c2009-2021).

Vodní hospodářství lze rozdělit na dva obory – obor vodních toků, dále pak na obor vodovodů a kanalizací (Základní informace o vodním hospodářství, c2021).

V roce 2017 bylo provedeno měření založené na zjištění, kolik pitné vody se v ČR za 24 hodin využije a k jakému účelu, a kolik se ztratí v potrubí cestou z vodáren až ke koncovým uživatelům. Smyslem měření bylo poukázat na zbytečné množství pitné vody, které se u nás vyrobí. Podle Českého statistického úřadu (ČSÚ) bylo v roce 2016 vyrobeno až necelých 600 mil. metrů krychlových vody. Pokud by vyrobená voda byla využita pouze na pití, tj. 2,5 l vody denně na člověka, tak by takové množství vody stačilo všem lidem žijícím v ČR na 61 let. Pitná voda se využívá nejen k pití, ale také na umývání, přípravu jídel, nápojů a sprchování. Používá se i v oblasti, kde by stačila voda užitková, tj. k hospodářským účelům – zalévání zahrad atd. Dále bylo zjištěno, že v potrubní síti se ztratí až 15 % vyrobené pitné vody, a to např. z důvodu poškozeného vodovodního potrubí. Aplikace datových novinářů Českého rozhlasu „24 hodin pitné vody“ spočítala, že denně uvedeným způsobem unikne téměř 250 tisíc metrů krychlových pitné vody (Mrázek, 2017).

Následující kapitola bude věnována popisu jednotlivých druhů vodních zdrojů, ze kterých se uskutečňuje zásobování obyvatelstva pitnou vodou. Jedná se o povrchové a podzemní vody.

1.2 Podzemní a povrchové vody

Voda, jakožto nenahraditelná surovina, je základní potřebou pro všechny formy života. Přitom se využívá méně než 1 % z celkových vodních rezerv, z toho asi 96 % se nachází ve formě podzemních vod. Kromě toho nadměrné využívání podzemních vod vážně ohrozilo tento obnovitelný zdroj. Snižování množství vody použitelné pro různé domácí nebo zemědělské účely doprovází také zhoršení její kvality způsobené geogenním nebo antropogenním znečištěním (Yadav et al., 2021). Podzemní i povrchové vody představují neodmyslitelnou součást koloběhu vody na naší planetě. Na základě morfologických, klimatických a geologických podmínek se povrchové a podzemní vody ovlivňují a jsou tak ve vzájemné interakci (Muzikář, 2014).

Ministerstvo životního prostředí (MŽP) dále definuje podzemní vody jako „*vody, které se přirozeně vyskytují pod zemským povrchem v pásmu nasycení v přímém styku s horninami.*“ Podzemní vody jsou přírodním a největším sladkovodním zdrojem vody, který je primárně využíván jako zdroj pitné vody pro obyvatelstvo. Proto by měl být pečlivě chráněn před znečištěním a zároveň udržitelně využíván (Podzemní vody, c2008-2020).

Povrchové vody MŽP dále definuje jako „*vody přirozeně se vyskytující na zemském povrchu, dělí se na stojaté (lentické) a tekoucí (lotické).*“ Jsou charakterizovány dynamikou prostředí a změnami v čase. U tekoucích vod se tyto změny projeví prohlubováním koryta toku, rozšiřováním toku a meandry. U stojatých vod se změny týkají procesů zarůstání, sedimentace a hromadění živin. Mezi biologické děje se taktéž řadí stárnutí jezer, které způsobují zarůstání vodní plochy a jejich přeměnu na bažiny a mělčiny. I přesto, že vody protékají přechodně pod zemským povrchem, nebo v nadzemních vedeních, stále se jedná o povrchové vody (Povrchové vody, c2008-2020).

1.3 Ochrana vod dle platné legislativy v ČR

Chránění vod představuje komplexní činnost založenou na starostlivosti podzemních i povrchových vod a sledováním jejího množství a kvality či jakosti. Ochrana vod v ČR se řídí platnou českou i evropskou legislativou, včetně platných směrnic, zákonů, vyhlášek atd. Mezi nejvýznamnější patří následné:

Směrnice 2000/60/ES ze dne 23. října 2000 je základním právním předpisem Evropského parlamentu a Rady ustavujícím rámec pro činnost Společenství v oblasti vodní politiky členských států. **Zákon č. 254/2001 Sb.**, o vodách a o změně některých zákonů (vodní

zákon), ve znění pozdějších předpisů, zahrnuje ochranu podzemních a povrchových vod. Některá ustanovení vodního zákona zpřesňují nebo dále rozvádějí tzv. podzákonné předpisy, jako jsou nařízení vlády a vyhlášky (Ochrana vod, c2008-2020).

Definice a charakteristika pitné vody a požadavky na ní jsou ukotveny v **zákoně č. 258/2000 Sb.**, zákon o ochraně veřejného zdraví. Uvedený zákon pak pitnou vodu popisuje jako všechnu vodu „*v původním stavu nebo po úpravě, která je určena k pití, vaření, přípravě jídel a nápojů, voda používaná v potravinářství, voda, která je určena k péči o tělo, k čištění předmětů, které svým určením přicházejí do styku s potravinami nebo lidským tělem, a k dalším účelům lidské spotřeby, a to bez ohledu na její původ, skupenství a způsob jejího dodávání*“ (Zákon č. 258/2000 Sb.)

Vyhláška č. 252/2004 novelizována v roce 2018 **vyhláškou 70/2018 Sb.** Novelizací vyhlášky č. 252/2004 byla završena novelizace hygienické legislativy pitné vody, která zavádí posouzení rizik (rizikovou analýzu) do výroby pitné vody (Vyhláška 70/2018 Sb.). Legislativa stanovuje hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody. Vyhláška zpracovává předpisy Evropské unie a vymezuje:

- „*hygienické limity mikrobiologických, biologických, fyzikálních, chemických a organoleptických ukazatelů jakosti pitné vody dodávané potrubím užitkové vody nebo vnitřním vodovodem, které jsou konstrukčně propojeny směšovací baterií s vodovodním potrubím pitné vody (dále jen „teplá voda“), jakož i vody teplé vyráběné z individuálního zdroje pro účely osobní hygieny zaměstnanců,*
- *rozsah a četnost kontroly dodržení jakosti pitné vody,*
- *požadavky na metody kontroly jakosti pitné vody*“ (Vyhláška č. 252/2004 Sb.).

Vyhláška také vymezuje ukazatele jakosti pitné vody a jejich hygienické limity. Pitná voda musí mít fyzikálně-chemické vlastnosti, které neohrožují veřejné zdraví. Dále pitná voda nesmí obsahovat mikroorganismy a biologické organismy, které by mohly ohrozit veřejné zdraví (Vyhláška č. 252/2004 Sb.).

Protože je bakalářská práce zaměřena na stanovení kontaminace vod těžkými kovy, které byly předmětem analýzy předložené práce, jsou některé z fyzikálně-chemických ukazatelů uvedeny v tabulce č. 1 jako součást uvedené vyhlášky.

Tabulka 1 Fyzikální, chemické a organoleptické ukazatele a jejich limity (Vyhláška č. 70/2018 Sb.)

Č.	Ukazatele	Zkratka	Jednotka	Limit	Typ limitu
1	arsen	As	µg/l	10	NMH
2	chrom	Cr	µg/l	50	NMH
3	hliník	Al	mg/l	0,2	MH
4	kadmium	Cd	µg/l	5,0	NMH
5	kobalt	Co	-	-	-
6	měď	Cu	µg/l	1000	NMH
7	olovo	Pb	µg/l	10	NMH
8	železo	Fe	mg/l	0,2	MH

kde:

NMH - představuje nejvyšší mezní hodnotu, tj. „*hodnota zdravotně závažného ukazatele jakosti pitné vody, v důsledku jejíhož překročení je vyloučeno použití vody jako pitné, neurčí-li orgán ochrany veřejného zdraví na základě zákona jinak*“ (Vyhláška č. 252/2004 Sb.).

MH – představuje mezní hodnotu, tj. „*hodnota ukazatele jakosti pitné vody, jejíž překročení obvykle nepředstavuje akutní zdravotní riziko. Není-li u ukazatele uvedeno jinak, jedná se o horní hranici rozmezí přípustných hodnot*“ (Vyhláška č. 252/2004 Sb.).

Limity pro kobalt, který se řadí mezi zvláště nebezpečné těžké kovy, se v této tabulce neuvádí, protože nejsou uvedeny žádné limitní hodnoty kobaltu pro pitnou vodu dle platné vyhlášky č. 252/2004 Sb. (novelizované vyhláškou 70/2018 Sb.). V nařízení vlády č. 61/2003 byly uvedeny přípustné hodnoty kobaltu v povrchových vodách vztahující se k místu odběru vody pro úpravu na pitnou vodu a ty činily 3 µg/l (Nařízení vlády 61/2003). Toto NV bylo k roku 2016 zrušeno a nahrazeno NV 401/2015, kde jsou uvedeny pouze přípustné hodnoty znečištění odpadních vod vypouštěných z vybraných průmyslových a zemědělských odvětví uvedeným prvkem. Pro kobalt se tato hodnota znečištění rovná 2 mg/l (Nařízení vlády 401/2015).

Na základě uvedených informací, spadá ochrana životního prostředí, resp. ochrana vod do kompetence MŽP. Ta ve spolupráci s Ministerstvem zemědělství (MZ) předkládá vládě každý rok dokument, který hodnotí a popisuje stav povrchových a podzemních vod na území ČR, včetně legislativních, ekonomických a výzkumných činností. Dokument se nazývá „Zpráva o stavu vodního hospodářství v České republice“ (Ochrana vod, c2008-2020).

2 TĚŽKÉ KOVY V PODZEMNÍCH A POVRCHOVÝCH VODÁCH

Termín „těžké kovy“ poukazuje na kovy a kovové prvky, které mají poměrně vysokou hustotu v rozsahu 3,5 až 7 g/l a mají toxické účinky na organismy obecně již při velmi nízkých koncentracích. Mezi těžké kovy se řadí rtuť, kadmium, arsen, chrom, zinek, nikl, měď, olovo atd. Těžké kovy se hojně vyskytují v zemské kůře a v přírodě nejsou rozložitelné. Odtud se dostávají do lidského těla ze vzduchu, vody a potravy. Malé množství těžkých kovů představuje nezastupitelnou roli v lidském organismu (např. kobalt jako součást vitamínu B12), ale ve vyšších koncentracích narušují lidské zdraví (Sharma et al., 2014).

2.1 Arsen

Základní informace

Arsen se společně s dusíkem, fosforem, antimonem a bismutem řadí do V. A skupiny (nově do 15. skupiny) periodické tabulky prvků. Patří mezi nejstarší známé prvky (Greenwood a Earnshaw, 1993).

Elementární arsen se vyskytuje jako kovová šedá pevná látka. V elementární formě není toxický, toxické jsou jen jeho sloučeniny (Havel a Válek, c2014). Arsen patří mezi polokovy (i přesto se běžně řadí mezi těžké kovy). Vyskytuje se v oxidačních stupních -III, 0, III, V. Jedná se o amfoter a je znám v několika alotropických modifikacích, nejběžněji v šedé kovové formě (Kameníček et al., 2006).

Výskyt

Arsen tvoří hlavní složku některých minerálů, ty jsou rozšířeny po celém světě. Patří sem např. realgar (As_4S_4), auripigment (As_2S_3) a arsenolit (As_2O_3). Přírodním zdrojem arsenu v životním prostředí může být vulkanická činnost nebo půdní eroze (Greenwood a Earnshaw, 1993). Zdrojem arsenu v životní prostředí je především lidská činnost, a to hlavně spalování fosilních paliv, hutní a rudný průmysl, výroba barviv, a také výluhy elektrárenských popílků (Havel a Válek, c2014). I výše uvedené antropogenní zdroje mohou kontaminovat půdu i spodní vodu (Jain a Ali, 2000). K vyplavování arsenu do podzemních vod a dalších vodních zdrojů může dojít v důsledku odtoku vytvářeného z těžebního odpadu ze sulfidových kovových rud (Yadav et al., 2021).

Přítomnost arsenu v přírodních vodách závisí na místní geologii a hydrologii, souvisí s procesem vyluhování z hornin a sedimentů obsahujících arsen (Jain a Ali, 2000).

Toxicita

„Agentura pro toxické látky a nemoci“ (ATSDR) řadí arsen na první místo ve svém seznamu látek, které představují nejvýznamnější potenciální hrozbu pro lidské zdraví. Uvádí se, že s expozicí arsenu ve zvýšené koncentraci jsou spojena různá zdravotní onemocnění, jako je nekróza, kožní léze, cirhóza, melanóza atd. Dlouhodobé působení arsenu může vést k rakovině různých lidských orgánů (např. plic a kůže); (Yadav et al., 2021).

Využití

Zmíněný polokov má dobré vlastnosti polovodiče, proto se využívá v elektronice jako součást tranzistorů a procesorů (Havel a Válek, c2014). Arsen také nachází uplatnění při výrobě přípravků na konzervaci dřeva a v zemědělství, kde se využívá na výrobu pesticidů – např. herbicidy a insekticidy (Arsen a jeho sloučeniny (jako As)).

2.2 Chrom

Základní informace

Chrom jako přechodový prvek patří do VI. B skupiny (nově do 6. skupiny) periodické tabulky prvků, společně s molybdenem a wolframem. Jedná se o lesklý, stříbrnošedý tvrdý, ale zároveň i křehký kov. Řadí se mezi nejtvrďší elementární kovy (Petrлік, Příbylová a Válek, c2014). Jako vysoce reaktivní prvek, v přírodě existuje v několika oxidačních stavech, které se pohybují od -II do VI, ale kvůli jeho stabilitě převládá pouze trojmocná a šestimocná forma.

Výskyt

Uvedený kov se často vyskytuje v různých minerálech, například jako chromit FeCr_2O_4 , dále krokoit PbCrO_4 a chromový okr Cr_2O_3 . Vedle toho, smaragd a rubín obsahují stopové množství chromu, který jim propůjčuje charakteristické zbarvení (Greenwood a Earnshaw, 1993).

Zvýšená koncentrace chromu se objevuje v půdě, vodních zdrojích, podzemních vodách, moři atd (Pushkar et al., 2021). Kov se do životního prostředí dostává následkem činností přírody, tak i činností člověka. Ve velkém množství se chrom ve formě sloučenin Cr^{3+} vyskytuje v prachových částicích, které se uvolňují při spalování fosilních paliv (Petrлік, Příbylová a Válek, c2014).

Přírozený způsob vstupu prvku do ekosystému se uskutečňuje prostřednictvím jeho zvětvování a vyluhování z chromitového dolu. Čedičové a hadovité horniny jsou přírodní geologické útvary poskytující vysoké koncentrace chromu a jsou také přírodním zdrojem znečištění tímto prvkem (Pushkar et al., 2021).

Do přírody se chrom dostává na základě antropogenní činnosti např. z metalurgie, galvanického pokovování, pigmentů a výroby oceli. Chrom je mimo jiné přítomen i v odpadu z koželužny v rozmezí 2000-5000 mg/l. Odpadní voda obsahující kov z těchto průmyslových odvětví ovlivňuje různé důležité analytické parametry vodních zdrojů, jako např. barvu nebo CHSK (chemická spotřeba kyslíku). Svou přítomností také znečišťuje zemědělské půdy a vodu používanou na zavlažování, díky čemuž se chrom dostává do potravinového řetězce (Pushkar et al., 2021).

Toxicita

Sloučenina Cr^{6+} je ve srovnání s Cr^{3+} toxičtější na základě vysoké rozpustnosti a pohyblivosti v biologických systémech, neboť rychle prochází biologickou membránou a lehce interaguje s biomolekulami v cytoplazmě (Pushkar et al., 2021). Cr^{6+} , jakožto velmi karcinogenní látka, se řadí mezi 17 nejnebezpečnějších sloučenin. Akutní otrava ze sloučenin chromu bývá doprovázena zvracením, oligurií a anurií (jedná se o nedostatečné vylučování močí – oligurie předchází anurií). Chronická otrava se poté projevuje dermatitidou a hepatitidou. Chronickou inhalací sloučenin Cr^{6+} dochází k perforaci nosní přepážky (Prokeš, 2005).

Využití

Chrom se stal známým vzhledem k širokému využití v různých průmyslových odvětvích, jako jsou koželužny, chromování, chemický průmysl, těžba, ocelářství atd. (Pushkar et al., 2021).

2.3 Hliník

Základní informace

Hliník se řadí do III.A skupiny (nově do 13. skupiny) periodické tabulky prvků, společně s borem, galiem, indiem a thalliem. Jedná se o stříbrolesklý, měkký a kujný kov. Nejběžněji se vyskytuje v oxidačním stavu III (Kameníček et al., 2006). Mezi jeho důležité vlastnosti patří lehkost, pevnost a trvanlivost, odolnost proti korozi, vynikající tepelná a elektrická vodivost a recyklovatelnost (Manasijevic, Huber a Djurdjevic, 2019).

Výskyt

V zemské kůře se uvedený prvek po kyslíku a křemíku vyskytuje na třetím místě ve formě sloučenin – hlinitokřemičitany (živce, slídy) a také jako součást minerálů, např. korund Al_2O_3 (odrážky jsou rubín, smaragd, safír); (Kameníček et al., 2006).

Stopové množství hliníku může být obsaženo i v pitné vodě, do které se dostává hlavně z úpravy vody (soli hliníku se používají jako srážedla). Některá potrubí, která se využívají k přepravě vody, jsou z litinových trubek vyložených cementovou maltou. Proud vody způsobuje vyluhování ostění, což způsobuje uvolnění prvků obsažených v maltě do pitné vody, tedy i včetně hliníku (Berthomier et al., 2021).

Toxicita

Hliník může být pro člověka nebezpečný, převážně u dialyzovaných pacientů, jejichž léčba bohatá na hliník, může způsobit nežádoucí účinky jako encefalitidu, onemocnění kostí a anémii. Podle novějších informací hliník také souvisí s Alzheimerovou chorobou, i přestože nebyla prokázána žádná přímá souvislost mezi spotřebou hliníku a nástupem nemoci. Doporučená koncentrace hliníku v pitné vodě se pohybuje pod 200 $\mu g/l$, jak uvádí WHO i EU (Berthomier et al., 2021; Směrnice Rady 98/83/ES).

Využití

Hliník se v dnešní době řadí ke kovům, které se nejvíce používají v automobilovém průmyslu, a zároveň k nejvíce vyráběným kovům s roční produkcí asi 50 milionů tun. Využívá se při výrobě motorů, podvozků, převodovky a dílů pro elektrická vozidla (Manasijevic, Huber a Djurdjevic, 2019).

2.4 Kadmium

Základní informace

Kadmium patří do II. B skupiny (nově do 12. skupiny) periodické tabulky prvků. Jedná se o lesklý, tažný a velmi toxický těžký kov. Chemickými vlastnostmi se podobá zinku. Na vzduchu je stálý, při vyšších teplotách hoří za vzniku CdO . Ve sloučeninách má oxidační stav II (Kameníček et al., 2006).

Výskyt

Kadmium se velmi vzácně vyskytuje jako minerál greenockit (CdS), dále ve formě zinkové rudy (především sfalerit), které doprovází jako příměs (Greenwood a Earnshaw, 1993).

Zdroje znečištění životního prostředí kadmíem jsou kovohutě. Také spalování nekvalitního uhlí a olejů způsobuje zvýšenou koncentraci kadmia v ovzduší. V neposlední řadě se též do lidského organismu dostává inhalací cigaretového kouře, nebo do potravy pak z fosfátových hnojiv (Prokeš, 2005).

Do vody se prvek uvolňuje z tzv. sacrificial anodes (galvanické anody), které se připevňují k trupům lodí a lodním konstrukcím, aby tak zabránily korozi. Jejich využívání vede k uvolňování zinku a kadmia, nebo dalších nečistot ve formě slitin do vodního prostředí (Rees et al., 2020).

Toxicita

Kov vstupuje do lidského organismu skrze zažívací nebo dýchací trakt. Způsobuje nemoci jako hypertenzi, arteriosklerózu, rakovinu a jiné (Costa et al., 2006). Uvedený prvek spadá do skupiny silně toxických látek, a to i v případě nízkých koncentrací vyznačující se teratogenními a karcinogenními účinky. Při otravě kadmíem dochází k poškození ledvin, plic, způsobuje také rakovinu, mění složení kostí, jater a krve. Kadmium nashromážděné v plodinách rýže souvisí s nemocí Itai – Itai (Vasudevan a Lakshmi, 2011).

Využití

Kadmium se využívá k výrobě ochranných povlaků různých materiálů. V malém množství se používá jako příměs do slitin a baterií. Některé sloučeniny slouží jako stabilizátory, např. k ochraně PVC před jeho rozložením vlivem účinku UV nebo tepelného záření (Greenwood a Earnshaw, 1993).

2.5 Kobalt

Základní informace

Kobalt se řadí do VIII. B skupiny (nově do 9. skupiny) periodické tabulky prvků, společně s železem a niklem tvoří tzv. triádu železa. Jedná se o lesklý stříbřitě modrý kov, lze jej stejně jako železo magnetizovat (Cobalt, c2021).

Výskyt

Kobalt se vyskytuje v nerostech, nejvýznamnější jsou arsenidy a sulfidy. Jedná se např. o smaltin CoAs_2 , kobaltin CoAsS a linnéit Co_3S_4 (Greenwood a Earnshaw, 1993). Ve vitamínu B12 představuje centrální atom. Stopové množství kobaltu se nachází rovněž v cementu a různých výrobcích pro domácnost.

V průmyslu, při výrobě kobaltového prášku, dále při zpracování, výrobě a používání tvrdých kovů, leštění diamantů pomocí kotoučů, které obsahují kobalt a při zpracování kobaltových slitin, existuje potenciální hrozba expozice uvedeného prvku (Lauwerys a Lison, 1994).

Prvek se nachází v odpadních vodách z průmyslu, např. z galvanického pokovování nebo při výrobě barev a pigmentů (Khajeh, Sarafraz-Yazdi a Moghadam, 2017). Koncentrace kobaltu ve vodách může být zvýšena při těžbě rud a uhlí a při vypouštění textilních barviv (Diamond et al., 1992).

Toxicita

Kobalt se řadí mezi mikrobiogenní prvky, ale ve větších koncentracích se stává toxickým. Kobalt utočí na dva cílové orgány, a to na kůži a dýchací cesty. Může způsobit alergickou dermatitidu, rýmu a astma. Zejména bývá absorbován z plicního a gastrointestinálního traktu. V těle se nekumuluje, vylučuje se především močí. Jelikož se v minulosti obohacovalo pivo o kobalt, vyskytovala se hojně kardiomyopatie mezi těžkými konzumenty chmelového moku. Je pravděpodobné, že v tomto případě špatná výživa v kombinaci s etanolem hrály synergickou roli. Toxické projevy byly zjištěny také po vdechování prachu obsahujícího kobalt z průmyslové činnosti (Lauwerys a Lison, 1994). Sloučeniny, ve kterých kobalt vystupuje v oxidačním stavu II, způsobují nádory u zvířat a mají pravděpodobné karcinogenní účinky i na člověka (Prokeš, 2005).

Využití

Uvedený prvek se využívá k výrobě sloučenin, které se následně uplatní v průmyslu silikátů a barev, dále pak v keramickém průmyslu k bělení žlutého zbarvení, jenž vzniká přítomností nečistot obsahující železo. Z modrého pigmentu se vyrábí nátěrové hmoty a inkoust (Greenwood a Earnshaw, 1993).

2.6 Měď

Základní informace

Měď společně se stříbrem a zlatem patří do I. B skupiny (nově do 11. skupiny) periodické soustavy prvků. Jedná se o přirozeně se vyskytující načervenalý kov, který výborně vede teplo a elektrickou energii (Kleger a Válek, c2014). Vytváří velké množství slitin, např. bronz (slitina mědi a cínu), nebo mosaz (slitina mědi a zinku). Měď se nejčastěji nachází v oxidačních stavech I a II (Kameníček et al., 2006).

Výskyt

Čistá měď se v zemské kůře vyskytuje vzácně, častěji se váže na jiné prvky a vytváří různé sloučeniny. Mezi nejstálejší nerosty patří sulfidy, např. chalkosin Cu_2S a chalkopyrit CuFeS_2 , dále kuprit, malachit nebo azurit. Velké množství mědi se do přírody uvolňuje metalurgií a hutnickým průmyslem, dále také spalováním fosilních paliv.

Ve vodních tocích se může měď přenášet do velkých vzdáleností nebo může být ukotvena v sedimentech. Bylo zjištěno prosakování mědi do podzemních vod ze sedimentů půd. V pitné vodě se prvek může nacházet v důsledku uvolnění z kovových součástí vodovodů. Prvek se ve vodách objevuje v koncentracích 0,003 mg/l (Kleger a Válek, c2014).

Toxicita

Měď se řadí mezi biogenní prvky, kdy běžná koncentrace v lidské krvi bývá 11-22 mmol/l. Při jejím nedostatku se projevuje anémie jako poslední fáze z důvodu ztráty schopnosti přijímat měď z jídla ve formě sloučenin Cu^{2+} . Ve vyšších koncentracích má toxické účinky na lidský organismus (Prokeš, 2005).

Tento prvek se v mozku člověka podílí na patogenezi neurologických nemocí jako Alzheimerova a Parkinsonova choroba. Toxicitu nahromaděné mědi v lidském organismu dokazuje Wilsonova choroba, při které nejsou játra schopna vylučovat kov, a tím dochází k jeho hromadění v tkáních. Z tohoto důvodu patří játra a mozek k nejohroženějším orgánům (Becaria et al., 2006).

Využití

Měď se využívá na výrobu elektrických vodičů a elektronických součástí, jako jsou kabely, elektromotory, korozivzdorné slitiny (bronz), stavební a kuchyňské materiály, dokonce je přítomna v některých pigmentech (Kleger a Válek, c2014).

2.7 Olovo

Základní informace

Olovo patří do IV. A skupiny (nově do 14. skupiny) periodické tabulky prvků, společně s uhlíkem, křemíkem, germaniem a cínem. Jedná se o lesklý, kujný, stříbrnošedý těžký kov, který se vyskytuje v zemské kůře. Špatně vede elektrický proud, ale dobře odolává korozi. Ve sloučeninách se vyskytuje v oxidačních stavech II nebo IV, ovšem dvojmocné olovo

(Pb^{2+}) vytváří stabilní látky. Jako elementární prvek (Pb^0) se olovo téměř nevyskytuje (Havel, Gažáková a Válek, 2014).

Výskyt

Olovo se řadí do skupiny rud, konkrétně nejvýznamnější sirná ruda galenit PbS (těžký černý minerál). Prvek je považován za nejrozšířenější těžký kov na Zemi. Vyskytuje se ve čtyřech izotopech, kdy tři ze čtyř izotopů (^{206}Pb , ^{207}Pb a ^{208}Pb) představující konečné stabilní produkty přirozených rozpadových řad uranu a thoria (Greenwood a Earnshaw, 1993).

Po dlouhá léta byli lidé vystavováni umělým zdrojům olova v životním prostředí, mezi ně patří např. těžba a rafinace olova. S uvedeným prvkem se lidé mohli setkat při používání předmětů pro domácnost, dále kontaktem s olovenými bateriemi, barvami a střelivem. V současnosti bylo regulováno např. používání olovnatého benzínu. V důsledku uvedeného faktu došlo ke snížení expozice lidského organismu tímto kovem (Johansen et al., 2006).

Pitná voda bývá znečištěna zmíněným prvkem v důsledku koroze vodovodních instalací, nebo bodové kontaminace, např. z průmyslu (Halttunen, Salminen a Tahvonen, 2007). Při výrobě primárního a sekundárního olova se vyrábí velké množství olovené strusky, která se dále zužitkuje při hrubém ukládání, jako rozsáhlé skládkování. Struska kromě olova obsahuje další toxické kovy jako např. zinek a kadmium, které se následně dostávají do půdy a do podzemních vod. Lidské zdraví může tak být nepřímo ovlivněno kumulací olova v rostlinách. Bylo prokázáno, že lidé žijící poblíž struskové skládky, jsou vystaveny akumulaci toxických prvků (Pan et al., 2019).

Toxicita

Uvedený kov narušuje syntézu hemoglobinu, funkci ledvin a způsobuje neurologické poruchy a poruchy chování u dětí. I nízké koncentrace olova v krvi jsou spojovány s dětským mentálním postižením (Halttunen, Salminen a Tahvonen, 2007). Biologický poločas rozpadu olova v krvi je přibližně 35 dní. Při vysokých koncentracích prvku v krvi se projevují příznaky jako anémie, bolesti hlavy a křeče v břiše (Johansen et al., 2006).

Využití

Uvedený prvek nachází široké uplatnění při výrobě strojů, baterií a také v lékařství (Pan et al., 2019). Dnes se většina světové produkce olova používá k produkci olovených akumulátorů do automobilů. V oblasti medicíny se v nemalé míře podílí na tvorbě a vývoji zařízení odolných vůči rentgenovému a gama záření (Havel, Gažáková a Válek, 2014).

2.8 Železo

Základní informace

Železo se řadí do VIII. B skupiny (nově do 8. skupiny) periodické soustavy prvků a považuje se za nejlevnější a nejpoužívanější kov (Iron: chemical element, 2020). Jedná se o křehký, ale tvrdý prvek, který v podmínkách větší vlhkosti a vyšší teploty rychle koroduje. Železo má čtyři různé alotropní formy (Fe- α , Fe- β , Fe- γ , Fe- δ), což znamená, že má čtyři různé strukturní formy (Blaszczak-Boxe, 2017).

Výskyt

Zmíněný kov představuje čtvrtý nejpočetnější prvek v zemské kůře a hlavní složku zemského jádra. Volně se kov vyskytuje vzácně, častěji tvoří sloučeniny v kombinaci s dalšími prvky jako: hematit (Fe₂O₃), magnetit (Fe₃O₄) atd. I v lidském těle se prvek nachází vázaný ve formě hemoglobinu, který transportuje molekulární kyslík z plic do celého těla. Menší část veškerého železa se ukládá v játrech, slezině a kostní dřeni (Iron: chemical element, 2020).

Po arsenu a fluoridu patří železo k dalším nejběžnějším kontaminantům přítomným v pitné vodě. Do podzemní vody se dostává louhováním skal a minerálů v rozpuštěné formě (Haldar, Duarah a Purkait, 2020). Také dešťová voda, která prosakuje půdou a horninou, může rozpouštět minerály obsahující železo, což následně způsobí kontaminaci zásob pitné vody. Dalším zdrojem uvedeného prvku v pitné vodě mohou být zkorodované trubky, ze kterých se kov uvolňuje do vody (Colter a Mahler, 2006).

Toxicita

Železo se řadí mezi biogenní prvky a tvoří centrální atom hemoglobinu. Zásobní formou železa v játrech a slezině je ferritin. Ve vyšších dávkách mají železnaté (Fe²⁺) a železité (Fe³⁺) ionty toxické účinky. Při intoxikaci lidského těla Fe způsobuje hemorhagickou gastritidu (zánět žaludku s krvácením) a enteritidu (zánět tenkého střeva), dále inhibici fibrinogenu na fibrin, který představuje velmi důležitou součást srážení krve, degradaci myokardu nebo zvýšení permeability krevních kapilár (Prokeš, 2005). Na druhou stranu, nedostatek železa může vést k anémii a únavě ovlivňující schopnost vykonávat fyzickou práci, a může také poškodit paměť i další duševní funkce u dospívajících dětí (Blaszczak-Boxe, 2017).

Využití

Až 90 % veškerého rafinovaného kovu představuje železo. Používá se k výrobě oceli - slitiny železa a uhlíku, která se dále využívá k produkci železobetonu a má široké uplatnění ve stavebnictví. Nerezová ocel, která obsahuje nejméně 10,5 % chromu, vykazuje vysokou odolnost proti korozi. Ta nachází své uplatnění ve výrobě kuchyňských přístrojů, spotřebičů a nádob jako např. nerezové pánve (Blaszczak-Boxe, 2017).

V následující souhrnné tabulce (tabulka č. 2) jsou uvedeny některé chemicko-fyzikální vlastnosti pro všechny vybrané kovy.

Tabulka 2 Chemicko-fyzikální vlastnosti jednotlivých prvků (Kameníček et al., 2006).

Vlastnost /prvek	As	Cr	Al	Cd	Co	Cu	Pb	Fe
Atomové číslo	33	24	13	48	27	29	82	26
Relativní atomová hmotnost (A_r)	74,92	51,996	26,9815	112,41	58,9332	63,546	207,19	55,845
Elektronová konfigurace	[Ar] 3d ¹⁰ 4s ² 4p ³	[Ar] 3d ⁵ 4s ¹	[Ne] 3s ² 3p ¹	[Kr] 4d ¹⁰ 5s ²	[Ar] 3d ⁷ 4s ²	[Ar] 3d ¹⁰ 4s ¹	[Xe] 4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² 6p ²	[Ar] 3d ⁶ 4s ²
Hustota (ρ) [g/cm ³]	5,73	7,14	2,70	8,65	8,9	8,95	11,48	7,87
Teplota tání (t_t) [°C]	816	1876	660	320,8	1493	1083	600,7	1535
Teplota varu (t_v) [°C]	615	2690	2467	765	3100	2570	2010	2750
Elektronegativita (χ)	2,20	1,6	1,5	1,5	1,7	1,9	1,6	1,6

3 METODY STANOVENÍ TĚŽKÝCH KOVŮ V KONTAMINOVANÝCH VODÁCH

Základním předpokladem správného a přesného vyhodnocení kontaminace vod těžkými kovy je nesporně zvolení správného postupu a metody detekce a kvantifikace hledaných prvků. Uvedená kapitola se věnuje metodice určení těžkých kovů v kontaminovaných vodách na principu elementárních analýz s ohledem na jejich silné a slabé stránky.

3.1 Stanovení stopových prvků ve vodách

Termín stanovení prvků (speciace) lze definovat dvěma způsoby. První definice říká, že stanovením prvků se rozumí postup, kdy dochází k rozlišení nebo stanovení jednotlivých forem prvků ve zjišťovaném vzorku. Pak lze o stanovení říct, že se jedná o synonymum k výrazu speciální analýza. Tato analýza se definuje jako stanovení koncentrace jednotlivých fyzikálně-chemických forem prvků, jejichž celkový obsah je dán součtem jednotlivých forem. Druhá definice vymezuje pojem stanovení jako formy prvku, ve kterých se prvek ve vzorku vyskytuje, tj. fyzikálně-chemický stav prvku (Koplík, Čurdová, Mestek, 1997).

V přírodních vodách jsou toxické prvky přítomny v různých formách, v kapalném skupenství nebo vázané v tuhých částicích. Mezi těmito fázemi se ustavuje rovnováha, která závisí na chemických vlastnostech vzorku, např. pH nebo koncentrace iontových forem. U kontaminovaných vod vedou tyto procesy k přecházení iontů do tuhých částic adsorpcí, a proto o celkové kontaminaci hydrosféry vypovídá koncentrace prvků v sedimentech. Jednorázové, krátkodobé, ale i dlouhodobé znečišťování vod vede ke zvýšené koncentraci prvků, což způsobuje poškozování organismů žijících ve vodách. Toxický účinek prvků obsažených ve vodách závisí na přítomnosti jednotlivých forem prvku, např. u mědi jsou za nejtoxičtější formu považovány ionty Cu^{2+} a hydroxokomplexy (Koplík, Čurdová, Mestek, 1997).

Přítomnost různých forem prvků ve vodách bývá ovlivněna především rozpustností sloučenin prvků ve vodě, oxidačním stupněm, tvorbou komplexů, hodnotou pH prostředí a také adsorpčními jevy. Diferenciace jednotlivých forem prvků ve vzorku je založena na využití látkově specifické analytické technice. Princip takové metody spočívá v tom, že pouze některé formy stanovovaného prvku vysílají analytický signál v závislosti na

podmínkách, ve kterých se nachází. Nebo na kombinaci dělicí metody s citlivou specifickou detekční technikou (Koplík, Čurdová, Mestek, 1997).

Následující kapitoly budou věnovány popisu použitých metod potřebných ke stanovení kontaminantů ve vzorcích vod, především atomové absorpční spektrometrii (AAS) a energiově-disperzní spektroskopii (EDX-XRF); (viz. praktická část práce). Pomocí metody AAS lze stanovit prvky pouze ve vzorcích kapalných (čistých, mineralizovaných, bez příměsí), kdežto pomocí EDX-XRF lze analyzovat pevné, práškové ale i kapalně vzorky.

3.2 Metody atomové spektrometrie

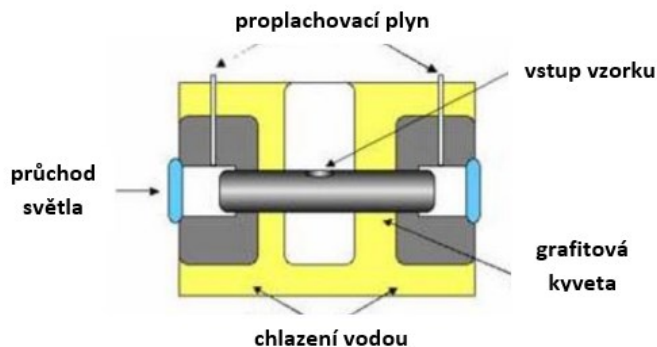
Metody atomové spektrometrie se řadí mezi analytické techniky, které stanoví prvek ve vzorku v koncentračních jednotkách (kvantitativní analýza). Zatímco historicky byla detekce analytických signálů založena na měření fotonů, během dvou desítek let, vědci integrovali měření iontového proudu do detekčních technologií, které jsou známy jako atomová spektrometrie. Mezi metody založené na detekci fotonů patří atomová emise, absorpce a fluorescence, a k technikám detekce iontů se řadí atomová hmotnostní spektrometrie, která stanoví prvek na základě odlišné relativní atomové hmotnosti (izotopy), ale nerozpoznává chemické prvky podle elektronových obalů (elektronů) a fotonů záření, jako uvedené metody (Majidi, 2001).

Zmíněné techniky využívají vybuzení elektronů, které zahrnuje přemístění vnějších elektronů v atomových orbitalech. Přesun se uskutečňuje pomocí ionizace záření, dále pak emisí, absorpcí nebo fluorescencí elektronů v atomech daného prvku (Majidi, 2001).

3.2.1 Atomová absorpční spektrometrie (AAS)

Metodou AAS lze stanovit více než 60 kovových prvků a metaloidů periodické tabulky. Jedná se o analytickou atomovou spektrofotometrickou metodu, díky níž lze detekovat obsahy stopových nebo i významných koncentrací jednotlivých prvků v analyzovaném vzorku. Dva systémy, **AAS s elektrotermickou atomizací v grafitové kyvetě (GF AAS)** nebo **AAS s atomizací v plameni (F AAS)**, jsou založeny na stejných principech. Rozdíl uvedených metod spočívá ve způsobu zavedení vzorku do přístroje, tedy ve způsobu jeho dávkování. U F AAS se vzorek dávkuje kontinuálně pomocí autosampleru do pracovní oblasti nad plamen, kde je vzorek dispergován, a po proběhnutí atomizace vzorku se stanoví jednotlivé koncentrační hodnoty daného prvku. Detekční limity se pohybují v rozmezí od desítek až stovek mikrogramů až po desítky a stovky miligramů. U GF AAS se vzorek

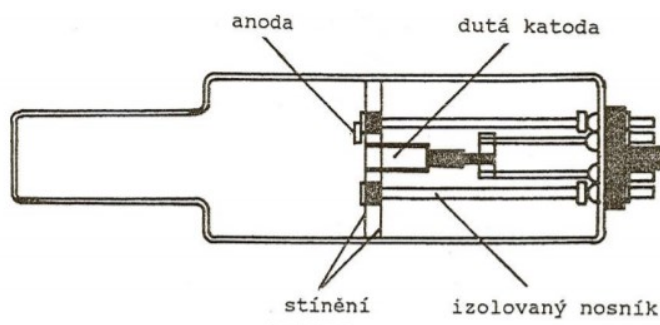
dávkuje diskontinuálně pomocí autosampleru do oblasti grafitové kvety (obrázek č. 1), kde dojde k atomizaci vzorku a následně k vyhodnocení množství analyzovaného prvku. Detekční limity se pohybují od desítek nanogramů po desítky až stovky mikrogramů pro většinu prvků (Zaib et al., 2015).



Obrázek 1 Schéma elektrotermického atomizátoru – grafitová kveta (Atomová absorpční spektroskopie (AAS), c2014)

Atomová absorpční spektrofotometrie využívá k přesnému stanovení prvků sofistikované přístroje, mezi jejichž důležité součásti patří zdroje záření, absorpční prostředí (atomizátor), monochromátor, detektor (fotonásobič) a zařízení pro záznam signálu (Pertile a Čablík, 2006).

Zdroje primárního záření mohou být výbojky s dutou katodou (ta se vyrábí z prvku, který se stanovuje); (obrázek č. 2) nebo bezelektrodové výbojky nebo lasery. Atomizátor slouží k převedení vzorku do plynného stavu, např. grafitová kveta nebo plamen. Monochromátor rozděljuje záření (svazky paprsků) o určitém spektrálním intervalu vlnové délky, aby mohly být nasměrovány společně s pohlcenými atomy prvků po atomizaci na detektor. Jako detektor procházejícího záření se využívá fotonásobič zesilující paprsky pro snadnou detekci signálu vedoucí k zaznamenání množství analyzovaného prvku ve vzorku (Černohorský, 2006).



Obrázek 2 Výbojka s dutou katodou (Atomová absorpční spektroskopie (AAS), c2014)

Princip metody je založen na absorpci elektromagnetického záření ze zdroje (lampa) volnými atomy prvku v plynném stavu, tyto vznikají v atomizátorech. Fotony elektromagnetického záření určité energie jsou absorbovány právě volnými atomy prvku atomizovaného vzorku, tedy pohlcují záření o dané vlnové délce. Tím jsou elektrony v atomech převedeny ze základních do excitovaných stavů. Platí, že volné atomy pohlcují záření o takové energii, kterou jsou schopny samy vyzářit při emisi. Záření prochází monochromátorem, dopadá na detektor a vzniká signál. Po zesílení přes fotonásobič se vyhodnotí absorpční signál na základě signálů z kalibračních roztoků. Pro absorbanci pak platí velmi jednoduchá lineární závislost, tedy že je přímo úměrná koncentraci atomů měřeného prvku. Přístroj určí množství sledovaného prvku v koncentračních jednotkách ($\mu\text{g/l}$); (Pertile a Čablík, 2006).

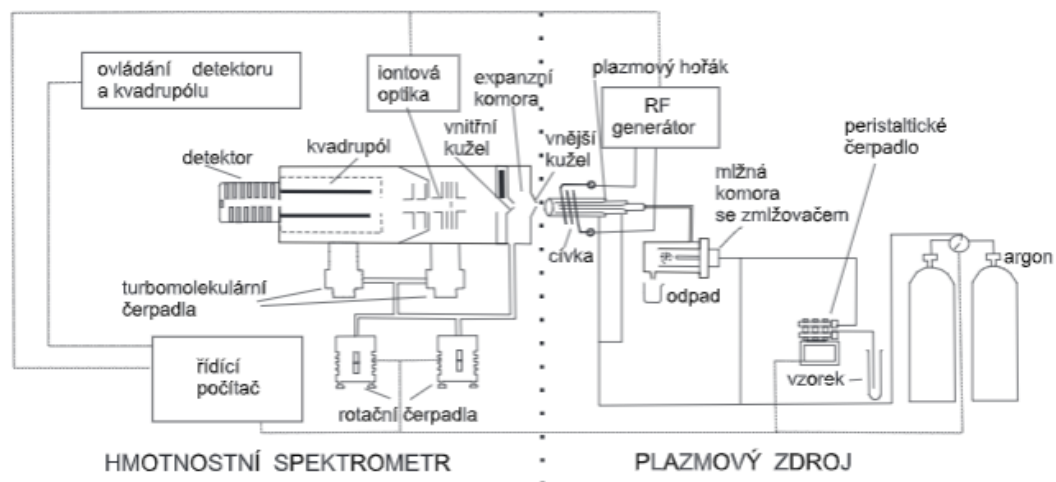
V praktické části práce byl pro stanovení prvků ve vzorcích použit atomový spektrofotometr s elektrotermickou atomizací, tedy s grafitovou kyvetou (GF AAS), protože sledované analyty se pohybovaly ve vzorcích vod ve velmi nízkých koncentracích. Dávkování vzorku se uskutečňuje v množství 10–40 μl do prostoru grafitové kyvety ve tvaru trubičky, ta se postupně ohřívá elektrickým proudem, proplachuje inertním plynem (argon) a následně dochází k atomizaci, během procesu je celý systém chlazen vodou (Koplík, 2016).

Přesné vyhodnocení koncentrace prvků může být ovlivněna matricí vzorku, jehož nesprávná volba či nevhodná příprava vzorku může vést ke ztrátě analytu, neúplné atomizaci nebo nespecifické absorpci. Každé měření se musí vždy optimalizovat, zvolit nejvhodnější podmínky dané analýzy, provést korekci absorpčního prostředí, která je při stanovení kovu na GF AAS nezbytná. Nejvhodnějším materiálem k analýze jsou roztoky ve zředěných kyselinách, zředěné biologické tekutiny nebo suspenze tuhých vzorků. Pokud není vzorek v roztoku, musí být mineralizován (Koplík, 2016).

3.2.2 Hmotnostní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem (ICP-MS)

Hmotnostní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem jako analytická metoda spojuje indukčně vázané plazma, které je zdrojem kladně nabitých částic, a hmotnostní spektrometrii, která tyto částice registruje a vyhodnocuje (Mihaljevič, Strnad a Šebek, 2004).

Technika ICP-MS využívá ovládání sofistikovaného přístroje, jehož nejdůležitější části tvoří plazmový zdroj, expanzní komora a hmotnostní spektrometr (viz obrázek č. 3).



Obrázek 3 Schéma hmotnostního spektrometru s indukčně vázanou plazmou (Mihaljevič, Strnad a Šebek, 2004)

Hmotnostní spektrometr zahrnuje iontovou optiku, kvadrupól a detektor, plazmový zdroj pak tvoří radiofrekvenční generátor, indukční cívka, plazmový hořák, mlžná komora a zmlžovač. Pohyb iontů se uskutečňuje z prostředí atmosférického tlaku, ve kterém se vyskytuje plazmový hořák, do prostředí s vakuem, ve kterém se nachází detektor iontů (tlak až 10^{-5} Pa) (Mihaljevič, Strnad a Šebek, 2004).

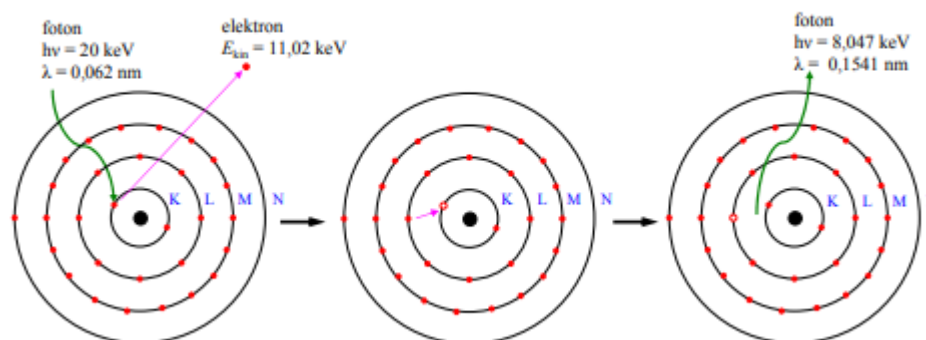
Pomocí radiofrekvenčního generátoru a indukční cívky se uvnitř hořáku z proudu argonu vytváří plazma. Uvedená metoda analyzuje kapalnou vzorek, jenž se převede pomocí argonu a zmlžovače v mlžné komoře na aerosol. Částičky aerosolu se dostávají do hořáku, kde dochází k atomizaci vzorku. Jeho teplota se pohybuje okolo 7 000 – 8 000 K (6 727 - 7 727 °C), proto je schopen ionizovat většinu prvků. Vzniklé atomy a ionty se dostávají přes expanzní komoru do vlastního spektrometru na základě tlakového gradientu. Ve spektrometru atomy a ionty prochází přes iontovou optiku do kvadrupólu, odkud jsou oscilací svého elektromagnetického pole urychleny směrem k detektoru. Ve chvíli dopadu na detektor se jejich signál zesílí elektronovým násobičem, a následně při detekci jednoho iontu vzniká kaskádový tok elektronů, který se vyhodnotí jako výsledný signál. Výsledkem analýzy je hmotnostní spektrum s rozsahem 5 až 250 atomových hmotnostních jednotek u (Mihaljevič, Strnad a Šebek, 2004).

Jelikož se jedná o mimořádně citlivou metodu prvkové, resp. nuklidové analýzy, využívá se tam, kde nelze stanovit obsah prvků jinými metodami, např. běžnou F AAS nebo GF AAS. Jedná se o stopové a ultra-stopové koncentrace toxických látek, jenž uvedená technika dokáže kvantitativně i kvalitativně vyhodnotit (Mihaljevič, Strnad a Šebek, 2004, Koplík 2016).

3.2.3 Metoda na principu rentgenového fluorescenčního záření

Metoda založená na principu rentgenového fluorescenčního záření patří mezi nejčastěji využívané metody atomové spektrometrie subvalenčních elektronů. Výhodou této metody je rychlá a nedestruktivní analýza vzorku. Lépe lze touto metodou změřit prvky s vyššími protonovými čísly, tj. čím těžší prvek, tím je metoda citlivější. Jedná se o metodu orientační a lze jí stanovit hlavní matriční prvky, ale informativně i stopové množství prvků z periodické tabulky (prvky Na až U) (Polák, 2010).

Princip metody se zakládá na schopnosti RTG záření (zdroj záření) vybudit elektrony atomu daného prvku, jejichž místo následně zaujme elektron z vyšší energetické hladiny, přitom dochází k vyzáření nadbytečné energie ve formě sekundárního RTG záření, tedy fluorescence, která je charakteristická pro každý prvek (Pertile a Čablík, 2006). Atomy určitých prvků vyzařují RTG záření, které přístroj registruje, na základě měření intenzity spektrálních čar vyhodnocuje prvkové složení vzorku, tedy množství přítomných prvků je určeno měřením intenzity jeho charakteristické energie (Koplík, 2016). Obrázek č. 4 znázorňuje vybudění elektronu z vrstvy K vysokoenergetickým rentgenovým zářením. Ve slupce K vznikne vakance, která se zaplní přeskokem elektronu z vyšší slupky (L→K). Energetický rozdíl je vyzářen ve formě sekundárního RTG záření, tedy fluorescenčním tokem fotonů (Atomová absorpční spektroskopie (AAS), c2014).



Obrázek 4 Podstata rentgenové fluorescence (Atomová absorpční spektroskopie (AAS), c2014)

Pro zachycení rentgenových fluorescenčních spekter se využívá energiově-disperzní přístroj, mezi jehož důležité součásti patří zdroj budícího záření a polovodičový detektor, který dokáže nejenom registrovat dopadající fotony, ale také stanovovat jejich energie (Mestek, 2010). Energií fotonů detektor mění na elektrické pulzy, jejichž velikost je přímo

úměrná energii fotonů, a zároveň počet pulzů je úměrný intenzitě záření (počtu fotonů); (Koplík, 2016).

Jako zdroj RTG záření se využívá rentgenová lampa, ve které při nárazu emitovaných elektronů ze záporné katody na kladnou anodu vzniká RTG záření (Pertile a Čablík, 2006).

Pomocí EDX-XRF získáme informaci o množství základní matrice (např. voda, polymer, sloučeniny oxidů atd.) a jednotlivých prvků (převážně kovů, polokovů nebo minerálů), které se v analyzovaném vzorku nachází (kvantitativní analýza). Toto množství se uvádí v hmotnostních procentech (% m/m), neboť se při vyhodnocení udává hmotnost vzorku v mg. Dalším důležitým výstupem analýzy jsou spektra RTG záření, které po proběhnutí reakce a následné detekci jednotlivých prvků, můžeme vizuálně spatřit. Na základě shlédnutí uvedených spekter, lze přesněji vyhodnotit, zda byl zaznamenaný prvek skutečně ve vzorku přítomen (kvalitativní analýza).

II. PRAKTICKÁ ČÁST

4 OBECNÉ INFORMACE O ZKOUMANÉ LOKALITĚ - PŘEROV

Kontaminace vod nebezpečnými látkami představuje velký, až celosvětový problém, neboť jsou vodní zdroje znečištěny různými polutanty nejen z ovzduší. Globální znečištění povrchových a podzemních vod ovlivňuje život rozmanitých organismů na souši, ale také ve vodním prostředí v důsledku přítomnosti toxických látek. Na území České republiky existuje hrozba překročení stanovených limitů těchto škodlivin, a to především z důvodů průmyslové činnosti, dopravy a zemědělství, zejména pak v městských oblastech. Na základě uvedených informací se předložená bakalářská práce zabývá zkoumáním kvality vod v oblasti, kde momentálně žijí, tedy ve městě Přerově a jeho blízkém okolí.

Následující data jsou zaměřena na problematiku kvality vod a jejich zdrojů z uvedené oblasti. Mohou sloužit jako podpůrný zdroj informací pro následné vyhodnocení a potvrzení nebo vyvrácení, do jaké míry je testovaná voda vhodná pro konzumaci (dle platné Vyhlášky č. 252/2004 Sb.).

4.1 Obecné informace o zkoumané lokalitě

Město Přerov se nachází na střední Moravě a konkrétně v jižní části Olomouckého kraje. Přerov se nachází v nadmořské výšce 210 m. n. m. K datu 1. 1. 2021 bylo zaznamenáno, že město má 42 096 obyvatel obývajících 13 městských částí - Přerov - město, Předmostí, Lověšice, Kozlovice, Dluhonice, Újezdec, Čekyně, Henčlov, Lýsky, Popovice, Vinary, Žeravice a Penčice. Celková výměra města Přerova, dle katastrálního území činí přibližně 5 845 ha. V roce 2006 se Přerov stal statutárním městem (Poloha města, c2000-2021), (Statistické informace, 2021).

Jedná se o významnou silniční i železniční křižovatku. Jeden z nejvýznamnějších dopravních uzlů představuje právě silnice I. třídy I/47 spojující Přerov směrem na jih s Brnem a na severovýchod s Ostravou. Další důležité silniční napojení zajišťuje komunikace č. I/55, která vede z Olomouce skrze Přerov do Otrokovic, přes Uherské Hradiště až do Břeclavi. V letošním roce probíhá kolem města Přerov výstavba nového úseku dálnice D1 Lipník nad Bečvou–Kroměříž–Vyškov–Brno. Město Přerov je dislokováno na významné železniční křižovatce tratí č. 270 Česká Třebová-Bohumín/Polsko a č. 330 Přerov-Břeclav/Slovensko/Rakousko a 331 Přerov-Brno. Úsek č. 330 a na ni navazující úsek č. 270 směrem na Ostravu se stal součástí evropské sítě TEN (Regionální agentura pro rozvoj střední Moravy, 2014).

Z uvedených informací vyplývá, že zatížení města Přerov a jeho okolí automobilovou a kamionovou dopravou se zdá být poměrně velké. Automobilová doprava vypouští do ovzduší nebezpečné polutanty a ty se mohou usazovat v půdě, povrchových vodách a následně se dostávat až do podzemních vodních zdrojů. Jejich akumulace pak může ovlivnit kvalitu vody v přírodních nádržích, které dodávají městu pitnou vodu.

Nejnovější data o ovzduší z roku 2018 popisují, že průměrná koncentrace oxidu siřičitého SO₂ za rok 2018 ve městě Přerov byla 4,6 µg/m³ a nepřekročila platné imisní limity (Životní prostředí a památková péče v roce 2018, 2019). Mezi zdroje emisí se řadí např. výroba elektrické energie, výroba tepelné energie, dopravní prostředky nebo zpracování kovů při průmyslové výrobě kyseliny sírové a jiná průmyslová a zemědělská činnost přispívající převážně k produkci nežádoucích oxidů síry, uhlíku a dusíku, popř. tuhých částic (popílků). Konkrétně oxid siřičitý společně s oxidy dusíku z ovzduší okyselují srážky a následně se ve formě kyselých dešťů dostávají do půdy i do vodních zdrojů (Oxidy síry, c2021).

Dochází tak k problematické činnosti skleníkových plynů s negativním dopadem na životní prostředí nejen ve formě uvedených kyselých dešťů, které devastují naši přírodu, ale i ve formě nepříjemného smogu, především ve velkých městech. Dalším nežádoucím jevem pak může být zvětšování ozonové díry, tedy narušování její vrstvy v atmosféře. Limitní koncentrace ozonu byla určena ve výši 120 µg/m³. Počet možných překročení činí 25 překročení za rok. V roce 2018 byla přípustná hodnota ozonu a překročena hned 34krát (Životní prostředí a památková péče v roce 2018, 2019).

Akumulace všech polutantů přispívá následně k vytvoření již zmíněného skleníkového efektu, což představuje v současné době velmi diskutované téma v rámci globálního oteplování naší planety.

4.2 Zdroje možného znečištění ve zkoumané lokalitě

Město Přerov představuje významné regionální centrum v oblasti průmyslu, většina osob žijící v této oblasti i v jejím blízkém okolí pracuje v průmyslovém sektoru. Jak již bylo popsáno, jedná se také o významný dopravní uzel, což z něj dělá město nadregionálního významu s důležitými evropskými železničními koridory a silničními komunikacemi (Průmyslové zóny, 2012). Vyskytuje se zde několik podniků, které zpracovávají těžké kovy představující tak významné riziko zamoření vod kovy, protože z těchto zdrojů hrozí jejich únik.

V rámci předložené práce zaměřené na stanovení kontaminované vody těžkými kovy, byly na území města Přerova a jeho okolí zvoleny tyto možné zdroje znečištění:

- **Meopta – optika, s. r. o.** – výzkum a vývoj, konstrukce optiky
 - přenos chromu a sloučenin v odpadech – 1 169,24 kg
 - přenos kadmia a sloučenin v odpadech – 17,31 kg
 - přenos mědi a sloučenin v odpadech – 3 471,88 kg
- **Metso Czech Republic, s. r. o.** – zpracování nerostných surovin, recyklace stavebních sutin, asfaltu, železobetonu a kovošrotu aj.
 - přenos chromu a sloučenin v odpadech – 1 953,3 kg
 - přenos niklu a sloučenin v odpadech – 5 646,52 kg
- **PME, spol. s. r. o.** – výroba strojů pro určitá odvětví průmyslu
 - přenos chromu a sloučenin v odpadech – 984,85 kg
- **PSP Machinery s. r. o.** – těžká strojírenská výroba
 - přenos chromu a sloučenin v odpadech – 3 351 kg
 - přenos mědi a sloučenin v odpadech – 4 289 kg
 - přenos niklu a sloučenin v odpadech – 3 919 kg
- **SEZAKO PŘEROV s. r. o.** – kovovýroba
 - přenos mědi a sloučenin v odpadech – 2 632 kg
 - přenos olova a sloučeniny v odpadech – 564 kg
- **Veolia Energie ČR, a.s.** – teplárna Přerov
 - přenos chromu a sloučenin v odpadech – 349,88 kg
 - přenos kadmia a sloučenin v odpadech – 5 515,42 kg
- **Vodovody a kanalizace Přerov, a.s.** – ČOV Přerov
 - přenos olova a sloučeniny v odpadech – 67 kg
 - přenos zinku a sloučenin v odpadech – 1 380,3 kg (Znečišťovatelé pod lupou, 2019)

4.3 Současný stav vod v Přerově

Důležitým vodním tokem, který protéká městem Přerov, je řeka Bečva s délkou 9,34 km, jiným významným tokem, pak Strhanec, který se do řeky Bečvy vlévá ve dvou místech. Povodí Moravy, s.p. spravuje vodní toky na tomto území (Voda, c2000-2021).

Na řece Bečvě byly vybudovány čtyři malé vodní elektrárny, z toho tři se nachází na území Přerova a v provozu je pouze jedna – MVE Lýsky.

Vodní nádrže na území Přerova jsou:

- Městský rybník – vodní plocha o rozloze 1,8 ha,
- Laguna I a II – vodní plochy o rozloze 4,9 ha,
- Vodní nádrž Lýsky – vodní plocha o rozloze 9,36 ha dříve zásobovala obyvatelstvo pitnou vodou, dnes slouží jako rybářský revír,
- Předmostí – rybník – vodní plocha o rozloze 3,16 ha (Životní prostředí a památková péče v roce 2018, 2019).

Pitnou vodu v Přerově zabezpečuje veřejná vodovodní síť, kterou provozuje akciová společnost „Vodovody a kanalizace Přerov“ (VaK), zajišťuje tedy dopravu vody přes kanalizační síť na zmiňovaném území. V roce 2006 byl veřejný vodovod dokončen také v posledních městských částech Penčice a Čekyně.

Do vodovodní sítě se voda dodává ze třech zdrojů:

- jezero Troubky,
- jezero Tovačov
- a vodní zdroje v Brodku u Přerova.

Úpravny vody Troubky a Brodek u Přerova pak vhodným způsobem přeměňují vodu z daných zdrojů na pitnou formu.

Na základě platné vyhlášky Ministerstva zdravotnictví č. 187/2005 Sb., vyhláška, kterou se mění vyhláška č. 252/2004 Sb. (novelizovaná vyhláškou 70/2018 Sb.), kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody, se o kvalitu pitné vody starají laboratoře VaK a také Krajská hygienická stanice Olomouc, pracoviště Přerov (Hřibová, 2014).

Dle dostupných zdrojů VaK, se v jejich laboratořích provádí tzv. krácený rozbor, který obsahuje chemický rozbor (např. vzhled, zákal, pH, tvrdost), při kterém se voda analyzuje i na železo a hliník, též zkrácený mikrobiologický rozbor (např. počet kolonií při teplotách 22 a 36 °C, koliformní bakterie, *E. coli* atd.), hydrobiologický rozbor a senzorický rozbor (např. pach a chuť). Testování pitné vody na přítomnost těžkých kovů mimo zmíněných prvků Fe a Al provádí Laboratorní centrum zdravotního ústavu se sídlem v Ostravě, pracoviště Olomouc dle platné vyhlášky (Úsek Laboratoře pitných vod, c2021).

V současné době se Přerov potýká s problémem znečištění řeky Bečvy. Během dvou měsíců došlo ke dvěma únikům toxických látek na Bečvě. Po prvním rozboru se ukázalo, že řeka byla jednorázově znečištěna kyanidem, který má vysoce toxické účinky pro vodní organismy a samozřejmě i pro člověka. Dle výsledků druhého rozboru vody z Bečvy, které byly odebrány v místě vyústění odpadních vod z areálu Tesla Rožnov ve Valašském Meziříčí Českou inspekcí životního prostředí 27. října 2020, voda obsahovala zvýšené množství niklu. Ten je stejně jako kyanid toxický pro vodní organismy. Nikl a jeho sloučeniny mají rakovinotvorné účinky na člověka. I nadále pokračuje šetření příčiny kontaminace Bečvy, šetření zdrojů úniku toxických látek a monitoring celé řeky (Do Bečvy unikla voda znečištěná niklem, 2020).

Bohužel, město Přerov nevěnuje dostatečnou pozornost kvalitě zdrojů pitných, povrchových ani podzemních vod. V ročenkách ŽP za posledních 10 let se autoři zmiňují o vodním hospodářství pouze v oblasti povodňové. I z tohoto důvodu se uvedená práce věnuje vzpomínané problematice znečištění vod v oblasti města Přerova a jeho okolí (Životní prostředí a památková péče v roce 2018, 2019).

5 ODBĚR VZORKŮ VODY, POUŽITÉ PŘÍSTROJOVÉ VYBAVENÍ A CHEMIKÁLIE

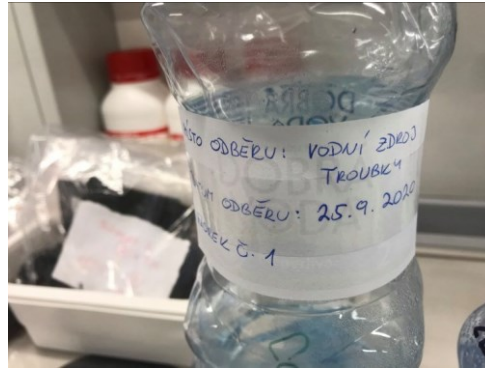
Následující kapitola předložené práce se zaměřuje na charakterizaci míst, ze kterých bylo provedeno vzorkování vod pro elementární analýzu. Dále je zde rozepsán postup odběru vzorků pitné vody a rovněž zde budou prezentovány použité přístroje a chemikálie potřebné k elementárním analýzám těžkých kovů z vod.

5.1 Postup odběru vzorků

Na zvoleném místě byl vzorek odebrán na základě pokynů pro odběr pitné vody podle vodohospodářské laboratoře podniku „Povodí Moravy“. Laboratoř doporučuje pro základní chemický rozbor a stanovení těžkých kovů využít jejich vzorkovnici pro odběr vzorků, kterou lze vyzvednout v laboratořích (Olomouc, Brno, Uherské Hradiště). Je však dostatečné vzorky vod umístit i do čistých PET lahví (1 500 ml) od nesycené a neslazené balené vody. Odběr vzorků pro zpracování výsledků uvedených v předložené bakalářské práci byl tedy realizován do PET lahví.

Při odběru vody z vodovodních sítí a ze studní se použil vodovodní kohoutek, který se v domácnosti nejvíce využívá. Vodovodní kohoutek byl v případě potřeby zbaven přídatných zařízení (perlátory, hadice apod.) Zhruba 1 minutu se stagnující voda v kohoutku i v potrubí nechala odpustit do konstantní teploty (voda se odebírala studená). Kohoutek se neuzavíral, při odebírání se pouze zpomalil proud, aby při plnění vzorkovnice nedocházelo k vystříkávání. Následně se vzorkovnice opláchla odebíranou vodou, opět se vložila do proudu odtékající vody a naplnila na přetečení, tj. bez vzduchové kapsy. Poté se vzorkovnice uzavřela a na její povrch byly zapsány datum a místo odběru, včetně zdroje vody (viz obrázek č. 5); (Pokyny k odběru vzorku pitné vody, 2012).

Voda z vodní nádrže byla odebrána tak, že PET láhev byla několikrát propláchnuta odebíranou vodou a následně byla celé ponořena do vody. Tak se naplnila bez vzduchové kapsy.



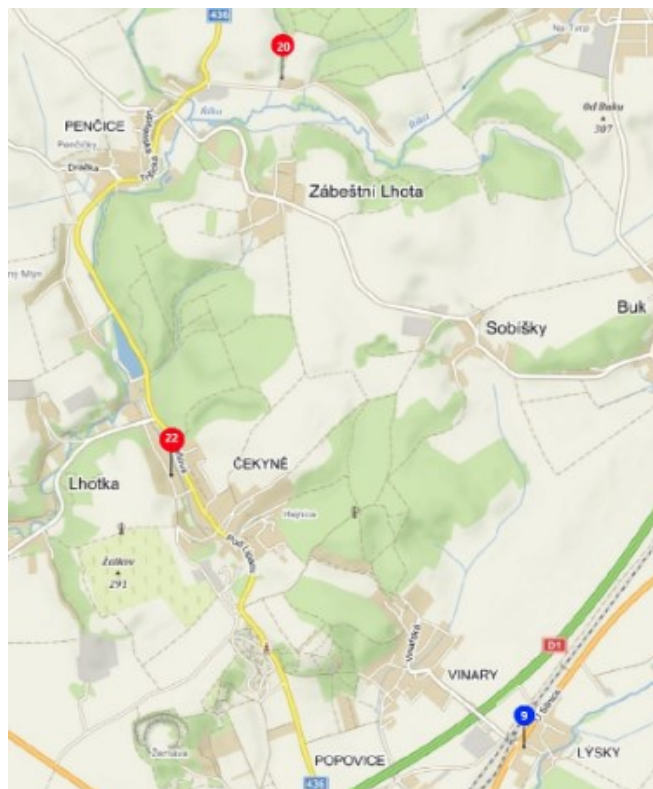
Obrázek 5 Vzorek odebrané vody (Zdroj: vlastní)

Vzorky vody byly odebírány ze třech různých zdrojů:

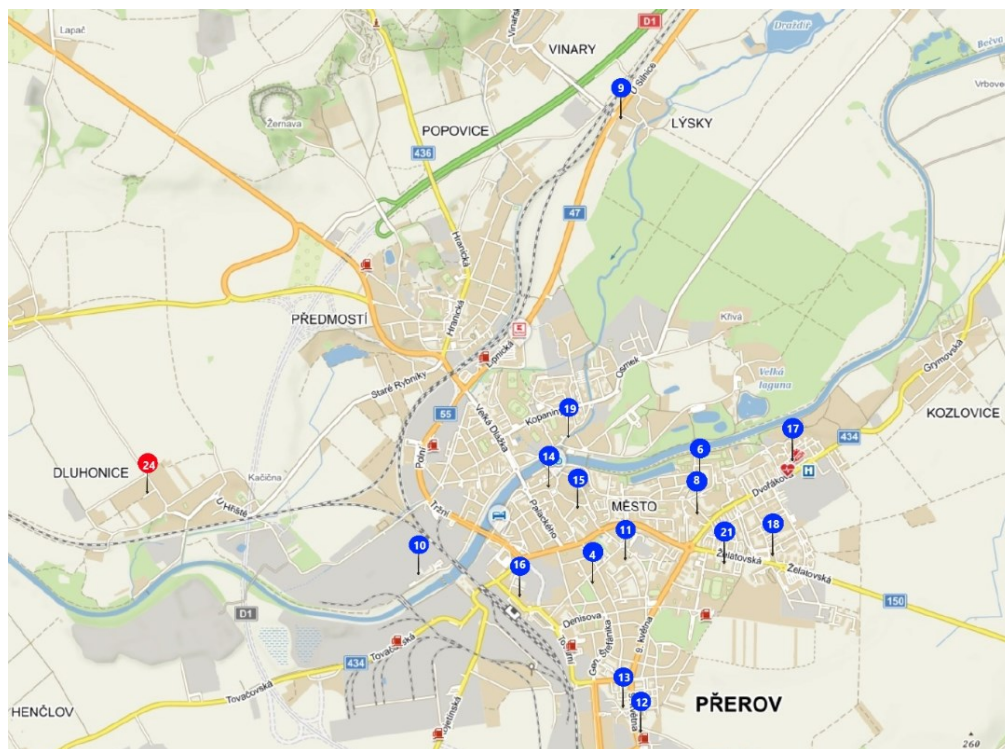
- z vodovodní sítě
- ze studní (z podzemních vod)
- z vodní nádrže (vodní zdroj, ochranné pásmo, II. stupeň), odkud město Přerov čerpá pitnou vodu

5.2 Místa odběrů vzorku

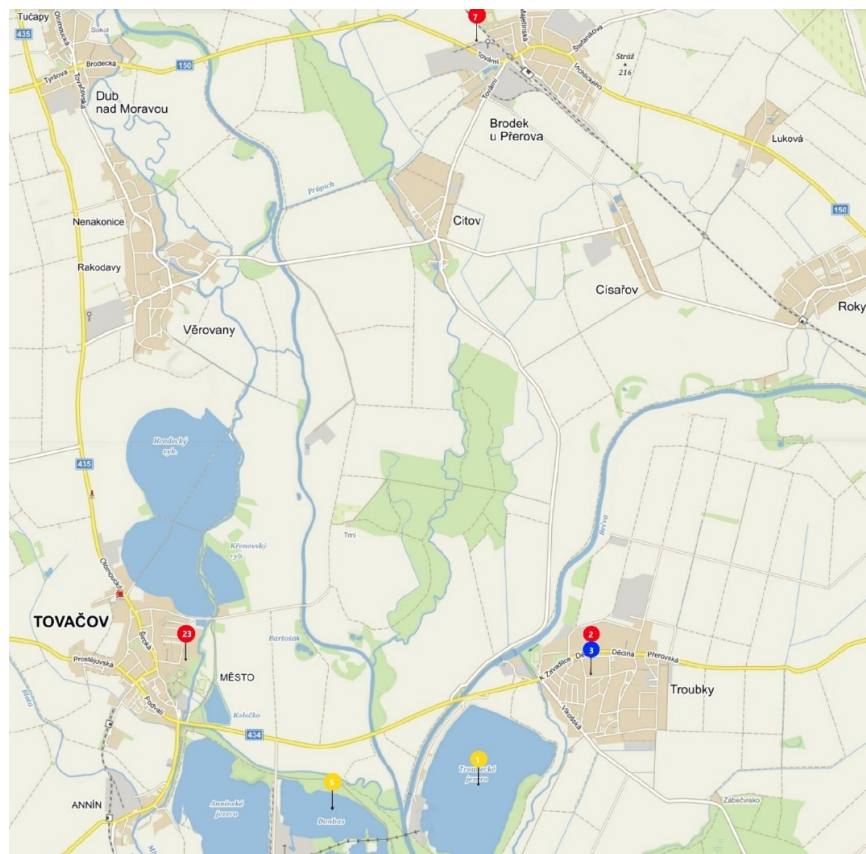
Místa odběrů vzorků vod z města Přerov a jeho okolí jsou znázorněna na obrázcích č. 6 - 8.



Obrázek 6 Mapa s vyznačenými místy odběru vzorků vody na sever od Přerova (Obrázek vlastní, zdroj: Mapy.cz, 2021)



Obrázek 7 Mapa s vyznačenými místy odběru vzorků vody v oblasti města (Obrázek vlastní, zdroj: Mapy.cz, 2021)



Obrázek 8 Mapa s vyznačenými místy odběru vzorků vody na západ od Přešova (Obrázek vlastní, zdroj: Mapy.cz, 2021)

kde: modrá barva značí vodovodní síť, červená studny a žlutá vodní nádrže.

Vzorkování vzorků vod proběhlo v pěti dnech – 25., 28. a 29. září, 11. října a 19. října 2020 na území města Přerova a jeho blízkého okolí. Bylo odebráno 24 vzorků z různých míst a zdrojů. Místa odběru vzorků byly vybrány tak, aby pokryly celé území města Přerova a z části jeho okolí a výsledky analýzy byly relevantní. Vzorky byly odebrány ze zdrojů, kde se předpokládá akumulace většího počtu obyvatel a v blízkosti se nachází i potenciální zdroj znečištění, např. průmyslová výroba atd.

V tabulce č. 3 jsou uvedeny údaje o místech odběru vzorku pitné vody.

Tabulka 3 – Popis odběrných míst analyzovaných vzorků (Zdroj: vlastní)

Vzorek	Místo odběru	GPS souřadnice	Datum odběru	Zdroj
1	Vodní nádrž Troubky	49.4210067N, 17.3309386E	24. 9. 2020	vodní nádrž
2	Vrbí, Troubky	49.4302778N, 17.3454708E	24. 9. 2020	studna
3	Vrbí, Troubky	49.4302778N, 17.3454708E	24. 9. 2020	vodovodní síť
4	Náměstí Svobody, Přerov	49.4490100N, 17.4530164E	28. 9. 2020	vodovodní síť
5	Tovačovské jezero	49.4184758N, 17.3116164E	28. 9. 2020	vodní nádrž
6	Kosmasova, Přerov	49.4556542N, 17.4638044E	28. 9. 2020	vodovodní síť
7	Brodek u Přerov	49.4847753N, 17.3308269E	28. 9. 2020	studna
8	Vsadsko, Přerov	49.4535675N, 17.4636242E	28. 9. 2020	vodovodní síť
9	Lýsky	49.4792597N, 17.4557211E	29. 9. 2020	vodovodní síť
10	Precheza, Přerov	49.4495164N, 17.4356231E	29. 9. 2020	vodovodní síť
11	Čechova, Přerov	49.4504775N, 17.4564361E	11. 10. 2020	vodovodní síť
12	9. května, Přerov	49.4393744N, 17.4579239E	11. 10. 2020	vodovodní síť
44-4513	Jižní čtvrť, Přerov	49.4409739N, 17.4561186E	11. 10. 2020	vodovodní síť
14	Nám. T. G. Masaryka, Přerov	49.4551583N, 17.4487267E	11. 10. 2020	vodovodní síť
15	Wilsonova, Přerov	49.4540428N, 17.4515392E	11. 10. 2020	vodovodní síť
16	Husova, Přerov	49.4479631N, 17.4456547E	11. 10. 2020	vodovodní síť

Vzorek	Místo odběru	GPS souřadnice	Datum odběru	Zdroj
17	Dvořákova, Přerov	49.4568719N, 17.4736642E	11. 10. 2020	vodovodní síť
18	Želatovská, Přerov	49.4508497N, 17.4710969E	11. 10. 2020	vodovodní síť
19	Za Mlýnem, Přerov	49.4584631N, 17.4505969E	19. 10. 2020	vodovodní síť
20	Penčice	49.5205269N, 17.4329661E	19. 10. 2020	studna
21	Neumannova, Přerov	49.4502717N, 17.4662642E	19. 10. 2020	vodovodní síť
22	Čekyně	49.4957881N, 17.4224511E	19. 10. 2020	studna
23	Tovačov	49.4313911N, 17.2922436E	19. 10. 2020	studna
24	Dluhonice	49.4549492N, 17.4087083E	19. 10. 2020	studna

5.3 Použité přístroje a chemikálie

Všechny následující uvedené postupy a analýzy byly prováděny v laboratorním zázemí Univerzitního institutu Centra polymerních systémů UTB ve Zlíně.

- Použité přístroje a vybavení
 - AAS Spektrofotometr DUO 240FS/240Z/UltrAA, (Agilent technologies, USA)
 - Spektrofotometr s rentgenovým zářením EDX-XRF (Thermo Scientific, SR)
 - Teflonové kelímky
 - Celulózové fólie (Pragolab)
 - Speciální 2 ml plastové zkumavky (Agilent technologies)
 - Mikropipety
 - Odměrné baňky
 - Analytické váhy
- Chemikálie
 - Destilovaná voda
 - 1 % HNO₃ (Merck)

- 1 % roztok kyseliny askorbové (Sigma-Aldrich)
- Zásobní roztok paládia 10 g/l v 5% HNO₃ (Merck)
- Kalibrační standard arsenu s koncentrací 100 µg/l v prostředí 3% HNO₃ (Agilent technologies)
- Kalibrační standard chromu s koncentrací 25 µg/l v prostředí 3% HNO₃ (Agilent technologies)
- Kalibrační standard hliníku s koncentrací 25 µg/l v prostředí 3% HNO₃ (Agilent technologies)
- Kalibrační standard kadmia s koncentrací 1 µg/l v prostředí 3% HNO₃ (Agilent technologies)
- Kalibrační standard kobaltu s koncentrací 50 µg/l v prostředí 3% HNO₃ (Agilent technologies)
- Kalibrační standard mědi s koncentrací 25 µg/l v prostředí 3% HNO₃ (Agilent technologies)
- Kalibrační standard olova s koncentrací 50 µg/l v prostředí 3% HNO₃ (Agilent technologies)
- Kalibrační standard železa s koncentrací 20 µg/l v prostředí 3% HNO₃ (Agilent technologies)

Vzorky pitné vody nebylo potřebné dále upravovat (např. mineralizace v kyselém prostředí), neboť stanovení kovů pomocí metody atomové absorpční spektroskopie (AAS) vyžaduje kapalný vzorek bez příměsí, viz princip metody (kap. 3.2.1). Voda neobsahovala žádné pevné fáze a nerozpustné viditelné částice, které by mohly poškodit přístroj ucpáním některých jeho částí. Vzorky nemusely být upravovány ani pro analýzu EDX (energieově-disperzní spektrometrie) vzhledem k tomu, že tato metoda měří vzorky v pevné, sytké, práškové i kapalné formě.

6 STANOVENÍ KONCENTRACE VYBRANÝCH KOVŮ VE VZORCÍCH

V následné části bakalářské práce budou prezentovány výsledky stanovení množství zvolených prvků v analyzovaných vzorcích vod. Jednotlivé vzorky byly nejprve podrobeny orientační metodě pomocí energiově-disperzní spektroskopie s rentgenovým zářením (EDX-XRF), následně pak pomocí atomové absorpční spektrometrie (AAS), pro určení přesného množství kovů (koncentrační hodnoty).

6.1 Elementární analýza kovů metodou EDX-XRF

Metoda EDX-XRF je založena na principu rentgenového fluorescenčního záření (viz kapitola 3.2.3). Výsledkem měření jsou detekovatelné prvky v hmotnostních %, které se v daném vzorku nachází, pokud nejsou pod limitem detekce (pod 0,5 %). Metoda zaručuje přesné výsledky nad 5 %. Ve výsledných spektrech každého analyzovaného vzorku lze pak ověřit přítomnost daného prvku.

Pro stanovení vybraných těžkých kovů ve vzorcích vod byla nejprve použita metoda EDX-XRF, která není zcela přesná oproti metodě AAS. Na základě uvedené metody lze stanovit prvky základní matrice a rovněž další prvky, které se ve vzorku mohou vyskytovat.

Metoda EDX-XRF se řadí ovšem mezi velmi rychlé, poměrně nenáročné analýzy a na úpravu vzorků jsou kladeny minimální požadavky, lze měřit prvky v pevné i kapalné fázi, jedná se tedy o nedestruktivní metodu (Koplík, 2016).

Protože se vzorek vyhodnocuje v hmotnostních procentech (% m/m), bylo potřebné vzorek před analýzou zvážit (mg) na analytických vahách a určit jeho tloušťku (mm). Kapalný vzorek se aplikoval (napipetoval, navázil) do speciálního teflonového kelímku, přikryl speciální mikrocelulózovou fólií, následně se zafixoval teflonovým kroužkem. Kelímek se otočil dnem vzhůru kvůli ověření těsnící schopnosti kroužku, a neprůchodnosti fólie (zda vzorek nevytekl). V případě měření sypkého vzorku se aplikuje do kelímku podobně jako vzorek tekutý.

Tímto způsobem se vzorky vložily do autosampleru přístroje, v PC se otevřel program Quant X, kde bylo nejprve nezbytné popsat vzorky v takovém pořadí, v jakém byly do přístroje vloženy, následně se mohla spustit analýza. Až po ukončení měření, tedy při vyhodnocování, se do programu zadaly parametry vzorku: hmotnost (mg), výška (mm), materiál, z něhož je vyhotoven kelímek, průměr pevného vzorku, popř. průměr kelímku (mm), tloušťka fólie

(μm), atmosféra prostředí (hélium, vakuum, nebo vzduch) a odhad množství základní matrice (%).

Při analýze vzorků byl použit kelímek o průměru 25 mm, tloušťka fólie 3,5 μm , metoda „Any sample air“ (v prostředí vzduchu). Velmi důležité bylo uvést informaci o základní matrici, jeho přibližné množství (% hmot), v tomto případě byla základní matrice voda. Prvky i přesnější množství matrice si následně systém vyhodnotil sám dle zadaných parametrů pro každý vzorek.

Měření vzorku probíhalo 3x. Relativní směrodatná odchylka měření činila 0,00087 – 0,00015 %. Výsledek analýzy demonstruje tabulka č. 4.

Tabulka 4 Hmotnostní zastoupení (% m/m) jednotlivých prvků testovaných vzorků stanovené pomocí EDX-XRF (Zdroj: vlastní)

Vzorek/ prvek	H ₂ O [%]	Ca [%]	K [%]	Mg [%]	Cl [%]	As [%]	Mn [%]	In [%]	Sn [%]	Fe [%]
1	99,9	0,1	/	/	/	/	/	/	/	/
2	99,98	0,0091	0,0109	/	/	/	/	/	/	/
3	99,9	0,1	/	/	/	/	/	/	/	/
4	99,9	/	/	0,1	/	/	/	/	/	/
5	100	/	/	/	/	/	/	/	/	/
6	99,9	0,1	/	/	/	/	/	/	/	/
7	99,9	0,05	/	0,05	/	/	/	/	/	/
8	100	/	/	/	/	/	/	/	/	/
9	100	/	/	/	/	/	/	/	/	/
10	99,96	0,0141	0,0117	/	0,0142	/	/	/	/	/
11	99,94	0,0175	/	/	/	0,0085	0,0061	0,0227	0,0052	/
12	99,93	0,0286	/	/	/	0,0167	0,0096	0,01	0,0051	/
13	99,99	0,01	/	/	/	/	/	/	/	/
14	100	/	/	/	/	/	/	/	/	/
15	100	/	/	/	/	/	/	/	/	/
16	99,9	0,0432	0,0216	/	0,0042	0,0087	0,0066	0,01	0,0057	/
17	99,93	0,0346	0,0085	/	0,0082	0,0187	/	/	/	/
18	100	/	/	/	/	/	/	/	/	/
19	100	/	/	/	/	/	/	/	/	/
20	99,9	0,065	/	/	/	0,0185	/	/	0,0165	/
21	99,96	0,0149	0,0106	/	0,0145	/	/	/	/	/
22	99,93	0,0516	/	/	/	0,0184	/	/	/	/
23	99,94	0,0141	/	/	/	/	/	/	/	0,0459
24	99,91	0,055	0,023	/	/	/	/	0,012	/	/

Výše uvedená tabulka udává množství (% m/m) detekovaných prvků zastoupených v odebraných vzorcích analyzované vody a množství základní matrice (voda). U většiny vzorků bylo stanoveno i určité množství minerálních látek, mezi které patří např. vápník, dále draslík, hořčík jako zástupci minerálních forem kationtů a chlór jako zástupce forem aniontů minerálních látek, které se ve vodě vyskytují ve formě vázaných sloučenin (solí atd.). U vzorků 11, 12, 16, 17, 20 a 22 bylo pomocí metody EDX-XRF stanoveno i

zanedbatelné množství arsenu, podobně jako u vzorku č. 23, kde bylo zaznamenáno menší množství železa, které se mohlo uvolnit do vody z vodovodního potrubí, nebo se vodní zdroj mohl nacházet v podloží s vyšším výskytem přírodního železa. Oba prvky však byly stanoveny pod limitem detekce uvedené metody. Přesné množství kovů ve vzorcích vod bylo následně stanoveno pomocí metody AAS (atomová absorpční spektroskopie).

6.2 Elementární analýza kovů metodou ASS na grafitové kyvetě

Pro stanovení množství prvků ve vzorku byl použit atomový absorpční spektrofotometr (Agilent DUO 240FS/240Z), konkrétně systém GF AAS (grafitová kyveta). Vzorky byly připraveny po vzorkování v plastových PET lahvích (0,5 – 1 l) při pokojové teplotě (RT). Ze zásobních roztoků standardů jednotlivých prvků (1000 mg/l v 3% HNO₃) byly k analýze připraveny roztoky standardů pro vytvoření koncentrační řady. Po zapnutí přístroje, vody a spuštění přívodu plynného argonu, bylo potřeba zapnout také program SpectrAA, který sloužil k ovládání a naprogramování analýzy, dávkování vzorků z autosampleru do grafitové kyvety a vyhodnocení celkových dat. Dále byla do přístroje umístěna lampa (výbojka s dutou katodou), pro prvek, který se v danou chvíli zkoumal.

Po nastavení těchto základních úkonů byly do karuselu autosampleru vloženy jednotlivé vzorky ve 2ml plastových zkumavkách, kde byl na první pozici umístěn tzv. blank (destilovaná voda) jako kontrola analýzy a na druhé pozici standard pro kontrolu správnosti měření. Další pozice byly obsazeny jednotlivými vzorky, každý prvek byl vložen dvakrát, na konci pak zkumavka s destilovanou vodou pro oplach. Teplotní program s různými časovými intervaly mezi jednotlivými kroky si přístroj nastavil automaticky, podobně jako dávkování standardů a vzorků do grafitové kyvety. Samotný teplotní program zahrnoval 9 kroků, při kterých docházelo k postupnému narůstání teploty z 0 °C až na 2 300 - 2600 °C, způsobující atomizaci vzorku, přičemž nejvyšší teplota byla potřebná na pročištění (vypálení kyvety).

Před zpuštěním analýzy pomocí programu SpectrAA byly nastaveny programem doporučené hodnoty koncentrační řady pro sestavení kalibrace (většinou 3-5 roztoků o vzrůstajících hodnotách koncentrace). Následně došlo ke změření kalibrační křivky daného prvku, přičemž přístroj si pro její sestavení automaticky dávkoval množství blanku a standardu, které byly navoleny před spuštěním analýzy. Po kalibraci pokračovalo měření kontrolních vzorků blanku a standardu, a poté pak vzorků odebrané vody.

Všechny měření daných prvků byly provedeny po optimalizačních krocích jednotlivých parametrů analýzy. Pro správný průběh analýzy, bylo nutné použít modifikátor na bázi paládia, který stabilizuje prvek pro jeho efektivní stanovení. Modifikátor se používá v případě nestabilních, prchavých prvků (např. arsen). Roztok paládia pro AAS stanovení se připravil smícháním kyseliny askorbové a roztoku paládia o koncentraci 1 g/l v poměru 1:1. Jeho použití bylo nezbytné v případě stanovení prvků arsen, chrom, kadmium, kobalt, měď, olovo a železo.

V tabulce č. 5 jsou uvedeny důležité parametry metody potřebné pro stanovení jednotlivých prvků na grafitové kyvetě.

Tabulka 5 Parametry metody GF AAS po optimalizačních krocích vedoucí ke snadnějšímu průběhu analýzy (Zdroj: vlastní)

Prvek/parametr	Standard [µg/l]	Gain [%]	Modifikátor	Vlnová délka [nm]	Teplota posledního kroku atomizace [°C]
Arsen (As)	100	84	ano	193,7	2600
Chrom (Cr)	25	52	ano	429	2600
Hliník (Al)	25	56	ne	396,2	2500
Kadmium (Cd)	1	72	ano	228,8	1800
Kobalt (Co)	50	78	ano	242,5	2300
Měď (Cu)	25	61	ano	324,8	2300
Olovo (Pb)	50	55	ano	283,3	2100
Železo (Fe)	20	75	ano	372	2300

Kde: gain – nastavení ideální hodnoty signálu měření pro analytické stanovení prvku.

Pro stanovení jednotlivých prvků bylo doporučeno programem SpektrAA vytvořit kalibrační křivky pomocí uvedených koncentračních hodnot roztoků ze zásobních roztoků standardů zkoumaných prvků:

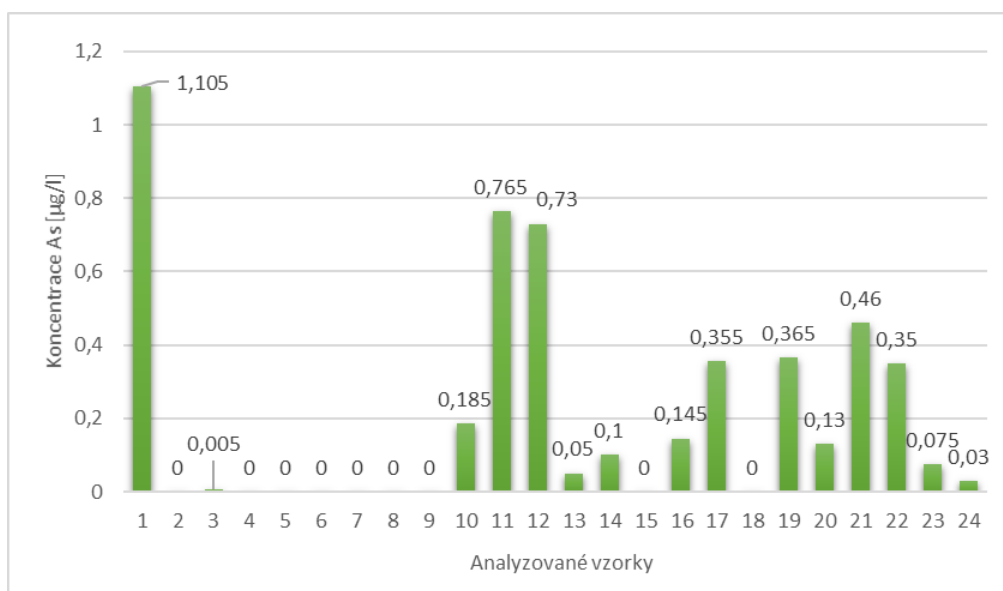
- arsen - zásobní roztok standardu 100 µg/l, koncentrační řada – 20; 50; 80 a 100 µg/l
- chrom - zásobní roztok standardu 25 µg/l, koncentrační řada – 5; 7,5; 12,5 a 25 µg/l
- hliník - zásobní roztok standardu 25 µg/l, koncentrační řada – 5; 12,5; 20 a 25 µg/l
- kadmium - zásobní roztok standardu 1 µg/l, koncentrační řada – 0,3; 0,5; 0,8 a 1 µg/l
- kobalt - zásobní roztok standardu 50 µg/l, koncentrační řada – 10; 20; 30 a 50 µg/l

- měď - zásobní roztok standardu 25 $\mu\text{g/l}$, koncentrační řada – 5; 12,5; 20 a 25 $\mu\text{g/l}$
- olovo - zásobní roztok standardu 50 $\mu\text{g/l}$, koncentrační řada – 10; 20; 35 a 50 $\mu\text{g/l}$
- železo - zásobní roztok standardu 20 $\mu\text{g/l}$, koncentrační řada – 2; 4; 10 a 20 $\mu\text{g/l}$

Na začátku měření vzorků byly vždy ověřeny hodnoty blanku a standardu pro efektivní nastavení metodiky (optimalizace procesu). Měření probíhalo 3x pro každý vzorek a z těchto měření byla stanovena průměrná hodnota koncentrace prvku ve vzorku. Přístroj tak vyhodnotil celkové množství prvku v měřeném vzorku.

Na obrázcích č. 9 – 15 jsou uvedeny naměřené hodnoty analyzovaných vzorků pro všechny prvky kromě chromu, kde byly hodnoty podlimitní.

6.2.1 Stanovení As



Obrázek 9 Obsah arsenu ve vzorcích vod (Zdroj: vlastní)

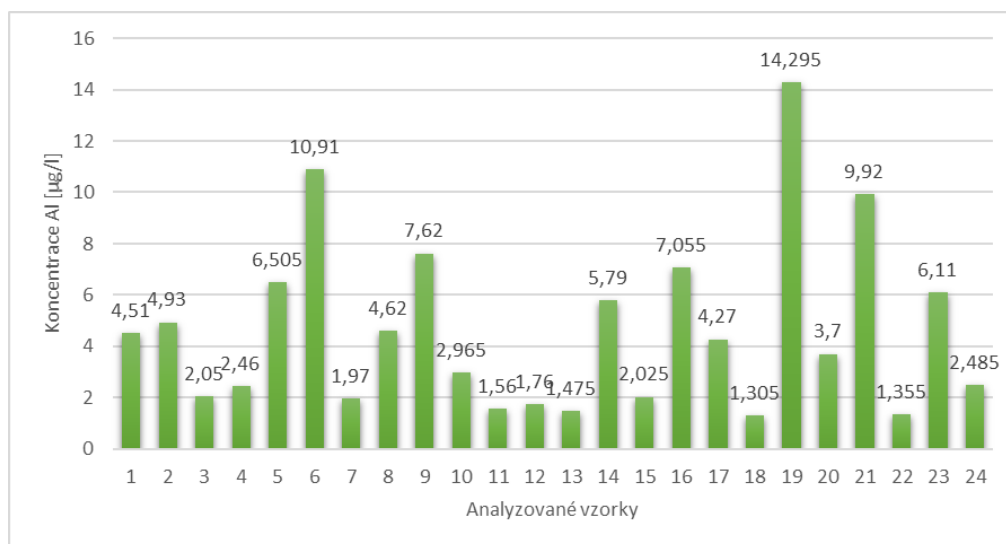
Nejvyšší naměřená hodnota arsenu byla ve vzorku 1, který byl odebrán na místě 49.4210067N, 17.3309386E, z vodní nádrže Troubky, odkud město Přerov čerpá pitnou vodu. Ve vzorku byla naměřena koncentrace 1,105 $\mu\text{g/l}$. Ve vzorcích 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 15 a 18 byla naměřena hodnota pod mezi detekce použitého přístroje.

Nejvyšší mezní hodnota pro arsen v pitné vodě dána vyhláškou č. 70/2018 Sb. je 10 $\mu\text{g/l}$ (tabulka 1). V souladu s výše zmíněnou vyhláškou, všechny odebrané vzorky pitné vody splňují limitní hodnotu arsenu v pitné vodě. Kvalita pitné vody na území města z hlediska obsahu arsenu vyhovuje předepsaným normám. Preventivní kontroly a monitoring pitných vod jsou dostačující.

6.2.2 Stanovení Cr

Ve všech měřených vzorcích byla naměřena hodnota pod mezi detekce použitého přístroje (data neuvedena – hodnoty pod limit detekce). Lze konstatovat, že chrom se v pitných vodách na území Přerova nevyskytuje a je zanedbatelný.

6.2.3 Stanovení Al



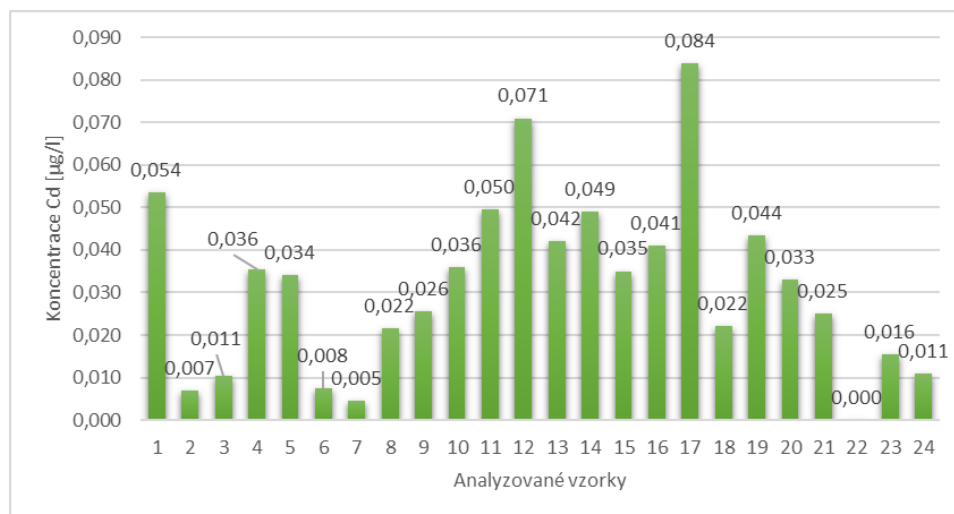
Obrázek 10 Obsah hliníku ve vzorcích vod (Zdroj: vlastní)

Nejvyšší naměřená hodnota hliníku byla ve vzorku 19, který byl odebrán na místě 49.4584631N 17.4505969E, a to z vodovodní sítě na ulici za Mlýnem v Přerově. Ve vzorku byla naměřena koncentrace 14,295 µg/l. Naopak nejnižší hodnota byla zaznamenána ve vzorku 18, který byl odebrán na místě 49.4508497N, 17.4710969E, tedy z vodovodní sítě na ulici Želatovská.

Mezní hodnota pro hliník v pitné vodě dána vyhláškou č. 70/2018 Sb. je 0,2 mg/l (tabulka 1). V souladu s výše zmíněnou vyhláškou, všechny odebrané vzorky pitné vody splňují limitní hodnotu hliníku v pitné vodě. Mírně zvýšené množství hliníku v některých vzorcích může být způsobeno jeho uvolněním z vodovodního potrubí, nebo také z úpravy vody (soli hliníku se používají jako srážedla). Malý obsah prvku byl zaznamenán také ve vzorku blanku, i zde může být nenulová hodnota zapříčiněna uvolňováním Al při odběru vody z vodovodního systému.

Kvalita pitné vody na území města z hlediska obsahu hliníku vyhovuje předepsaným normám. Preventivní kontroly a monitoring pitných vod jsou dostačující.

6.2.4 Stanovení Cd

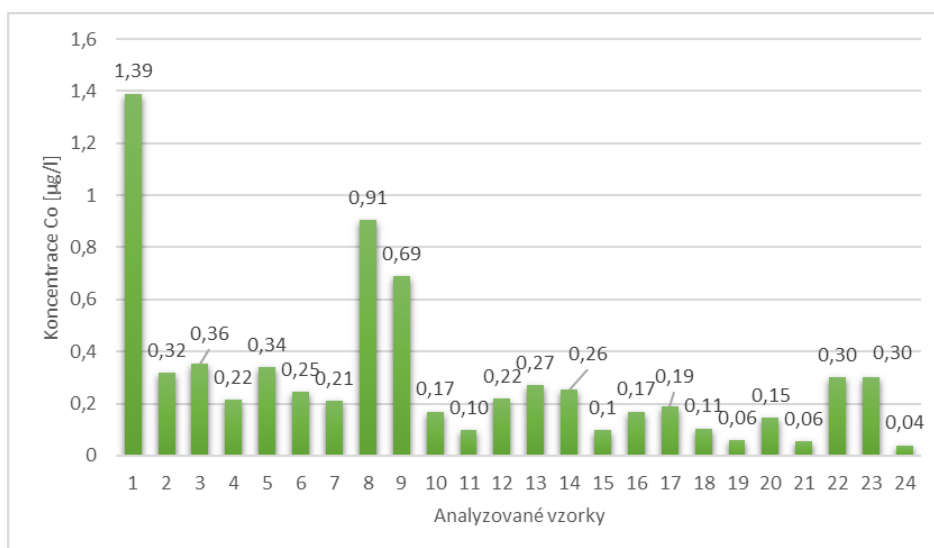


Obrázek 11 Obsah kadmia ve vzorcích vod (Zdroj: vlastní)

Nejvyšší naměřená hodnota prvku byla ve vzorku 17, který byl odebrán na místě 49.4568719N, 17.4736642E, a to z vodovodní sítě na ulici Dvořákova v Přerově. Ve vzorku byla naměřena koncentrace 0,084 µg/l.

Nejvyšší mezní hodnota pro Cd v pitné vodě dána vyhláškou č. 70/2018 Sb. je 5 µg/l (tabulka 1). V souladu se zmiňovanou vyhláškou, všechny odebrané vzorky pitné vody splňují limitní hodnotu kadmia v pitné vodě. Kvalita pitné vody na území města z hlediska obsahu kadmia vyhovuje předepsaným normám. Preventivní kontroly a monitoring pitných vod jsou dostačující.

6.2.5 Stanovení Co

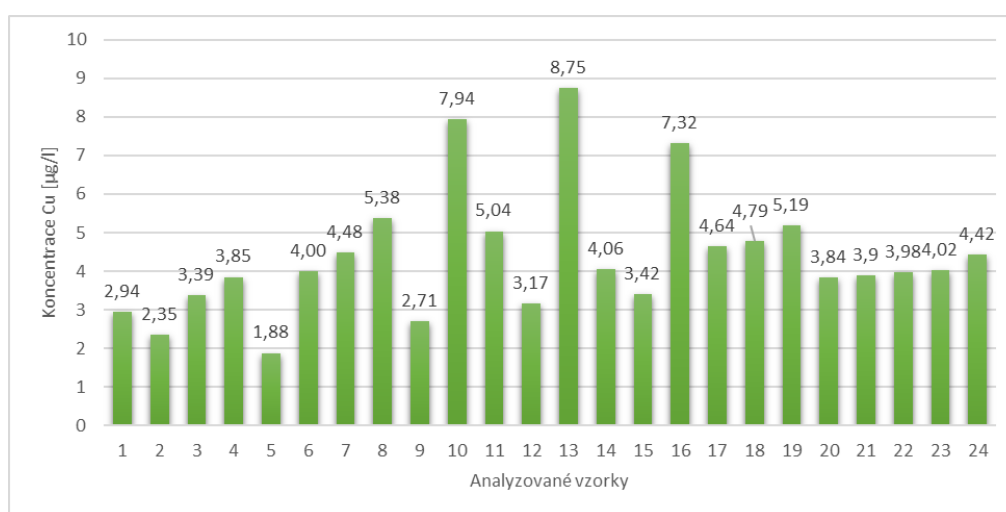


Obrázek 12 Obsah kobaltu ve vzorcích vod (Zdroj: vlastní)

Nejvyšší naměřená hodnota kobaltu byla ve vzorku 1, který byl odebrán na místě 49.4210067N, 17.3309386E, a to z vodní nádrže Troubky. Ve vzorku byla naměřena koncentrace 1,39 $\mu\text{g/l}$. Naopak nejnižší hodnota byla zaznamenána ve vzorku 24, který byl 49.4549492N, 17.4087083E, tj. ze studny rodinného domu v Dluhonicích.

Vyhláška č. 252/2004 Sb. (novelizována vyhláškou 70/2018 Sb.) nedefinuje limitní hodnoty kobaltu pro pitnou vodu, ale kobalt byl stanovován ve vzorcích, protože se řadí mezi těžké kovy.

6.2.6 Stanovení Cu

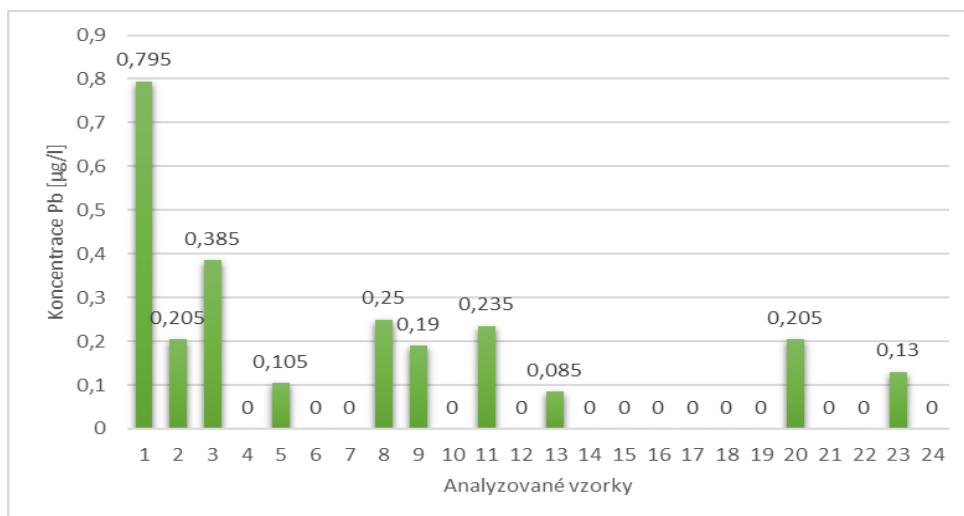


Obrázek 13 Obsah mědi ve vzorcích vod (Zdroj: vlastní)

Nejvyšší naměřená hodnota mědi byla ve vzorku 13, který byl odebrán na místě 49.4409739N, 17.4561186E, a to z vodovodní sítě na ulici Jižní čtvrť v Přerově. Ve vzorku byla naměřena koncentrace 8,75 $\mu\text{g/l}$. Naopak nejnižší hodnota byla zaznamenána ve vzorku 5, který byl odebrán na místě 49.4184758N, 17.3116164E. Pro Cu platí, že se může objevovat v běžné vodě, na základě uvolnění z vodovodního potrubí, proto byl ve vzorcích naměřen malý obsah tohoto prvku.

Nejvyšší mezní hodnota pro měď v pitné vodě dána vyhláškou č. 70/2018 Sb. je 1000 $\mu\text{g/l}$ (tabulka 1). V souladu s výše zmíněnou vyhláškou, všechny odebrané vzorky pitné vody splňují limitní hodnotu mědi v pitné vodě. Kvalita pitné vody na území města z hlediska obsahu mědi vyhovuje předepsaným normám. Preventivní kontroly a monitoring pitných vod jsou dostačující.

6.2.7 Stanovení Pb

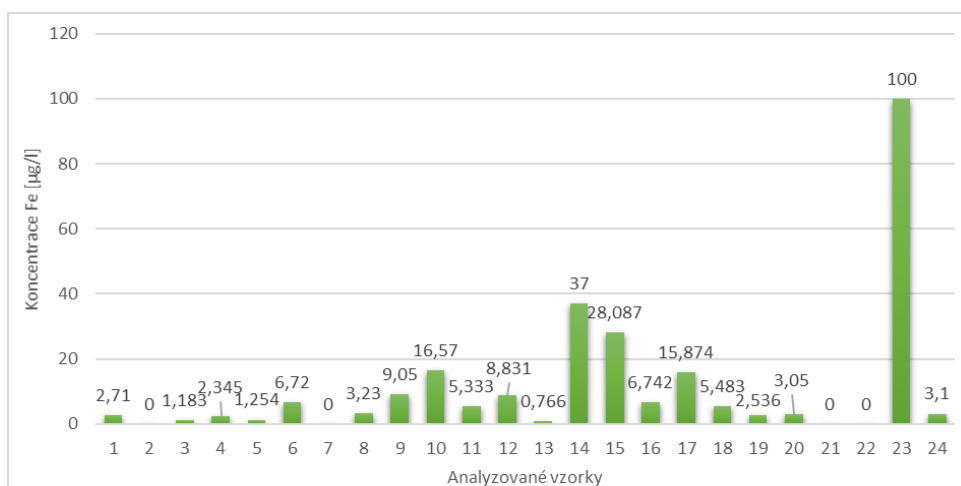


Obrázek 14 Obsah olova ve vzorcích vod (Zdroj: vlastní)

Nejvyšší naměřená hodnota olova byla ve vzorku 1, který byl odebrán na místě 49.4210067N, 17.3309386E, a to z vodní nádrže Troubky, odkud je čerpána pitná voda pro obyvatele Přerova. Ve vzorku byla naměřena koncentrace 0,795 µg/l. Ve vzorcích 4, 6, 7, 10, 12, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 21, 22 a 24 byla naměřena hodnota pod mezi detekce použitého přístroje.

Největší mezní hodnota pro olovo v pitné vodě dána vyhláškou č. 70/2018 Sb. je 10 µg/l (tabulka 1). V souladu s výše zmíněnou vyhláškou, všechny odebrané vzorky pitné vody splňují limitní hodnotu olova v pitné vodě. Lze konstatovat, že kvalita pitné vody z hlediska obsahu olova ve městě Přerov vyhovuje předepsaným normám.

6.2.8 Stanovení Fe



Obrázek 15 Obsah železa ve vzorcích vod (Zdroj: vlastní)

Nejvyšší naměřená hodnota železa byla ve vzorku 23, který byl odebrán na místě 49.4313911N, 17.2922436E, konkrétně v obci Tovačov, která nespadá pod město, ale oblast tovačovských jezer je jedním ze zdrojů vody pro občany Přerova, z toho důvodu byl vzorek odebrán i v této obci, a to konkrétně ze studny. Ve vzorku bylo značně překročeno množství železa nad hodnotu standardu, přístroj vyhodnotil množství Fe jako 100 µg/l. I vizuálně byl vzorek zakalen do oranžova. Ve vzorcích 2, 7, 21 a 22 byla naměřena hodnota pod mezi detekce použitého přístroje.

Mezní hodnota pro železo v pitné vodě dána vyhláškou č. 70/2018 Sb. je 0,20 mg/l (tabulka 1). Ve vzorku 23 byla hodnota Fe hodně vysoká oproti jiným vzorkům. Zdrojem prvku v pitné vodě mohou být zkorodované trubky, které transportují vodu do domácností a ze kterých se kov uvolňuje do vody, nebo místo odběru může být lokalizováno v podloží s vyšším výskytem přírodního Fe. Ve zbylých vzorcích je obsah železa v souladu s platnou vyhláškou a lze konstatovat, že kvalita pitné vody z hlediska obsahu železa ve městě Přerov vyhovuje předepsaným normám.

7 NÁVRHY OPATŘENÍ KE SNÍŽENÍ KONTAMINACE VOD

Jak již bylo uvedeno, o zajištění kvality pitné vody pro město Přerov a jeho blízké okolí se starají laboratoře VaK a dále pak Krajská hygienická stanice Olomouc, pracoviště Přerov. Uvedená laboratoř nemá možnosti testovat vody na těžké kovy, ale vody z provozů a zařízení, které jsou pod jejich správou, včetně rozboru pitných vod, se na těžké kovy dle platné legislativy (vyhláška 252/2004 Sb.) kontrolují. Tyto rozborů provádí Laboratorní centrum zdravotního ústavu se sídlem v Ostravě, pracoviště Olomouc.

Na základě výše uvedených výsledků analýzy těžkých kovů ve vzorcích testovaných vod, které byly odebrány na území města Přerova, lze konstatovat, že úroveň pitné vody je uspokojivá. Z celkového hlediska lze říct, že v testovaných vzorcích se vyskytovaly pouze nízké, v některých případech jen stopové množství daných prvků, tedy jejich hodnoty zde byly až zanedbatelné.

Výjimkou byl vzorek č. 23, kde byla hodnota železa vyšší než v jiných vzorcích. Na základě hodnot železa naměřených ve vzorku 23, který byl odebrán ze studny v obci Tovačov, lze konstatovat, že místo odběru může být lokalizováno v podloží s vyšším výskytem přírodního Fe nebo dochází k jeho uvolňování z vodovodního potrubí. Zároveň ze znalosti toho, že z Tovačovských jezer se zásobuje město Přerov pitnou vodou, doporučuji zvýšený monitoring vodních nádrží na přítomnost železa. Popřípadě lze prvek z vody odstranit technologickými přístupy jako např. oxidace vzdušným kyslíkem nebo chlórem, odželezňování vody biologickými procesy (využití bakterií schopné oxidovat železnaté ionty), vápněním (přidávání hydroxidu vápenatého) atd (Biela, 2012). Zoxidovaná forma železa (železitý zákal) se pak odstraní filtrací (Jak se zbavit železa ve vodě, 2021).

Aby i nadále byla zachována kvalita vody na takové úrovni jako je nyní, dle dosavadních výsledků doporučuji, aby odběr vzorků a následná kontrola probíhala minimálně v takovém rozsahu jako probíhá nyní, tj. 2krát ročně. Pokud by došlo k odstávce vody, manipulaci na vodovodních sítích, manipulace v rámci údržby nebo jiné podobné situace, navrhuji, aby ke kontrole pitné vody došlo hned po odstranění výše uvedených možných událostí.

Navržená četnost kontrol byla určena podle vyhlášky č. 70/2018 Sb., která stanovuje odběr vzorků pitné vody pro úplný rozbor 1 + 1 na každých 4 500 m³ za den z celkového objemu na počet obyvatel zásobované oblasti v rozmezí 5 000 až 50 000 (Vyhláška č. 70/2018 Sb.). Předmětem úplného rozboru jsou i těžké kovy, které byly v uvedené práci testovány, jedná se o arsen, hliník, chrom, kadmium, měď, olovo a železo. Kobalt chybí ve vyhlášce z důvodu

jeho malé akumulace v prostředí, ale byl testován, jelikož se také řadí mezi těžké kovy. V půdě se v důsledku průmyslové činnosti vyskytuje ve vyšším množství než ve vodě, proto má pro půdu danou i limitní hodnotu, tj. 30 mg/kg (Jopková a Válek, c2014). Vzhledem k tomu, že Přerov je průmyslovým městem a významným dopravním uzlem, mohl by se také kobalt testovat ve vodách, protože hrozí riziko průsaku z půd do vody. Dalším aspektem, proč by se mohla voda testovat na přítomnost kobaltu, je fakt, že v naměřených vzorcích bylo jeho množství vyšší než množství chromu. Proto navrhuji, aby v této lokalitě bylo zahrnuto stanovování uvedeného kovu v pitné vodě.

Dle uvedených skutečností, tj. město je dopravním uzlem, průmyslovým centrem atd., navrhuji také uvést získané informace o kvalitě pitné vody v ročenkách ŽP, které vydává každý rok Magistrát města Přerova. Dojde tak ke zvýšení povědomí lidí o stavu pitné vody, která jim je dodávána z vodovodních sítí, z hlediska přítomnosti těžkých kovů za poslední období.

ZÁVĚR

Problematika znečištění vod těžkými kovy zasahuje celý svět. I přesto, že kovy mohou být pro lidský organismus prospěšné, protože se mnohé řadí mezi biogenní prvky, ve vyšších koncentracích mají toxické účinky. S ohledem na stále rozvíjející se průmysl, dopravu a zemědělství, ze kterých se těžké kovy mohou uvolňovat do přírodních zdrojů podzemních i povrchových vod, se zvyšuje potřeba monitoringu a kontroly zdrojů vod, které zásobují obyvatelstvo pitnou vodou.

Stanovení přítomnosti těžkých kovů v kontaminovaných vodách bylo v této práci realizováno metodami elementární analýzy, a to uvedenou atomovou absorpční spektrometrií (AAS), u nichž se využívá vysoká citlivost detekce a energiově-disperzní spektrometrií (EDX-XRF), jež není tak přesná jako metoda AAS, ale vyniká rychlostí analýzy, a tím, že vzorek zůstává nepoškozen.

Předložená bakalářská práce byla zaměřená na stanovení nebezpečných těžkých kovů v pitné vodě ve vybrané lokalitě. Tímto místem se stalo město Přerov a jeho okolí, protože mě k tomu vedly dva aspekty. Prvním z nich, že se jedná o mé současné bydliště, neboť mi není lhostejné, v jaké oblasti žiji. Dalším aspektem se stal fakt, že informovanost místních obyvatel o kvalitě pitné vody s ohledem na obsah těžkých kovů není dostatečná viz zjištění z ročenek ŽP nebo internetových stránek zařízení, které kontrolují pitnou vodu v uvedené lokalitě. Dále také silniční doprava i průmysl zatěžují zkoumanou oblast ve velkém měřítku. Místní občané i ŽP trpí pod nátlakem těchto emisních zdrojů. Existuje zde potenciální riziko kontaminace těžkými kovy podzemních i povrchových vod, ze kterých se realizuje zásobování obyvatel pitnou vodou.

V předložené práci bylo analyzováno 8 těžkých kovů – arsen, chrom, hliník, kadmium, kobalt, měď, olovo a železo. Odběr vzorků byl uskutečněn na 24 místech na území města Přerov a blízkého okolí, a to ze třech různých možných zdrojů – vodovodní síť, vodní nádrž a studna.

S ohledem na platnou vyhlášku č. 252/2004 Sb. (novelizována vyhláškou č. 70/2018 Sb.), kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody, a na základě uvedeného stanovení kontaminantů v jednotlivých zdrojů vod v dané oblasti splňují limitní hodnoty NMH a MH. Tedy limitní hodnoty pro dané kovy nebyly překročeny v žádných vzorcích. Některé vzorky obsahovaly tak nízké množství těžkých kovů, že byly detekovány jen díky nízké citlivosti atomového absorpčního spektrofotometru.

Kovy jako hliník, měď a železo se ve vzorcích vyskytovaly v mírně vyšším množství než ostatní kovy, což může být způsobeno uvolňováním prvků z vodovodních trubek, avšak limitní hodnoty byly i tak splněny.

Pouze jeden vzorek obsahoval zvýšenou hodnotu železa. Na základě kvantitativní analýzy, vyhodnotil přístroj atomové absorpční spektrometrie, že vzorek 23 odebraný ze studny v obci Tovačov obsahuje vysoké množství Fe. I přesto splňuje limitní hodnoty dané příslušnou vyhláškou. Uvedený zdroj vody lze prezentovat za zdroj pitný, ale bylo by vhodné jej častěji kontrolovat vzhledem k zjištěnému vyššímu množství Fe. Uvedený kov může být navýšen vzhledem k podloží nebo uvolňováním z vodovodního potrubí. Popřípadě lze prvek z vody odstranit technologickými přístupy, které jsou uvedeny v kapitole 7.

Na základě uvedených výsledků byly stanoveny některé návrhy na opatření pro zajištění kvality pitných vod pro obyvatele Přerova a blízkého okolí. Vyhláška pro pitnou vodu stanovuje četnost úplného rozboru pitné vody na 2krát ročně, pokud by však došlo např. k odstávce vody, bylo by vhodné provést kontrolu dříve.

Vyhláška č. 252/2004 Sb. (novelizována vyhláškou 70/2018 Sb.) nedefinuje limitní hodnoty kobaltu pro pitnou vodu. Jelikož se uvedený prvek řadí mezi těžké kovy a v důsledku antropogenní činnosti se jeho množství navyšuje v ovzduší, měřitelné pak v půdě, bylo by vhodné ho monitorovat i ve vodních zdrojích, zda nedošlo k jeho navýšení v průběhu několika let. Pokud ano a opakovaně, dalo by se se uvažovat, aby byl zařazen jako prvek, který se dle uvedené vyhlášky běžně stanovuje jako jiné těžké kovy v důsledku jeho toxicity, možné karcinogenity a jiné (viz kapitola 2.5).

Výše zmíněné návrhy, a také výsledky analýzy, budou dány k dispozici magistrátu města, odboru stavebního úřadu a životního prostředí, který tímto může informovat své občany o stavu pitných vod z hlediska přítomnosti těžkých kovů za poslední období.

Vytyčené cíle stanovené v úvodu práce byly splněny. Odebrané vzorky byly vyhodnoceny na přítomnost těžkých kovů a lze konstatovat, že v žádném vzorku nebyla překročena limitní hodnota daného prvku určená vyhláškou č. 252/2004 Sb. (novelizovaná vyhláškou 70/2018 Sb.). Kvalita pitné vody z hlediska těžkých kovů v dané lokalitě vyhovuje předepsaným normám.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

Arsen a jeho sloučeniny (jako As). In: Integrovaný registr znečišťování [online]. [cit. 2021-04-14]. Dostupné z:

https://irz.cz/sites/default/files/latky/Arsen_a_jeho_slouceniny_Karta_latky_11012018.pdf

Atomová absorpční spektroskopie (AAS), c2014. Univerzita J. E. Purkyně v Ústí nad Labem. [online]. [cit. 2021-04-12]. Dostupné z:

http://fzp.ujep.cz/ktv/uc_texty/1IAME/3%20IAME-AAS.pdf

BECARIA, Angelica et al., 2006. Aluminum and copper in drinking water enhance inflammatory or oxidative events specifically in the brain. *Journal of Neuroimmunology* [online]. 176(1-2), 16-23 [cit. 2021-03-31]. ISSN 0165-5728. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1016/j.jneuroim.2006.03.025>

BERTHOMIER, Mathilde et al., 2021. Leaching of CEM III paste by demineralised or mineralised water at pH 7 in relation with aluminium release in drinking water network. *Cement and Concrete Research* [online]. 143 [cit. 2021-03-29]. ISSN 0008-8846. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2021.106399>

BIELA, Renata, 2012. Odstraňování železa a manganu ze zdrojů pitné vody. *TZBinfo* [online]. [cit. 2021-5-2]. Dostupné z: <https://voda.tzb-info.cz/vlastnosti-a-zdroje-vody/9320-odstranovani-zeleza-a-manganu-ze-zdroju-pitne-vody>

BLASZCZAK-BOXE, Agata, 2017. Facts About Iron. *Live Science* [online]. New York [cit. 2021-04-02]. Dostupné z: <https://www.livescience.com/29263-iron.html>

Cobalt, c2021. *Royal Society of Chemistry* [online]. [cit. 2021-03-31]. Dostupné z: <https://www.rsc.org/periodic-table/element/27/cobalt>

COLTER, Alex, R. L. MAHLER, 2006. Iron in Drinking Water. A Pacific Northwest Extension Publication [online]. University of Idaho. [cit. 2021-03-28]. Dostupné z: <https://www.extension.uidaho.edu/publishing/pdf/PNW/PNW589.pdf>

COSTA, Jorge L.O. et al., 2006. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2006.03.046>. Journal of Hazardous Materials [online]. 137(3), 1357-1361 [cit. 2021-03-30]. ISSN 0304-3894. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2006.03.046>.

ČERNOHORSKÝ, Tomáš, 2006. Atomová absorpční spektrometrie II: kurz pro pokročilé. Brno: Spektroskopická společnost Jana Marka Marci. ISBN 80-903732-0-8.

DIAMOND, Jerome M. et al., 1992. Toxicity of Cobalt to Freshwater Indicator Species as a Function of Water Hardness. Aquatic Toxicology [online]. 22(3), 163-179 [cit. 2021-04-02]. ISSN 0166-445X. Dostupné z: doi:[https://doi.org/10.1016/0166-445X\(92\)90038-O](https://doi.org/10.1016/0166-445X(92)90038-O)

Do Bečvy unikla voda znečištěná niklem, 2020. In: Arnika [online]. [cit. 2021-04-07]. Dostupné z: <https://arnika.org/do-becvy-unikla-voda-znecistena-niklem>

Fakta o vodě, c2017. United Nations: Information Centre Prague [online]. [cit. 2021-04-22]. Dostupné z: <https://www.osn.cz/sdg-6-zajistit-vsem-dostupnost-vody-a-sanitacnich-zarizeni-a-udrzitelne-hospodareni-s-nimi/fakta-o-vode/>

GREENWOOD, N. N. a Alan EARNSHAW, 1993. Chemie prvků. Praha: Informatorium. ISBN 8085427389.

HALDAR, Dibyajyoti, Prangan DUARAH a Mihir Kumar PURKAIT, 2020. MOFs for the treatment of arsenic, fluoride and iron contaminated drinking water: A review. Chemosphere [online]. 251 [cit. 2021-04-02]. ISSN 0045-6535. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.126388>

HALTTUNEN, T., S. SALMINEN a R. TAHVONEN, 2007. Rapid removal of lead and cadmium from water by specific lactic acid bacteria. *International Journal of Food Microbiology* [online]. 114(1), 30-35 [cit. 2021-04-01]. ISSN 0168-1605. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2006.10.040>

HAVEL, Milan, Lucie GAŽÁKOVÁ a Petr VÁLEK, c2017. Olovo. *Arnika* [online]. Praha [cit. 2020-11-25]. Dostupné z: <https://arnika.org/olovo>

HAVEL, Milan Havel a Petr VÁLEK, c2017. Arsen. *Arnika* [online]. Praha [cit. 2020-11-16]. Dostupné z: <https://arnika.org/arsen>

HŘIBOVÁ, Ivana, 2014. Zdroje pitné vody. In: Statutární město Přerov [online]. Přerov [cit. 2021-04-07]. Dostupné z: <https://www.prerov.eu/cs/magistrat/zivotni-prostredi/voda/zdroje-pitne-vody.html>

Iron: chemical element, 2020. *Encyclopedia Britannica* [online]. [cit. 2021-04-02]. Dostupné z: <https://www.britannica.com/science/iron-chemical-element>

JAIN, C.K. a I. ALI, 2000. Arsenic: occurrence, toxicity and speciation techniques. *Water Research* [online]. 34(17), 4304-4312 [cit. 2021-03-29]. ISSN 0043-1354. Dostupné z: doi:<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0043135400001822?via%3Dihub>

Jak se zbavit železa a manganu ve vodě, 2021. *Euroclean* [online]. [cit. 2021-5-2]. Dostupné z: <https://euroclean.cz/clanky/jak-se-zbavit-zeleza-manganu-ve-vode/#:~:text=Pokud%20se%20%C5%BEelezo%20ve%20vod%C4%9B,voda%20prokysli%C4%8Duje%20na%20stup%C5%88ovit%C3%A9%20kask%C3%A1d%C4%9B.>

JOHANSEN, Poul et al., 2006. Lead shot from hunting as a source of lead in human blood. *Environmental Pollution* [online]. 142(1), 93-97 [cit. 2021-04-01]. ISSN 0269-7491. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2005.09.015>

JOPKOVÁ, Miroslava a Petr VÁLEK, c2014. Kobalt. Arnika [online]. [cit. 2021-04-12]. Dostupné z: <https://arnika.org/kobalt>

KAMENÍČEK, Jiří et al., 2006. Anorganická chemie [online]. Olomouc [cit. 2020-11-16]. Skripta. Univerzita Palackého v Olomouc, Přírodovědecká fakulta.

KHAJEH, Mostafa, Ali SARAFRAZ-YAZDI a Afsaneh Fakhrai MOGHADAM, 2017. Modeling of Solid-phase Tea Waste Extraction for the Removal of Manganese and Cobalt from Water Samples by Using PSO-artificial Neural Network and Response Surface Methodology. Arabian Journal of Chemistry [online]. 10(2), 1663-1673 [cit. 2021-04-02]. ISSN 1878-5352. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2013.06.011>

KLEGER, Ladislav a Petr VÁLEK, c2017. Měď - Arnika. Arnika [online]. Praha [cit. 2020-11-29]. Dostupné z: <https://arnika.org/med>

KOPLÍK, Richard, 2016. Atomová spektrometrie. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze [online]. Ústav analýzy potravin a výživy, VŠCHT v Praze [cit. 2021-02-06]. Dostupné z: https://web.vscht.cz/~koplíkr/Atomov%C3%A1%20spektrometrie_SAP_2016.pdf

KOPLÍK, Richard, Eva ČURDOVÁ a Oto MESTEK, 1997. Trace Element Speciation in Water, Soils, Sediments and Biological Materials. Chemické listy, [online] 91(1). Dostupné z: <http://www.chemicke-listy.cz/ojs3/index.php/chemicke-listy/article/view/2805/2792>

Kvalita pitné vody v ČR je jedna z nejvyšších v Evropě, 2016. Naše voda: Informační portál o vodě [online]. [cit. 2021-04-22]. Dostupné z: <https://www.nase-voda.cz/kvalita-pitne-vody-cr-je-jedna-nejvyssich-evrope/#:~:text=%C4%8Cesk%C3%A1%20republika%20pat%C5%99%C3%AD%20mezi%20%C5%A1est,a%C5%BE%20100%20procent%20po%C5%BEadovan%C3%A9%20kvality.&text=P%C5%99esto%20nastupuj%C3%ADc%C3%AD%20trendy%20v%20kvalit>

%C4%9B,a%20dop%20dal%C5%A1%C3%AD%20stupn%C4%9B%20%C3%BApravy.

LAUWERYS, R. a D. LISON, 1994. Health risks associated with cobalt exposure — an overview. *Science of The Total Environment* [online]. 150(1-3), 1-6 [cit. 2021-03-31]. ISSN 0048-9697. Dostupné z: [doi:https://doi.org/10.1016/0048-9697\(94\)90125-2](https://doi.org/10.1016/0048-9697(94)90125-2)

MAJIDI, Vahid, 2001. Atomic Spectrometry. *Encyclopedia of Physical Science and Technology, Third Edition* [online]. 2001. Los Alamos, National Laboratory, Los Alamos, New Mexico, USA: Robert A. Meyers, s. 765-786 [cit. 2021-02-05]. ISBN 978-0-12-227410-7. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B0122274105000429>

MANASIJEVIC, Srecko, Gerhard HUBER a Mile B. DJURDJEVIC, 2019. Determination some thermo-physical and metallurgical properties of aluminum alloys using their known chemical composition. *International Journal of Heat and Mass Transfer* [online]. 139, 548-553 [cit. 2021-03-30]. ISSN 0017-9310. Dostupné z: [doi:https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2019.05.048](https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2019.05.048)

Mapy.cz, 2021. Dostupné také z: <https://mapy.cz/zakladni?x=17.4577010&y=49.4596615&z=13&l=0>

MIHALJEVIČ, Martin, Ladislav STRNAD a Ondřej ŠEBEK, 2004. Využití hmotnostní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem v geochemii [online]. *Chemické listy*, 2004(98) [cit. 2021-02-05]. Dostupné z: <http://docplayer.cz/11624413-Vyuziti-hmotnostni-spektrometrie-s-indukcne-vazanym-plazmatem-v-geochemii.html>

MESTEK, Oto, 2010. Stanovení prvků pomocí přenosného rentgenově fluorescenčního analyzátoru [online]. *Skripta. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze*. [cit. 2021-04-21]. Dostupné z: http://old.vscht.cz/anl/josef/LabAtom/Navod_XRF_2010.pdf

MRÁZEK, Daniel, 2017. Vodní black out v Česku? Stačí, aby lidé napustili vodou z kohoutku najednou všechny bazény. iRozhlas. Dostupné z: https://www.irozhlas.cz/veda-technologie/voda/vodni-black-out-v-cesku-staci-aby-lide-napustili-vodou-z-kohoutku-najednou_1706230800_sam

MUZIKÁŘ, Radomír, 2014. Interakce podzemní a povrchové vody. Water Management: Vodní hospodářství [online]. 2014(8), 18-22 [cit. 2021-04-04]. ISSN 2336-3533. Dostupné z: <http://www.watermanagement.cz/e-VH/2014/eVH-2014-08.pdf#page=20>

Nářízení vlády č. 61/2003 Sb., o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových vod a odpadních vod, náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod povrchových a do kanalizací a o citlivých oblastech. In: *Zákony pro lidi* [online]. [Cit. 2021-03-29]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2003-61>

Nářízení vlády č. 401/2015 Sb., o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových vod a odpadních vod, náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod povrchových a do kanalizací a o citlivých oblastech. In: *Zákony pro lidi* [online]. [Cit. 2021-03-29]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2015-401/zneni-20160101#p16-1-1>

Ochrana vod, c2008-2020. Ministerstvo životního prostředí [online]. [cit. 2021-02-15]. Dostupné z: https://www.mzp.cz/cz/ochrana_vod

Oxidy síry, c2021. In: Integrovaný registr znečišťování [online]. [cit. 2021-04-07]. Dostupné z: https://irz.cz/repository/latky/oxidy_siry.pdf

PAN, De'an et al., 2019. A review on lead slag generation, characteristics, and utilization. Resources, Conservation and Recycling [online]. 146, 150-155 [cit. 2021-04-01]. ISSN 0921-3449. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.03.036>

PERTILE, Eva a Vladimír ČABLÍK, 2006. Instrumentální metody analýzy. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava. ISBN 80-248-1049-2.

PETRLÍK, Jindřich, Jarmila PŘIBYLOVÁ a Petr VÁLEK, c2017. Chrom - Arnika. Arnika [online]. Praha [cit. 2020-11-27]. Dostupné z: <https://arnika.org/chrom>

Podzemní vody, c2008-2020. Ministerstvo životního prostředí [online]. [cit. 2021-04-04]. Dostupné z: https://www.mzp.cz/cz/podzemni_vody

Pokyny k odběru vzorku pitné vody, 2012. In: Povodí Moravy: Informace pro zákazníky [online]. 2021 [cit. 2021-04-10]. Dostupné z: <http://www.pmo.cz/download/pokyny-k-odberu-vzorku-pitne-vody.pdf>

POLÁK, Jan, 2010. Metody atomové spektrometrie pro analýzu prvkového složení [online]. 2010(6) [cit. 2021-02-05]. ISBN 978-80-254-7238-5. Dostupné z: https://csacg.fzu.cz/func/viewpdf.php?file=2010_21Polak.pdf

Poloha města, c2000-2021. In: Statutární město Přerov [online]. Přerov [cit. 2021-04-07]. Dostupné z: <https://www.prerov.eu/cs/o-prerove/poloha-mesta.html>

Povrchové vody, c2008-2020. Ministerstvo životního prostředí [online]. [cit. 2021-02-11]. Dostupné z: https://www.mzp.cz/cz/povrchove_vody

PROKEŠ, Jaroslav, 2005. Základy toxikologie: obecná toxikologie a ekotoxikologie. Praha: Galén. ISBN 80-7262-301-x.

Průmyslové zóny, 2012. Statutární město Přerov [online]. Přerov [cit. 2021-04-07]. Dostupné z: <https://www.prerov.eu/cs/podnikatel/rozvojove-a-prumyslove-zony/prumyslove-zony.html>

PUSHKAR, Bhupendra et al., 2021. Chromium pollution and its bioremediation mechanisms in bacteria: A review. *Journal of Environmental Management* [online]. 287 [cit. 2021-03-29]. ISSN 0301-4797. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112279>

REES, Aldous B. et al., 2020. Leisure craft sacrificial anodes as a source of zinc and cadmium to saline waters. *Marine Pollution Bulletin* [online]. 158 [cit. 2021-03-30]. ISSN 0025-326X. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111433>

Regionální agentura pro rozvoj střední Moravy, 2014. Strategický plán územního a ekonomického rozvoje statutárního města Přerova pro období 2014–2020. [online]. [cit. 2021-04-03]. Dostupné z: https://portal.cenia.cz/eiasea/download/U0VBX09MSzAxNktfbmF2cmhfNTcyNDg4NjY1NTk4NzUyMTk0MC5wZGY/OLK016K_navrh.pdf

SHARMA, Sanjay K. et al., 2014. Heavy metals in water: presence, removal and safety [online]. Cambridge, UK: Royal Society of Chemistry [cit. 2020-11-23]. ISBN 978-1-84973-885-9. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/265844752_Heavy_Metals_In_Water_Presence_Removal_and_Safety

Směrnice Rady 98/83/ES ze dne 3. listopadu 1998 o jakosti vody určené k lidské spotřebě. In: *Úřední věstník evropských společenství*, L330/32, 5. 12. 1998, s. 90-112 [online]. [cit. 2021-02-25]. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/PDF/?uri=CELEX:31998L0083&from=EN>

Statistické informace, 2021. In: Statutární město Přerov [online]. Přerov [cit. 2021-04-07]. Dostupné z: <https://www.prerov.eu/cs/o-prerove/soucasnost-mesta/statisticke-informace.html>

Úsek Laboratoře pitných vod, c2021. Vodovody a kanalizace Přerov [online]. [cit. 2021-04-07]. Dostupné z: <https://www.vakprerov.cz/nabizene-sluzby/usek-laboratori/usek-laboratore-pitnych-vod.html>

VASUDEVAN, Subramanyan a Jothinathan LAKSHMI, 2011. Effects of alternating and direct current in electrocoagulation process on the removal of cadmium from water – A novel approach. Separation and Purification Technology [online]. 80(3), 643-651 [cit. 2021-03-30]. ISSN 1383-5866. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1016/j.seppur.2011.06.027>.

Voda, c2000-2021. Statutární město Přerov [online]. Přerov [cit. 2021-04-07]. Dostupné z: <https://www.prerov.eu/cs/magistrat/zivotni-prostredi/voda/>

Voda, c2009-2021. Voda. eAgri [online]. [cit. 2021-02-09]. Dostupné z: <http://eagri.cz/public/web/mze/voda/?fullArticle=1>

Vyhláška č. 70/2018 Sb., vyhláška, kterou se mění vyhláška č. 252/2004 Sb., kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody, ve znění pozdějších předpisů. In: *Zákony pro lidi* [online]. [Cit. 2021-04-29]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2018-70>

Vyhláška č. 252/2004 Sb., vyhláška, kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody. In: *Zákony pro lidi* [online]. [Cit. 2020-09-29]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2004-252?text=252%2F2004>

YADAV, Manoj Kumar et al., 2021. Status and management of arsenic pollution in groundwater: A comprehensive appraisal of recent global scenario, human health impacts, sustainable field-scale treatment technologies. Journal of Environmental Chemical Engineering [online]. 9(3) [cit. 2021-03-29]. ISSN 2213-3437. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.105203>

ZAIB, Maria et al., 2015. Electrochemical determination of inorganic mercury and arsenic- A review. *Biosensors and Bioelectronics* [online]. 2015. Institute of Chemistry, University of the Punjab, Pakistan, s. 895-908 [cit. 2021-02-06]. ISBN 0956-5663. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956566315303043?via=ihub#bib117>

Základní informace o vodním hospodářství, c2021. Svaz vodního hospodářství [online]. Praha [cit. 2021-04-04]. Dostupné z: <https://www.svh.cz/index.php?lang=cz&main=zakladni-informace>

Zákon č. 17/1992 Sb., o životním prostředí. In: *Zákony pro lidi* [online]. [cit. 2021-02-22]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/1992-17#f1401881>

Zákon č. 258/2000 Sb., o ochraně veřejného zdraví. In: *Zákony pro lidi* [online]. [cit. 2021-02-22]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2000-258>

Znečišťovatelé pod lupou, 2019. In: *Arnika* [online]. [cit. 2021-04-07]. Dostupné z: <http://zncistovatele.cz>

Životní prostředí a památková péče v roce 2018, 2019. *Přerovské listy* [online]. 18(8), 8-13 [cit. 2021-04-07]. Dostupné z: <https://www.prerov.eu/cs/magistrat/zivotni-prostredi/rocenky-zp.html>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

AAS	atomová absorpční spektroskopie
Al	hliník
Ar	argon
A_r	relativní atomová hmotnost
As	arsen
As_2O_3	arsenolit
As_2S_3	auripigment
As_4S_4	realgar
ATSDR	Agentura pro toxické látky a nemoci
Ca	vápník
Cl	chlór
Cd	kadmium
CdO	oxid kademnatý (minerál greenockit)
CHSK	chemická spotřeba kyslíku
Co	kobalt
$CoAs_2$	smaltin
$CoAsS$	kobaltin
Co_3S_4	linnéit
Cr	chrom
Cr_2O_3	chromový okr
Cr^{3+}	trojmocný chrom
Cr^{6+}	šestimocný chrom
Cu	měď
Cu_2S	chalkosin
$CuFeS_2$	chalkopyrit

Cu^{2+}	dvojmocná měď
ČSÚ	Český statistický úřad
EDX-XRF	energieově-disperzní spektroskopie
EU	Evropská unie
F	fluor
F AAS	AAS s atomizací v plameni
Fe	železo
FeCr_2O_4	chromit
Fe_2O_3	hematit
Fe_3O_4	magnetit
Fe^{2+}	dvojmocné železo
Fe^{3+}	trojmocné železo
Fe- α	alfa železo
Fe- β	beta železo
Fe- γ	gama železo
Fe- δ	delta železo
$\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$	gram na centimetr krychlový
GF AAS	AAS s elektrotermickou atomizací v grafitové kyvetě
ha	hektar
H_2O	voda
HNO_3	kyselina dusičná
ICP-MS	hmotnostní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem
In	indium
K	draslík
K	Kelvin
kg	kilogram

Kr	krypton
Mg	hořčík
mg/l	miligram na litr
mg/kg	miligram na kilogram
MH	mezní hodnota
mm	milimetr
Mn	mangan
MVE	malá vodní elektrárna
MZ	ministerstvo zemědělství
MŽP	ministerstvo životního prostředí
Na	sodík
Ne	neon
nm	nanometr
NMH	nejvyšší mezní hodnota
NV	nařízení vlády
OSN	organizace spojených národů
Pa	pascal (jednotka tlaku)
Pb	olovo
PbCrO ₄	krokoit
PbS	galenit
Pb ⁰	elementární olovo
Pb ²⁺	dvojmocné olovo
PVC	polyvinylchlorid
RTG	rentgenové záření
Sn	cín
SOVAK	Sdružení oboru vodovodů a kanalizací

TEN	evropská železniční síť
t_t	teplota tání
t_v	teplota varu
u	atomová hmotnostní jednotka
U	uran
UV	ultrafialové záření
VaK	Vodovody a kanalizace
WHO	Světová zdravotnická organizace
Xe	xenon
ŽP	životní prostředí
$\mu\text{g/l}$	mikrogram na litr
$\mu\text{g/m}^3$	mikrogram na metr krychlový
μl	mikrolitr
μm	mikrometr
ρ	hustota
χ	elektronegativita
% m/m	hmotnostní procenta
^{206}Pb	izotop olova
^{207}Pb	izotop olova
^{208}Pb	izotop olova

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Schéma elektrotermického atomizátoru – grafitová kyveta.....	29
Obrázek 2 Výbojka s dutou katodou.....	29
Obrázek 3 Schéma hmotnostního spektrometru s indukčně vázanou plazmou.....	31
Obrázek 4 Podstata rentgenové fluorescence	32
Obrázek 5 Vzorek odebrané vody	41
Obrázek 6 Mapa s vyznačenými místy odběru vzorků vody na sever od Přerova	41
Obrázek 7 Mapa s vyznačenými místy odběru vzorků vody v oblasti města.....	42
Obrázek 8 Mapa s vyznačenými místy odběru vzorků vody na západ od Přerova	42
Obrázek 9 Obsah arsenu ve vzorcích vod.....	50
Obrázek 10 Obsah hliníku ve vzorcích vod.....	51
Obrázek 11 Obsah kadmia ve vzorcích vod	52
Obrázek 12 Obsah kobaltu ve vzorcích vod	52
Obrázek 13 Obsah mědi ve vzorcích vod	53
Obrázek 14 Obsah olova ve vzorcích vod	54
Obrázek 15 Obsah železa ve vzorcích vod	54

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Fyzikální, chemické a organoleptické ukazatele a jejich limity	16
Tabulka 2 Chemicko-fyzikální vlastnosti jednotlivých prvků.....	26
Tabulka 3 Popis odběrných míst analyzovaných vzorků.....	43
Tabulka 4 Hmotnostní zastoupení (% m/m) jednotlivých prvků testovaných vzorků stanovené pomocí EDX-XRF	47
Tabulka 5 Parametry metody GF AAS po optimalizačních krocích vedoucí ke snadnějšímu průběhu analýzy	49

