

**UNIVERZITA PARDUBICE**  
**FAKULTA CHEMICKO-TECHNOLOGICKÁ**

**Monitorování obsahu železa, manganu a hliníku v pitných  
vodách**

**Pavčina Machková**

**Bakalářská práce**

**2012**

**University of Pardubice**  
**Faculty of Chemical Technology**

**Monitoring the content of Fe, Mn and Al in drinking water**

**Pavína Machková**

**Bachelor's thesis**

**2012**

Univerzita Pardubice  
Fakulta chemicko-technologická  
Akademický rok: 2011/2012

**ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**  
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Pavčina Machková**  
Osobní číslo: **C09137**  
Studijní program: **B2901 Chemie a technologie potravin**  
Studijní obor: **Hodnocení a analýza potravin**  
Název tématu: **Monitorování obsahu Fe, Mn a Al v pitných vodách**  
Zadávací katedra: **Katedra analytické chemie**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Proveďte literární rešerši zabývající se stanovením vybraných kovů v pitných vodách (především Fe, Mn a Al). V experimentální části vyhodnoťte obsah Mn, Al a Fe v pitných vodách na Kralovédvorskú.
2. Závěry kriticky zhodnoťte.

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná**

Seznam odborné literatury:

**Podle pokynů vedoucího práce.**

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Aleš Eisner, Ph.D.**  
Katedra analytické chemie

Konzultant bakalářské práce: **Ing. Petra Bajerová, Ph.D.**  
Katedra analytické chemie

Datum zadání bakalářské práce: **20. února 2012**

Termín odevzdání bakalářské práce: **22. června 2012**



prof. Ing. Petr Lošťák, DrSc.  
děkan

L.S.



prof. Ing. Karel Ventura, CSc.  
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 20. února 2012

Prohlašuji:

Tuto práci jsem vypracovala samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využila, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byla jsem seznámena s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně.

V Pardubicích dne:

.....

Pavλίna Machková

Děkuji panu Ing. Aleši Eisnerovi za vedení bakalářské práce a za jeho cenné rady, které mi pomohly při práci. Dále bych chtěla poděkovat rodině a příteli za podporu během celého studia.

# Obsah

1	Úvod.....	12
1.1	Pitná voda.....	12
1.1.1	Železo .....	14
1.1.2	Mangan .....	14
1.1.3	Hliník .....	15
1.1.4	Vápník a hořčík.....	15
1.1.5	Sodík a draslík .....	15
1.1.6	Chlor .....	16
1.1.7	Fluor.....	16
1.1.8	Chloridy .....	16
1.1.9	Dusitany .....	16
1.1.10	Dusičnany.....	17
1.1.11	Sírany .....	17
1.1.12	Siřičitany .....	17
2	Teoretická část.....	18
2.1	Metoda AAS .....	18
2.1.1	Historie AAS .....	18
2.1.2	Princip metody.....	18
2.1.3	Výbojky s dutou katodou (HCL) .....	20
2.1.4	Multikatodové výbojky.....	21
2.1.5	Bezelektroodové výbojky (EDL).....	21
2.1.6	Speciální zdroje .....	21
2.1.7	Atomizátor .....	22
2.1.8	Plamenová atomizace (F-AAS).....	22
2.1.9	Elektrotermická atomizace (ETA-AAS).....	22
2.1.10	Atomizace v křemenném atomizátoru (HG-AAS).....	23
2.1.11	Monochromátor.....	23
2.1.12	Detektor.....	23
2.2	ICP-MS .....	24
2.3	Aplikace AAS a ICP-MS v praxi.....	25
2.3.1	Stanovení arsenu v ořeších pomocí AAS - verifikace metody a kvantifikace nejistoty stanovení .....	25
2.3.2	Stanovení stopových obsahů As, Sb, Sn, Pb a Cd v ocelích metodou ETA AAS s rychlou Zeemanovou korekcí.....	26
2.3.3	Optimalizace stanovení stopových koncentrací jodu v povrchových vodách metodou ICP-MS .....	27
2.3.4	Stanovení mědi a zinku v plné lidské krvi metodou ICP-MS .....	27
2.3.5	Stanovení selenu v zelenině pomocí ETA-AAS a HG-AAS.....	28
3	Experimentální část.....	29
3.1	Výběr lokalit .....	29
3.2	Odběr vzorku.....	29
3.3	Přístroje a chemikálie.....	31
3.4	Příprava standardních roztoků pro kalibrační křivku.....	31
4	Výsledky a diskuse.....	34
4.1	První série měření .....	34
4.2	Druhá série měření .....	35
4.3	Třetí série měření .....	36
4.4	Čtvrtá série měření .....	37

4.5	Pátá série měření .....	38
4.6	Grafy zobrazující měnící se průběh koncentrace kovů na jednotlivých sériích měření v konkrétních místech.....	39
5	Výsledky a diskuse .....	47
6	Seznam použité literatury .....	48
7	Seznam příloh.....	50



## Seznam zkratek

AAS	atomová absorpční spektrometrie
DH	doporučená hodnota
EDL	bezelektrodové výbojky
ETA-AAS	elektrotermická atomizace
F-AAS	plamenová atomizace
HCL	výbojky s dutou katodou
HG-AAS	atomizace v křemenném atomizátoru
ICP-MS	hmotnostní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem
MH	mezní hodnota
NMH	nejvyšší mezní hodnota

## Anotace

Cílem této práce bylo zjistit jaké množství železa, manganu a hliníku obsahují pitné vody ve Dvoře Králové nad Labem a okolí a jak moc přesahují dané normy. V úvodu jsou zmíněny právní předpisy pro kvalitu pitných vod v České Republice, prvky obsažené v pitných vodách a jejich limity.

Teoretická část přibližuje metody AAS a ICP a jejich jednotlivé části přístroje. V experimentální části je uvedeno, jak bylo postupováno při odběru vzorků a přípravě kalibračních roztoků.

V závěru této práce je vyhodnocení rizikových lokalit, které v průběhu celého roku vykazovaly zvýšené koncentrace sledovaných kovů.

**Klíčová slova:** AAS, ICP, mangan, železo, hliník

## Annotation

The aim of this study was to determine how much iron, manganese and aluminum containing drinking water in Dvůr Králové nad Labem and the surrounding area and how much these elements exceeding the standard. In the introduction are mentioned legal regulations for quality of drinking water in Czech Republic, elements contained in drinking water and their limits.

Theoretical part is approaching AAS and ICP methods and their applications. In the experimental part is how to proceed during collecting of samples and preparing of calibration solutions.

The closing part of this study is evaluation of riskable localities, which are showed increased concentration of followed metals throughout the year.

**Key words:** AAS, ICP, manganese, iron, aluminum

# 1 Úvod

## 1.1 Pitná voda

Pitná voda je nedílnou součástí života každého z nás, je používána denně, a proto by mělo být známo, zda-li je zdravotně nezávadná. Voda je přítomna u všech pochodů v lidském těle. Nekvalitní voda může způsobit zdravotní problémy. Počínaje rokem 2008 by se odpadní vody neměly vypouštět volně do přírody, tedy nemělo by docházet k průsakům do půdy, popř. kontaminaci s pitnou vodou.

Kvalita pitné vody v České Republice je v současné době řízena zákonem č. 258/2000 Sb. o ochraně veřejného zdraví a o změně některých souvisejících zákonů, doplňující vyhláškou č. 252/2004 Sb., kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody.

V zákoně č. 258/2000 Sb. je stanoven pojem pitné vody takto „Pitnou vodou je veškerá voda 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“ [3,4]

Vyhláška č. 252/2004 Sb. stanovuje hygienické limity mikrobiologických, biologických, fyzikálních, chemických a organoleptických ukazatelů jakosti pitné vody a určuje rozsah, četnost kontrol a požadavky na metody kontroly jakosti pitné vody. [4]

DH – „Doporučené hodnoty jsou nezávazné hodnoty ukazatelů jakosti pitné vody, které stanoví minimální žádoucí nebo přijatelnou koncentraci dané látky, nebo optimální rozmezí koncentrace dané látky“ [3]

MH - „hodnota organoleptického ukazatele jakosti pitné vody, jejích přirozených součástí nebo provozních parametrů, jejíž překročení obvykle nepředstavuje akutní zdravotní

riziko. Není-li u ukazatele uvedeno jinak, jedná se o horní hranici rozmezí přípustných hodnot“ [4]

NMH - „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 č.258/2000 Sb. v platném znění jinak“ [4]

V tabulce č. 1 jsou zobrazeny jednotlivé ukazatele a příslušné jednotky s hodnotou limitu.

**Tab.: 1** Limitní hodnoty vybraných kovů [4]

ukazatel	symbol	jednotka	limit	typ limitu
hliník	Al	mg/l	0,20	MH
mangan	Mn	mg/l	0,05	MH
železo	Fe	mg/l	0,20	MH
dusičnany	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	50	NMH
dusitany	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	mg/l	0,50	NMH
chlor volný	Cl <sub>2</sub>	mg/l	0,30	MH
chrom	Cr	μg/l	50	NMH
kadmium	Cd	μg/l	5,0	NMH
chloridy	Cl <sup>-</sup>	mg/l	100	MH
olovo	Pb	μg/l	10	NMH
hořčík	Mg	mg/l	10 (20-30)	MH (DH)
vápník	Ca	mg/l	30 (40-80)	MH (DH)
sodík	Na	mg/l	200	MH
sírany	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	mg/l	250	MH

Kovy se přirozeně vyskytují ve vodách. Dochází k tomu zejména při styku vod s horninami a půdou. U vodních organismů se stopová koncentrace kovů podílí na jejich metabolismu (biokatalyzátory). Při vyšších koncentracích mohou působit toxicky. Koncentrace některých kovů, jež se za toxické ještě nepovažují, mohou negativně ovlivnit chuť vody.<sup>[1]</sup>

### 1.1.1 Železo

Železo je šedobílý, lesklý kov. V zemské kůře se vyskytuje jako druhý nejrozšířenější kov. V malých koncentracích je přítomen ve všech vodách. Železo se objevuje v oxidačním stupni II nebo III, v rozpuštěné nebo nerozpuštěné formě. Je to ovlivněno několika faktory, jako jsou pH, oxidačně-redukční potenciál, přítomnosti mikroorganismů a dalších. Při nedostatku kyslíky, např. u dna jezer, vodních nádrží, se vyskytuje železo ve formě  $\text{Fe}^{2+}$ . Při dostatku kyslíku je stabilnější formou železa  $\text{Fe}^{3+}$ . V přírodě se nachází v podobě železných rud např. magnetovec, hnědel, siderit a další. Vyluhování napomáhá přítomnost oxidu uhličitého, humusových kyselin a kyseliny sírové.

Železo je odstraňováno z pitných vod převážně kvůli možným technickým závadám. Podporuje rozvoj železitých bakterií. Při jejich odumírání dochází k zápachu a ucpávání potrubí. Negativně ovlivňuje také organoleptické vlastnosti, jako jsou barva, chuť a zákal. Z tohoto důvodu je mezní hodnota železa v pitné vodě stanovena na 0,2 mg/l.

Nedostatek železa v lidském organismu se projevuje chudokrevností, únavou, bolestí hlavy až anémií. [ 1, 8, 11, 12 ]

### 1.1.2 Mangan

Mangan doprovází vždy železo v pitných vodách, tak jako manganové rudy doprovází železné. Mangan se vyskytuje zejména v burelu, braunitu nebo hausmanitu.

Ve vodách se mangan vyskytuje nejčastěji v oxidačních stupních II, III, IV. Vody neobsahující rozpuštěný kyslík se nejčastěji vyskytuje ve formě iontu  $\text{Mn}^{2+}$  a ve formě různých hydroxokomplexů a iontových asociátů. Ve vodách s rozpuštěným kyslíkem je Mn (II) nestabilní. Mezní hodnota manganu v pitných vodách je 0,05 mg/l. Překročení této hodnoty dochází k zhoršení chuti pitné vody. Může docházet k usazeninám a ucpávání potrubí vlivem růstu manganových bakterií. Při překročení koncentrace vyšší jak 0,1 mg/l zbarvují vyšší oxidační stupně manganu materiály přicházející s touto vodou do styku, proto je hodnota přísně hlídána např. v prádelnách, papírnách, v textilním a potravinářském průmyslu. [ 1, 8 ]

### 1.1.3 Hliník

Hliník je lesklý a velmi lehký kov. V zemské kůře se vyskytuje 8,3 % hliníku, třetí nejrozšířenější kov. Je součástí mnoha minerálů např. kaolinit, kryolit, granát, albit, bauxit a dalších. Hliník může přecházet do vod i z výroby papíru, kůže, barviv.

Hliník se nejčastěji vyskytuje ve vodách ve formě  $Al^{3+}$ , v podobě hydroxokomplexů a síranových komplexů. V přírodních vodách se koncentrace hliníku mohou velmi lišit v závislosti na různých fyzikálně-chemických a mineralogických faktorech. Povolená mezní hodnota hliníku v pitných vodách je 0,2 mg/l. Ve vodách je zdravotně nezávadný.

[1, 2, 8, 10]

### 1.1.4 Vápník a hořčík

Výluhem vápenců, dolomitů, magnezitu, sádrovce, hlinitokřemičitanů vápenatých a hořečnatých se ionty vápníku a hořčíku dostávají do vod. Vápník se vyskytuje jako kation  $Ca^{2+}$  a hořčík  $Mg^{2+}$ .

V podzemních a povrchových vodách se běžně vyskytuje vápník souběžně s hořčíkem. Hořčík obvykle v nižších koncentracích. Tyto prvky způsobují tvrdost vody. Při styku s materiály dochází k usazování vodního kamene a kotelního kamene.<sup>[1, 8]</sup>

### 1.1.5 Sodík a draslík

Prvním případem, kdy se do vod dostává sodík a draslík je výluh z různých alkalických hlinitokřemičitanů, např. živce, slídy. Ionty  $Na^{+}$  se ve větším množství vyluhují ze solných ložisek. Ionty  $K^{+}$  se nejčastěji dostávají do vod průsakem nebo splachem ze zemědělských polí hnojených draselnými hnojivy.

Ve vodách se obvykle vyskytuje více sodíku než draslíku. To může být zdůvodněno tím, že ionty  $K^{+}$  jsou více absorbovány do původních minerálů a jsou živinou pro rostliny. Z hygienického hlediska není sodík ani draslík významný, proto se obvykle nezahrnují do rozboru vod, výjimku tvoří vody minerální.<sup>[1, 8]</sup>

### 1.1.6 Chlor

Chlor je používán nejčastěji k dezinfekci vody. Mezní hodnota volného chloru povoluje 0,3 mg/l. Při překročení mezní hodnoty dochází k negativnímu vlivu na pach a chuť pitné vody. Chlor se řadí do skupiny těkavých látek, které na vzduchu rychle vyprchají.<sup>[1]</sup>

### 1.1.7 Fluor

Fluor může přecházet do vod z minerálů, např. fluorit, kryolit, apatit, nebo v menší míře z žul a slíd. Ve vodách se převážně vyskytuje jako  $F^-$ . Potrava člověka je poměrně chudá na fluor, proto musí být hlavní podíl obsažen v pitných vodách. Avšak převládají pitné vody s nízkým obsahem fluoru, proto bylo zavedeno umělé přidávání fluoridů do vod tzv. fluoridace pitné vody. Tímto se omezilo kazivosti zubů u dětí a dalších stomatologických problémů.<sup>[1]</sup>

### 1.1.8 Chloridy

Chlor přechází do vod ze všech hornin a půd, obsahující sloučeniny chloru ve formě chloridů, z vulkanické činnosti, z ložisek kamenné soli nebo z živočišného původu. Chlor se ve vodách vyskytuje jako  $Cl^-$ , výjimečně v chlorokomplexech. Ve vodách odpadních a průmyslových je vysoká koncentrace běžná, a proto vyšší koncentrace v přírodních vodách je známkou kontaminace odpadními vodami. I při velkých koncentracích nejsou chloridy v pitných vodách hygienicky závadné. Májí však vliv na chuť vody.<sup>[1]</sup>

### 1.1.9 Dusitany

Koncentrace dusitanů je velmi malá u podzemních a povrchových vod, vody odpadní splaškové mají koncentrace vyšší. Dusitany vznikají při biochemické redukcí dusičnanů nebo při biochemické oxidaci amoniakálního dusíku. Proto jsou dusitany řazeny mezi významné indikátory fekálního znečištění přírodních vod. Dusitany mohou ve vodách vznikat i při jiných činnostech, a proto je důležité posuzovat hodnotu dusitanů komplexně.

[1]



### 1.1.10 Dusičnany

Jako u dusitanů je koncentrace v čistých přírodních vodách nízká, naopak vyšší koncentrace jsou zaznamenány ve vodách ze zemědělských oblastí, u odtoků z biologických čistíren odpadních vod a průmyslových odpadních vod. Pro člověka jsou dusičnany v primární fázi málo závadné, ale po bakteriální redukci v gastrointestinálním traktu mohou být jako dusitany příčinou zdravotních obtíží. Nejvyšší mezní hodnota v pitných vodách přesahuje obsah dusičnanů. <sup>[1,19]</sup>

### 1.1.11 Sírany

Hlavními zdroji síranů v pitných vodách jsou minerály sádrovec a anhydrit nebo se tvoří při oxidaci sulfidických rud. Sírany se objevují jako jednoduchý ion  $\text{SO}_4^{2-}$ . V přírodních vodách jsou hlavními anionty právě sírany spolu s hydrogenuhlíčitany a chloridy. Vyskytující se koncentrace síranů ve vodách nemá hygienický význam. <sup>[8]</sup>

### 1.1.12 Siřičitany

V přírodních vodách se téměř nevyskytují. Avšak ve větších koncentracích se mohou objevit u vod odpadních, které pocházejí z výroby sulfitové celulosy nebo z tepelného zpracování uhlí. Vzhledem k pH prostředí se vyskytují jako ionty  $\text{SO}_3^{2-}$  a  $\text{HSO}_3^-$ . Ve většině případů se siřičitany pomalu oxidují na sírany, kdy se k urychlení používají různé kovy, nejvíce sloučeniny  $\text{Co}^{\text{II}}$ . <sup>[8,19]</sup>

## 2 Teoretická část

### 2.1 Metoda AAS

#### 2.1.1 Historie AAS

Počátky AAS jsou spojovány s pozorováním slunečního spektra, kdy Wollaston v roce 1802 objevil tmavé čáry v tomto spektru. Následoval ho v roce 1815 Fraunhofer. Při systematických pokusech v plamenu se zvratem čar ve spektru alkalických kovů a kovů alkalických zemin zjistili pánové Kirchhoff a Bunsen, že Fraunhoferova tmavá čára je totožná s čarou sodíku. Pokus byl proveden s kuchyňskou solí, kdy přes plamen svítíplyn-vzduch procházelo spojitě záření zbarvené sodíkem. Po rozkladu prošlého záření hranolem se na místě sodíkové čáry objevila tmavá čára. Vztah mezi emisí a absorpcí byl popsán v Kirchhoffově zákoně. K analytickým účelům byly znalosti Kirchhoffových principů dlouho nevyužity.

V roce 1939 Woodson provedl první pokus při analýze rtuti v ovzduší za použití rtuťové výbojky. V roce 1954 byl vystaven první atomový absorpční spektrometr na výstavě CSIRO (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation, Australia) v Melbourne a objev se připsal Walshovi. Avšak komerčně, s udělenou licenci v letech 1956-1958, byl tento přístroj vyráběn společností Hilger a Watts. Po problémech byla licence odňata. Od roku 1967 se začaly používat přístroje v České Republice. <sup>[7,9]</sup>

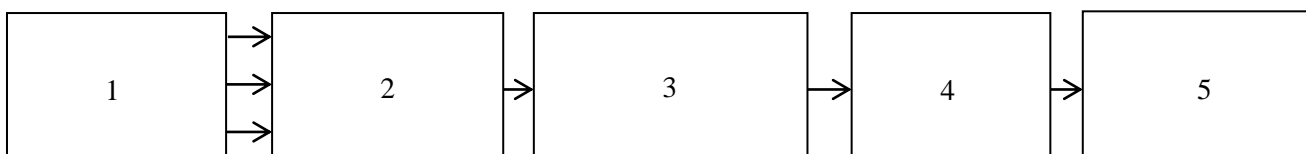
#### 2.1.2 Princip metody

Atomová absorpční spektrometrie je kvantitativní metoda sloužící ke stanovení stopových koncentrací ve vzorku. Touto metodou lze stanovit přes 60 prvků periodické tabulky, převážně kovových prvků. Princip je založen na měření absorpce monochromatického záření volnými atomy v plynném stavu. Metoda je vysoce selektivní a rychle byla rozšířena v praxi jako základní metoda stanovení prvků v roztocích. Využití dle způsobu atomizace sledovaného prvku je používáno v několika variantách F-AAS, ETA-AAS, HG-AAS. V praxi se uplatňuje atomová absorpční spektrometrie v analýze vody,

nerostných surovin, biologických materiálů, ve zdravotnictví, v zemědělství, při kontrole čistých chemikálií. [13, 6]

Základní schéma je zobrazeno na obr.1. Atomový absorpční spektrometr se skládá z těchto základních částí:

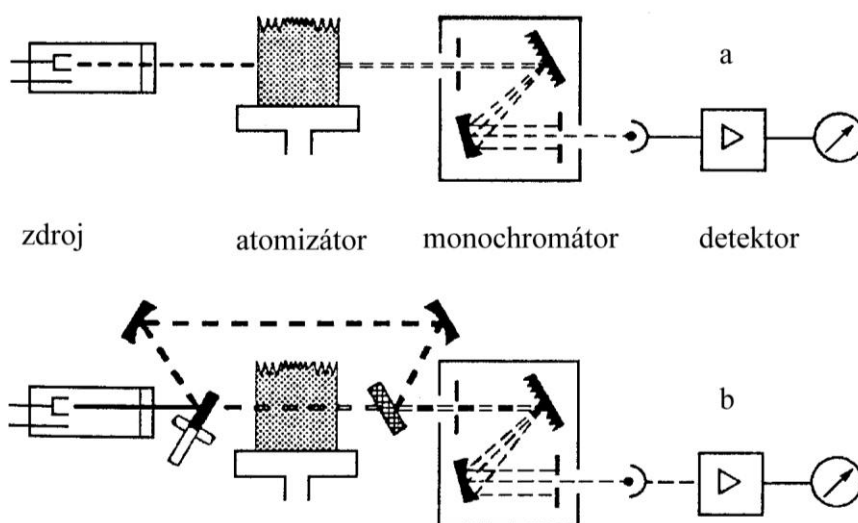
1. Zdroj záření
2. Atomizátor
3. Monochromátor
4. Detektor
5. Vyhodnocení signálu



Obr.: 1

1 - zdroj záření, 2 - atomizátor, 3 - monochromátor, 5 - detektor, 6 - vyhodnocení signálu

AAS přístroje jsou vyráběny jako jednopaprskové a dvouprskové jak je uvedeno na obr. 2.



Obr.: 2 Schéma jednopaprskového (a) a dvouprskového (b) uspořádání [17]

S větší optickou propustností a zároveň nižším šumem signálu a lepší mezí detekce se vyznačují jednopaprskové systémy. Systém má však nižší stabilitu a nelze eliminovat kolísání intenzity záření. Záření prochází prostředím, kde se absorbuje. Následně záření dopadá na monochromátor a detektor. Vysokou stabilitu prokazují dvoupraskové systémy, avšak na úkor větší ztrátě záření. Měrný paprsek je střídavě propouštěn přes atomizátor a referenční paprsek mimo atomizátor. Pomocí polopropustného zrcadla nebo rotujícího zrcadlového sektoru se oba paprsky sjednotí a v závislosti na čase jsou signály porovnávány.<sup>[7]</sup>

### 2.1.3 Výbojky s dutou katodou (HCL)

Nejvhodnějším zdrojem záření pro všechny kovy jsou výbojky s dutou katodou zobrazeny na obr. 3. Výbojky emitují čárové spektrum s pološířkou čar  $\leq 0,002\text{nm}$ . Výstupní okénko je vyrobeno z optického křemene pro oblast menší než 240 nm, nad 240 nm ze speciálních UV skel a nad 300 nm z optického skla Pyrex. Výbojky s dutou katodou jsou uzavřené evakuované skleněné baňky plněné čistým plynem, nejčastěji neonem nebo argonem při nízkém tlaku (100-500Pa). Systém obsahuje katodu a anodu. Dutá katoda je zhotovena z velmi čistého materiálu prvku, který chceme stanovit. Anoda je tvořena z inertního kovu např. wolframu. Vložení napětí 200-600V dochází k doutnavému výboji. Atomy sledovaného prvku jsou vyraženy z katody vzniklými ionty plynu. Dochází k excitaci a deexcitaci, při které je vysíláno záření charakteristické pro daný prvek.<sup>[6,7]</sup>



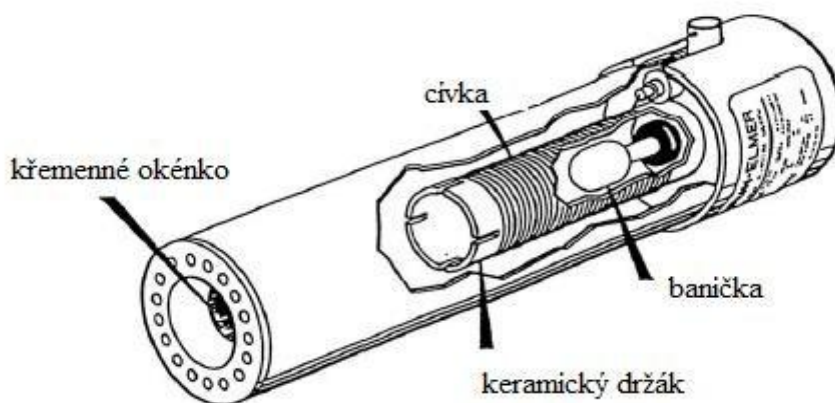
Obr.: 3 Výbojka s dutou katodou<sup>[18]</sup>

## 2.1.4 Multikatodové výbojky

Výbojky obsahují několik samostatných katod. S jednou výbojkou lze stanovit několik prvků současně, pouze otočením výbojky. Výhodou jsou nižší pořizovací náklady oproti cenám jednoprvkových výbojek. <sup>[20]</sup>

## 2.1.5 Bezelektrodové výbojky (EDL)

Vhodnějším zdrojem pro těžavější kovy (Cd, Zn, Hg) jsou výbojky bezelektrodové. Jsou to válcovité baňky vyrobené z křemene nebo skla, plněné směsí kovu a těžavé sloučeniny (např. halogenid kovu) s inertním plynem. Výbojky jsou buzeny radiovými nebo mikrovlnnými frekvencemi. Při použití bezelektrodových výbojek dochází ke zlepšení poměru signál/šum. Mez detekce se tímto zvyšuje 2-3x proti HCL. <sup>[6,7]</sup>



Obr.: 4 Bezelektrodová výbojka <sup>[7]</sup>

## 2.1.6 Speciální zdroje

Speciálními zdroji jsou vysokotlaké xenonové obloukové výbojky a polovodičové laserové diody, které poskytují polychromatické záření, tudíž není potřeba vyměňovat lampy na měření kovu. <sup>[7]</sup>

## 2.1.7 Atomizátor

Vzorek je dávkován do atomizátoru pomocí zmlžovacího zařízení. K atomizaci jsou používány elektrotermické atomizátory, plameny nebo křemenné trubice.

## 2.1.8 Plamenová atomizace (F-AAS)

Proces hoření probíhá v oblasti plamene. Volí se oblast nad primární reakční zónou a mezi reakční zónou, kde je dosahováno nejvyšší koncentrace volných atomů. Dochází k chemické reakci mezi palivem a oxidovadlem za vzniku tepla a záření. Hořákem lze kontrolovat stav hoření, tvar a polohu plamene. Hořáky se nejčastěji používají jednoštěrbínové s rozměry štěrbiny 50 x 0,5 mm pro plamen acetylen-oxid dusný a 100 x 0,5 mm pro plamen acetylen- vzduch. Jsou vyrobeny z masivní oceli, litiny nebo titanu.

Vzorek je přiváděn do plamene pomocí pneumatického zmlžovacího zařízení, kde dochází k vytvoření aerosolu drobných kapiček o průměru 1-50 $\mu$ m.

Velkým nedostatkem je naředění vzorku spalnými plyny ( 200-400 tisíckrát) a velmi malého podílu analyzovaného prvku. K využití dochází při analýze s vyšší koncentrací ve vzorku, jelikož se využije vysoká rychlost měření (5s).<sup>[13]</sup>

## 2.1.9 Elektrotermická atomizace (ETA-AAS)

Velmi malé množství (10-40 $\mu$ l) vzorku se nadávkuje do speciální miniaturní odporově vyhřívané kyvety, kde se celé množství podílí na absorpci primárního záření. Kyvety jsou vyrobeny nejčastěji z grafitu, skelného uhlíku nebo wolframu. Postupným ohřevem kyvety průchodem elektrického proudu dochází k atomizaci. Kyveta je umístěna ve speciálním držáku, který zaručuje umístění v optické dráze spektrometru. Je pracováno v atmosféře velmi čistého argonu.

Po nadávkování je teplota kyvety zvyšována postupnými 5 kroky:

1. Ohřev nad teplotu varu rozpouštědla – vysušení vzorku, do 120°C
2. Ohřev na teplotu pyrolýzy – odstranění co největší části matrice vzorku, 500 °C
3. Ohřev na teplotu atomizace – vytvoření oblaku plynných atomů, 2 000-3 000°C

4. Krátkodobé zahřátí kyvety nad teplotu atomizace – vyčištění kyvety
5. Ochlazení kyvety na počáteční teplotu

Výsledný signál je tvořen píkem. Celý proces, již od dávkování vzorku, je řízen počítačovým programem. Hlavní výhodou je zvýšení citlivosti a až o 3 řády nižší detekční limit. [6,13]

### 2.1.10 Atomizace v křemenném atomizátoru (HG-AAS)

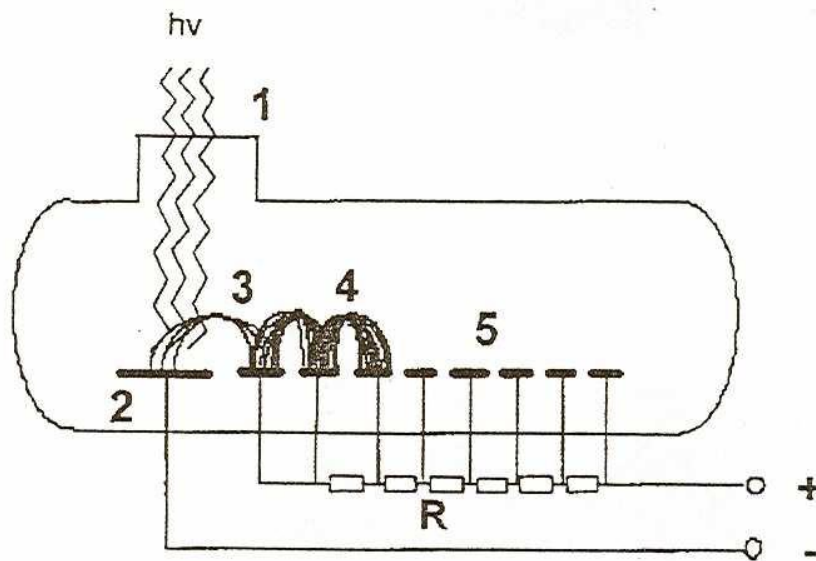
Technika generování a atomizace těkavých sloučenin, kde se nejdříve stanovovaný analyt převede na těkavou sloučeninu (nejčastěji hydrid), která se oddělí od vzorku a dochází k atomizaci ve speciálním křemenném atomizátoru. Oddělení těkavých hydridů lze pouze u hydridotvorných prvků jako jsou As, Se, Te, Ge, Bi, Sn, Sb, Pb. K vzniku hydridu je nejčastěji používáno redukční činidlo tetrahydridoboritan sodný v prostředí různé koncentrace kyseliny (HCl). [13]

### 2.1.11 Monochromátor

K izolaci určitého intervalu, ve kterém se nachází příslušná absorpční rezonanční čára sledovaného prvku, je používán monochromátor. Je zhotoven z mřížek pro rozsah vlnových délek 190 – 900 nm. Nejčastěji jsou užívány mřížkové monochromátory konstrukce Czerny – Turner, které obsahují vstupní a výstupní štěrbiny, rotační mřížku a dutá sférická zrcadla. [13]

### 2.1.12 Detektor

Mezi nejčastěji používané detektory v AAS patří fotonásobič. Cílem fotonásobiče je snaha oddělit vlastní proud vyvolaný dopadem primárního záření. Hlavní výhodou je vysoká citlivost a velmi nízká časová konstanta ( $10^{-8}$  -  $10^{-9}$  s). Jednotlivé části fotonásobiče jsou zobrazeny na obr. 5. [13]



Obr.: 5 Schéma fotonásobiče <sup>[21]</sup>

1 – křemenné okénko, 2 – fotokatoda, 3 – primární elektrony, 4 – pomnožené sekundární elektrony, 5 – systém dynod

## 2.2 ICP-MS

Tato technika je jednou z nejrozšířenějších analytických metod v různých odvětvích působnosti. Uplynulo již 15 let od proniknutí ICP-MS na trh. Metoda spojuje indukčně vázanou plazmu (zdroj kladně nabitých částic) s hmotnostní spektrometrií (detekce částic).

První hlavní součástí přístroje je plazmový zdroj, který je tvořen generátorem a indukční cívkou, plazmovým hořákem, mlžnou komorou a zmlžovačem. V plazmovém hořáku vzniká plazma. V mlžné komoře je tvořen z kapalného vzorku aerosol (částice  $<5\mu\text{m}$ ), který se dostává do hořáku. Průchodem aerosolu vzorku plazmatem vzniká pára, následně atomy a ionty.

Druhou hlavní součástí přístroje je hmotnostní spektrometr. Spojení s plazmatem dochází v expanzní komoře, která je od okolního prostředí ohraničena dvěma děliči tlaku. Iontový svazek prochází iontovou optikou, přes kvadrupól do detektoru. <sup>[16]</sup>



## 2.3 Aplikace AAS a ICP-MS v praxi

### 2.3.1 Stanovení arsenu v ořeších pomocí AAS - verifikace metody a kvantifikace nejistoty stanovení

Pro celou řadu aplikací poskytuje metoda AAS uspokojivé detekční limity a relativně nízké pořizovací a provozní náklady. Cílem práce bylo zjistit optimální postup a vhodné podmínky pro stanovení arsenu v biologickém materiálu (plodech ořechů) pomocí běžných atomizačních technik AAS (ETA-AAS, HG-AAS).

Arsen patří mezi rizikové prvky, které negativně ovlivňují půdní úrodnost, růst rostlin a následná možnost ohrožení zdraví lidí a zvířat. Rostlina přijímá arsen v pětimocné formě, který následně redukuje na trojmocný. Většina suchozemských rostlin má schopnost akumulace arsenu (až 8 mg na kg sušiny).

K měření byly vybrány dva druhy lískových ořechů (líška obecná, líška turecká), plody podzemnice olejné a vlašské ořechy. Každý plod byl rozdělen na skořápku, slupku a jádro. Vzorky před měřením byly rozloženy  $\text{HNO}_3$  (67%) a  $\text{H}_2\text{O}_2$  (30%) v mikrovlnném mineralizátoru Uniclever II (Plazmatronika, Polsko), vysušeny a převedeny do odměrných baněk. Následně probíhalo měření pomocí ETA-AAS a HG-AAS.

Data získaná pro atomizační techniky ETA-AAS a HG-AAS jsou zobrazena v tabulce 2. Množství arsenu v různých částech ořechů se převážně shodovalo v obou technikách, až na slupky u lísky turecké, kde se shoda nepotvrdila. U všech ostatních je shoda potvrzena.

Dále v práci se podařilo optimalizovat a verifikovat metodu pro stanovení stopových množství arsenu v biologických vzorcích. Technika s elektrotermickou atomizací postačuje svými detekčními limity ke stanovení arsenu ve skořápkách a slupkách ořechů, pro některá jádra není dostačující. Směrodatná odchylka při této technice je 8,4%. Technika HG-AAS umožňuje stanovení arsenu ve všech částech ořechů. Směrodatná odchylka u HG-AAS je 3,9%. Nejvyšší koncentrace arsenu byly změřeny ve slupkách ořechů a nejnižší v jádrech.

[ 22 ]

**Tab.: 2** Intervalové odhady koncentrací As v analyzovaných vzorcích určené analýzou malých výběrů ( $\text{mg.kg}^{-1}$ )<sup>[22]</sup>

Druh ořechu	Atomizační technika	Skořápka	Slupka	Jádro
Líska obecná	ETA	$0,04 \pm 0,02$	$0,19 \pm 0,08$	< LOD a
	HG	$0,02 \pm 0,01$	$0,24 \pm 0,04$	$0,04 \pm 0,01$
Líska turecká	ETA	$0,04 \pm 0,02$	$0,38 \pm 0,08$	$0,18 \pm 0,05$
	HG	$0,06 \pm 0,01$	$0,29 \pm 0,04$	$0,13 \pm 0,01$
Podzemnice olejná	ETA	$0,20 \pm 0,06$	$0,97 \pm 0,26$	< LOD
	HG	$0,23 \pm 0,01$	$1,00 \pm 0,32$	$0,04 \pm 0,04$
Vlašský ořech	ETA	$0,04 \pm 0,02$	$0,07 \pm 0,02$	< LOD
	HG	$0,03 \pm 0,02$	$0,05 \pm 0,01$	$0,04 \pm 0,01$

a LOD – mez detekce

### 2.3.2 Stanovení stopových obsahů As, Sb, Sn, Pb a Cd v ocelích metodou ETA AAS s rychlou Zeemanovou korekcí

Stanovení prvků (Sb, Sn, As a Pb) při nízkých koncentracích klade významnou roli při výrobě ocelí. Výrazně ovlivňují mechanické vlastnosti.

Vzorky ve formě špon nebo třísek jsou rozpuštěny v lučavce královské. Po rozpuštění jsou vzorky přefiltrovány přes filtr. Před vlastním měřením jsou ještě 10x ředěny. Důležitá je eliminace matrice a zamezení stanovení rušivými prvky. Následuje měření ETA-AAS s ultrarychlou podélnou Zeemanovou korekcí pozadí, s programově řízenou silou magnetického pole a příčně vyhřívaným atomizátorem s vysokou rychlostí ohřevu. Detekční limity byly následující  $0,61 \mu\text{g.g}^{-1}$  (Sb),  $0,25 \mu\text{g.g}^{-1}$  (Pb),  $0,35 \mu\text{g.g}^{-1}$  (As),  $0,88 \mu\text{g.g}^{-1}$  (Sn) a  $0,01 \mu\text{g.g}^{-1}$  (Cd).<sup>[25]</sup>

### 2.3.3 Optimalizace stanovení stopových koncentrací jodu v povrchových vodách metodou ICP-MS

Největším zdrojem jodu je zřejmě magma a oceánské sedimenty. Průměrně 50 až 60  $\mu\text{g}\cdot\text{dm}^{-3}$  jodu obsahují vody oceánů. Velké množství je přenášeno až na pevninu pomocí vzdušnými proudy. Do vodních toků přechází jod především srážkami a uvolňováním z okolních půd. Ve vodním prostředí se vyskytuje jod ve formě jodidových a jodičnanových iontů a také jako organicky vázaný jod. Cílem práce bylo optimalizovat metodiku stanovení jodu ve vodách pomocí techniky IPC-MS, kvalitu materiálu vzorkovnic a typu použitého filtru.

Vzorky byly odebrány z povodí řeky Blanice a jejich přítoků v jižních Čechách. Vzorky byly rozděleny do dvou skupin. První skupina byla konzervována ve skleněných lahvích, ve druhé skupině nebyla použita konzervace a vzorky byly naplněny do plastových vzorkovnic. První skupina vzorků byla zfiltrována přes membránový filtr a paralelně přes filtr ze skleněných vláken, druhá skupina byla zfiltrována pouze přes membránový filtr. Vzorky byly uchovávány v temnu při teplotě 4°C. Následně proběhlo měření na ICP-MS.

Vliv koncentrace a druh filtru je vzhledem k výsledkům zanedbatelný. Při použití membránového filtru bez konzervace vzorku průměrná hodnota činila 3,009  $\mu\text{g}\cdot\text{dm}^{-3}$ , s konzervací vzorku 3,116  $\mu\text{g}\cdot\text{dm}^{-3}$ . Při použití skleněného filtru bez konzervace vzorku průměrná hodnota činila 2,959  $\mu\text{g}\cdot\text{dm}^{-3}$ , s konzervací vzorku 3,229  $\mu\text{g}\cdot\text{dm}^{-3}$ . Z toho měření vyplynulo, že řeka Blanice dokáže regulovat obsah jodu ve vodě zvýšeným průtokem a naředěním vody z přítoků. <sup>[23]</sup>

### 2.3.4 Stanovení mědi a zinku v plné lidské krvi metodou ICP-MS

Technika ICP-MS se mimo jiné využívá při analýze tělních tekutin, zejména krve, plazmy a krevního séra. K popisu stavu pacientů podle zkušeností autorů je nutné znát obsah kovů jak v séru nebo plazmě, tak v plné krvi.

Vzorky krve byly získány od dobrovolných dárců krve. Ihned po odběru byly vzorky stabilizovány přidávkem heparinu (0,5ml heparinu na 10ml krve) a uchovávány při teplotě

4°C. Podle přesného postupu byly dále zpracovány vzorky k přímé analýze krve a vzorky k analýze krve po rozkladu. Následně proběhlo měření na IPC-MS.

Směrodatná odchylka opakovatelnosti je u obou metod a obou stanovovaných prvků srovnatelná. Proto je dokázáno, že není potřeba provádět rozklad, při kterém může docházet ke kontaminaci a ztrátám analytu. <sup>[24]</sup>

### 2.3.5 Stanovení selenu v zelenině pomocí ETA-AAS a HG-AAS

Selen je základní stopový prvek potřebný pro základní životní funkce. Je nedílnou součástí enzymu glutathion peroxidázy. Zelenina a její složení hraje důležitou roli ve výživě člověka.

Vzorky byly získány z čerstvých rajčat, které byly dále upraveny kyselinou dusičnou a peroxidem vodíku. Následně byly vzorky ještě upraveny dle přesných postupů. Pomocí technik ETA-AAS se zeemanovou korekcí, ETA-AAS s použitím deutériové korekce pozadí a HG-AAS.

Nízké hladiny selenu v zelenině vyžadují citlivé stanovení. Technika ETA-AAS s deuteriovou korekcí na pozadí nedokáže spolehlivě rozlišit nízký obsah Se ve vzorku. Nejvhodnější technikou pro stanovení Se je HG-AAS. <sup>[26]</sup>

## 3 Experimentální část

### 3.1 Výběr lokalit

Odběrová místa se nacházela ve Dvoře Králové nad Labem a v blízkém okolí, jak je naznačeno na obr. 6. Vzorky pitné vody byly odebírány z úpravny vod, z domácností, z vodojemů a obecní studny.



Obr.: 6 Mapa lokalit odběru <sup>[15]</sup>

### 3.2 Odběr vzorku

Před vlastním odběrem vzorků pitné vody z vytipovaných míst bylo vždy nutné mít dokonale vymyté speciální polyethylenové nádoby pro odběr vzorků tzv. vzorkovnice. Vzorkovnice byly označeny místem a datem odběru vzorku, aby nebylo možno vzorky zaměnit.

Byl použit následující postup při odběru vzorku:

1. Měření teploty vody
2. Odběr vzorku
3. Konzervování vzorku
4. Převoz a skladování vzorku

Než docházelo k vlastnímu odebrání vzorku vody, bylo důležité nechat několik minut vodu volně odtékat. Důvodem bylo možné usazení železa v potrubí, které by mohlo ovlivnit měřené hodnoty. Při odebírání vzorků byly nádoby nejdříve několikrát propláchnuty vzorkem vody a teprve poté byl vzorek odebrán k měření pod proudem tekoucí vody.

Konzervace nebyla nutná v případě, že by byl vzorek stanovován ještě ten den. V případě stanovení vzorku několik dní po odběru byla použita ke konzervaci koncentrovaná kyselina dusičná. V tomto případě bylo pipetováno 5 ml koncentrované kyseliny dusičné do vzorkovnic pro odběr vzorku. Nádoby se vzorky byly uchovávány při teplotě 5-10°C v lednici, aby nedocházelo k samovolnému rozkladu některých látek a tím ovlivnění výsledků.

### 3.3 Přístroje a chemikálie

#### Instrumentace

AAS Avanta - GBC (Austrálie)

Mikropipety - Biohit (Finsko)

#### Seznam použitých chemikálií

Koncentrovaná kyselina dusičná (Merck, Německo)

Standardní roztok  $\text{Fe}^{2+}$  1000mg/l v 0,5M  $\text{HNO}_3$  (Merck, Německo)

Standardní roztok  $\text{Mn}^{2+}$  1000mg/l v 0,5M  $\text{HNO}_3$  (Merck, Německo)

Standardní roztok  $\text{Al}^{3+}$  1000mg/l v 0,5M  $\text{HNO}_3$  (Merck, Německo)

Destilovaná voda

### 3.4 Příprava standardních roztoků pro kalibrační křivku

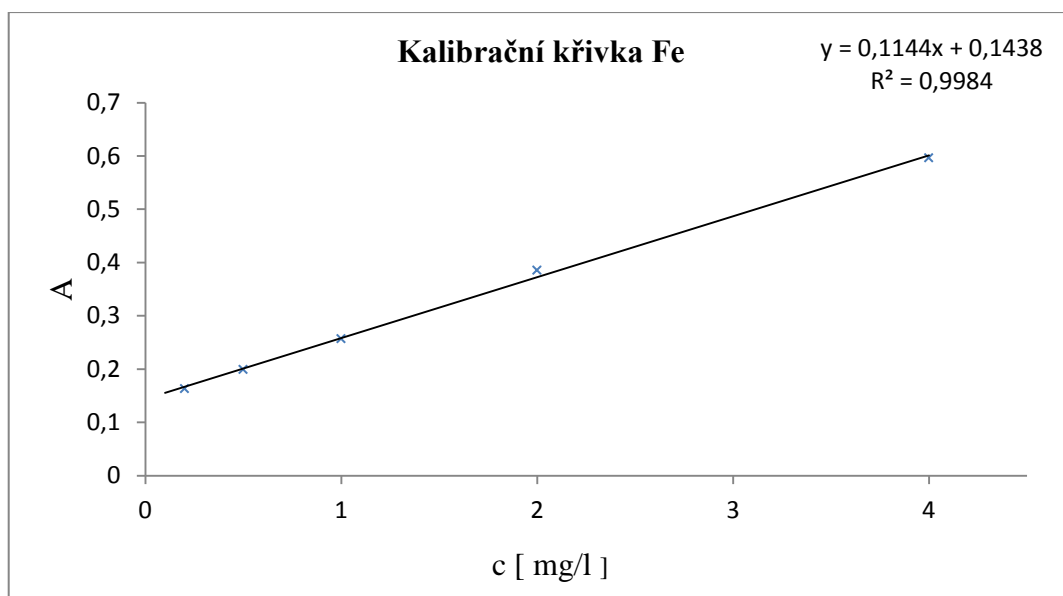
Kalibrační roztoky byly připraveny ze standardních roztoků o přesné koncentraci. Ze standardních roztoků o koncentraci  $\text{Fe}^{2+}=1000\text{mg/l}$ ,  $\text{Mn}^{2+}=1000\text{mg/l}$ ,  $\text{Al}^{3+}=1000\text{mg/l}$  bylo pipetováno potřebné množství k přípravě roztoků pro kalibrační křivku do odměrných baněk a doplněno destilovanou vodou po rysku. Pro každou sérii měření byly připravené vždy čerstvé standardní roztoky, jelikož starší standardní roztoky by nemusely vykazovat optimální hodnoty.

Přesné hodnoty kalibračních roztoků se nachází v tabulce Tab. 3.

**Tab.: 3** Hodnoty standardních roztoků pro kalibrační křivku.

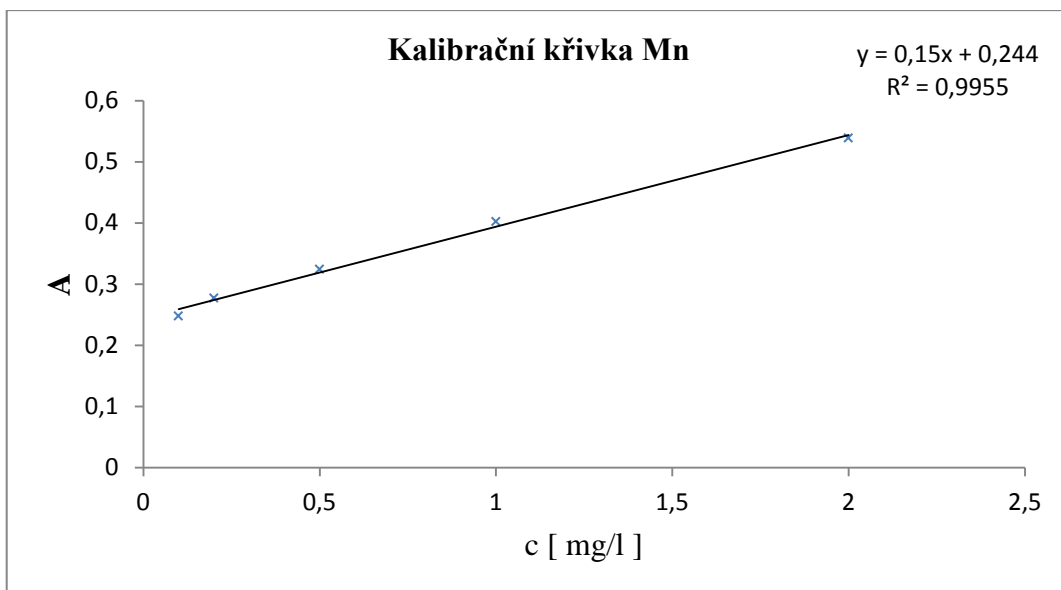
standard č.	koncentrace Fe [mg.l <sup>-1</sup> ]	koncentrace Mn [mg.l <sup>-1</sup> ]	koncentrace Al [mg.l <sup>-1</sup> ]
1	0,1	0,1	0,1
2	0,2	0,2	0,2
3	0,5	0,5	0,5
4	1	1	1
5	2	2	2
6	4		4

Kalibrační křivky jednotlivých kovů jsou zobrazeny v grafech 1, 2, 3.

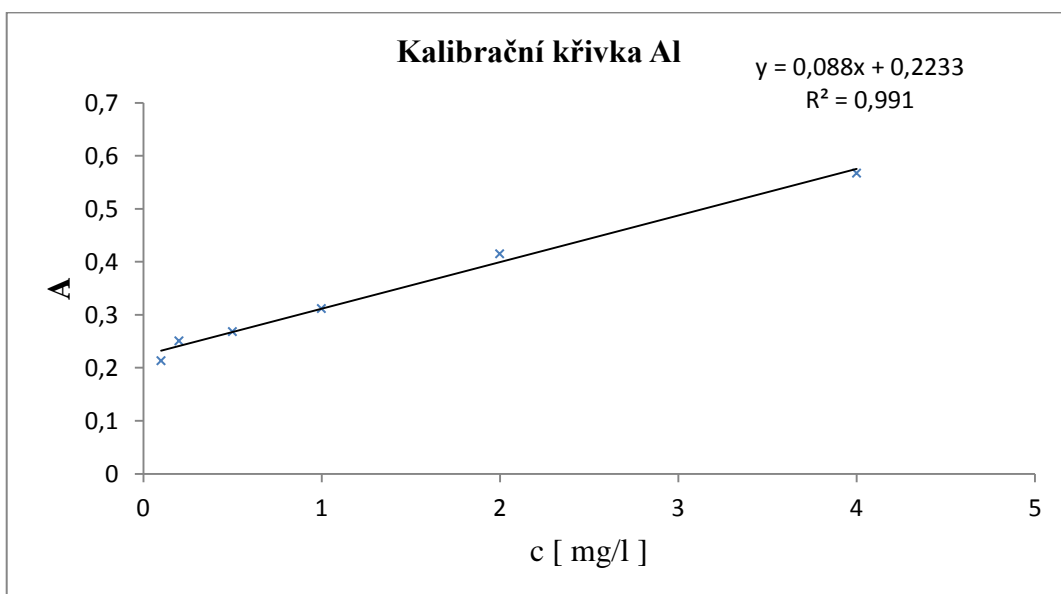


Graf 1: Kalibrační křivka Fe





Graf 2: Kalibrační křivka Mn



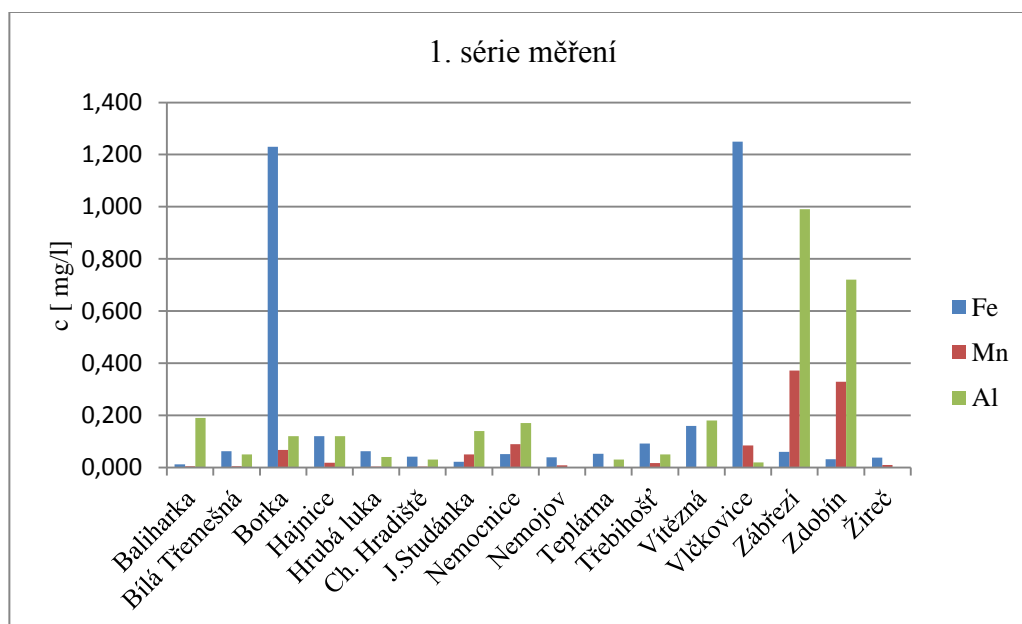
Graf 3: Kalibrační křivka Al

## 4 Výsledky a diskuse

Grafy zobrazují závislost koncentrace všech tří kovů na všech odběrových místech při jednotlivých sériích měření. Mezní hodnota železa je 0,2 mg/l, manganu 0,05 mg/l a hliníku 0,02 mg/l.

### 4.1 První série měření

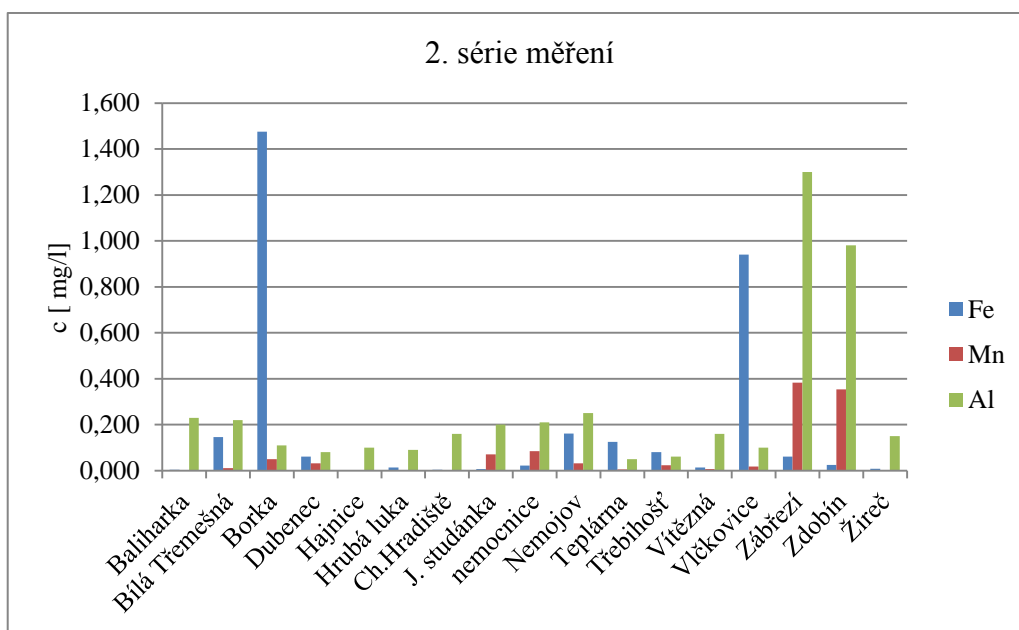
V první sérii měření jsou hodnoty železa ve většině odběrových míst pod mezní hodnotou, jen v případě Borcka a Vlčkovice jsou hodnoty výrazně vyšší, jak je patrné v grafu 4. Mezní hodnotu manganu převyšují odběrová místa Borcka, J. Studánka, nemocnice, Vlčkovice, Zábřezí a Zdobín. Výrazné překročení mezní hodnoty hliníku je na Zábřezí a Zdobíně.



Graf 4: 1. série měření

## 4.2 Druhá série měření

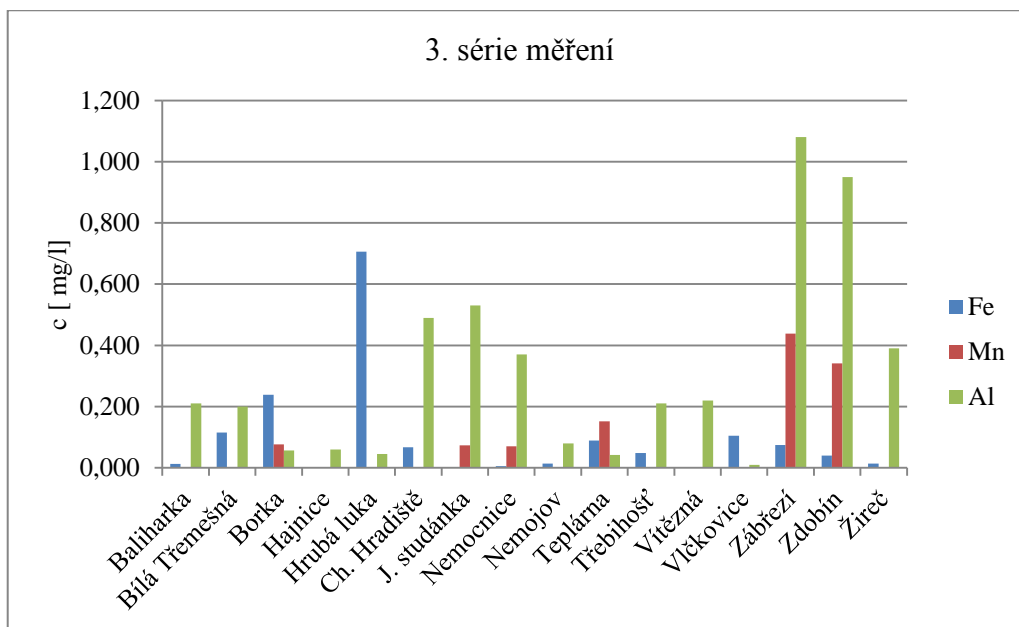
Ve druhé sérii měření jsou hodnoty železa opět ve většině odběrových míst pod mezní hodnotou, jen v případě odběrového místa Borka a Vlčkovice jsou hodnoty výrazně vyšší, jak je patrné z grafu 5. Překročení mezní hodnoty manganu jsou zaznamenány z odběrových míst J. Studánka, nemocnice, Zábřezí a Zdobín. Hodnota manganu v místě Borka je na hranici povolené hodnoty. Výrazné překročení mezní hodnoty hliníku v místech Zábřezí a Zdobín. Na hranici povolené normy jsou místa Baliharka, Bílá Třemešná, J. Studánka, nemocnice a Nemojov.



Graf 5: 2. série měření

### 4.3 Třetí série měření

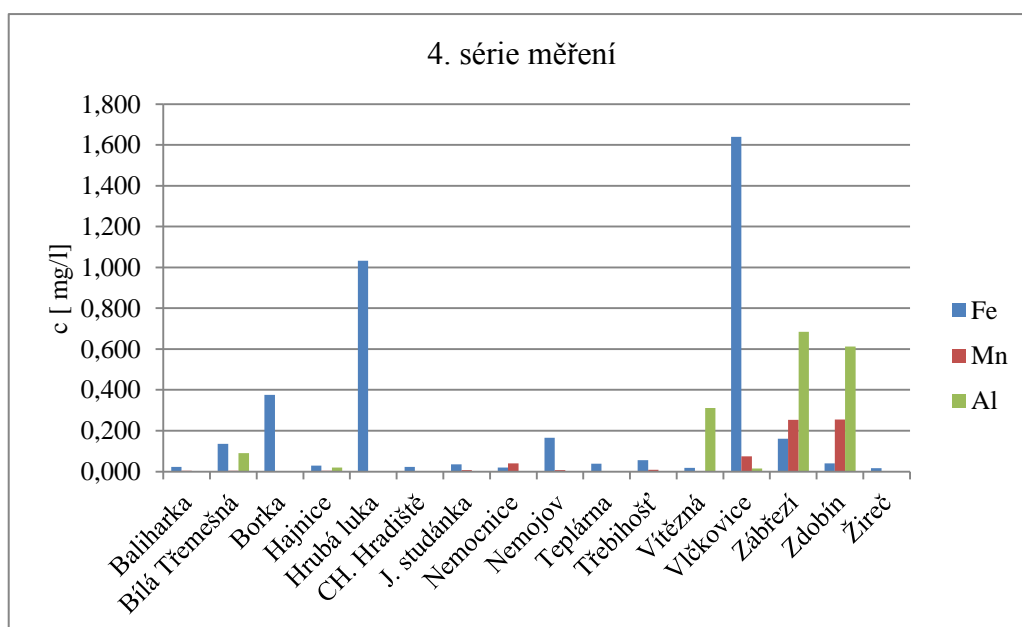
Ve třetí sérii měření jsou hodnoty železa ve většině odběrových míst pod mezní hodnotou, jen v případě místa Borka a Hrubá luka jsou hodnoty vyšší, jak je patrné v grafu 6. Mezní hodnota manganu je překročena v místech Borka, J. Studánka, nemocnice, Teplárna, Zábřezí a Zdobín. Na hranici mezní hodnoty hliníku jsou místa Vítězná, Bílá Třemešná, Třebihošť a Baliharka. Vyšší překročení hodnoty je zaznamenáno v místech Ch. Hradiště, J. Studánka, nemocnice, Zábřezí, Zdobín a Žireč.



Graf 6: 3. série měření

## 4.4 Čtvrtá série měření

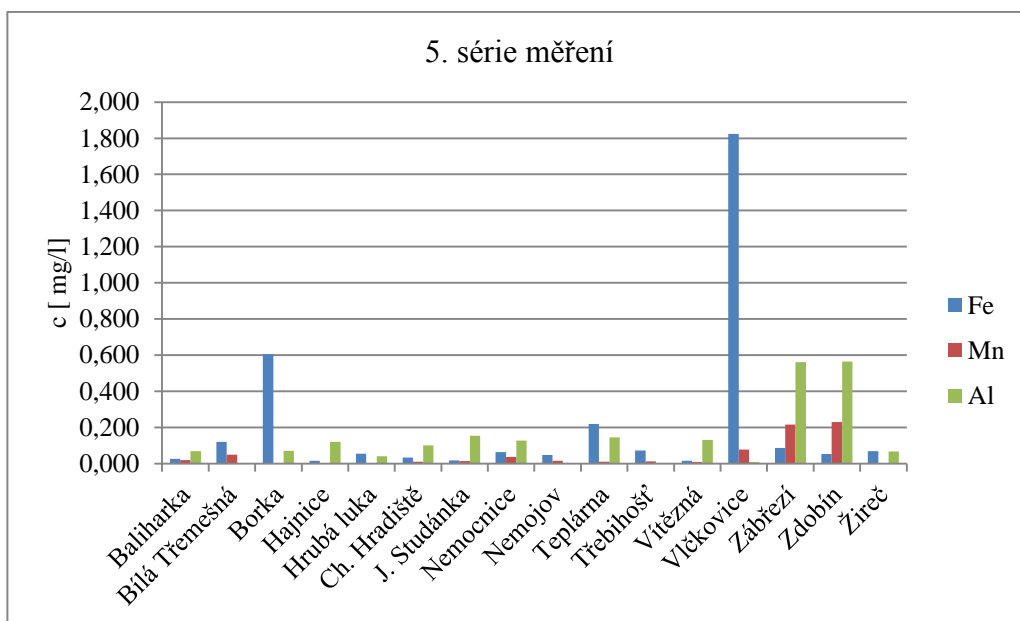
Ve čtvrté sérii měření jsou hodnoty železa opět ve většině odběrových míst pod mezní hodnotou, jen v případě míst Borka, Hrubá luka a Vlčkovice, jsou hodnoty výrazně vyšší, jak je patrné v grafu 7. Překročení mezní hodnoty manganu je v místech Vlčkovice, Zdobín a Zábřezí. Patrné překročení mezní hodnoty hliníku je v místech Vítězná, Zábřezí a Zdobín.



Graf 7: 4. Série měření

## 4.5 Pátá série měření

V páté sérii měření jsou hodnoty železa ve většině odběrových míst pod mezní hodnotou, jen v případě míst Borka a Vlčkovice jsou hodnoty výrazně vyšší, jak je patrné v grafu 8. Na hranici mezní hodnoty železa je odběrové místo Teplárna. Mezní hodnota manganu je překročena v místech Vlčkovice, Zábřezí a Zdobín. Patrné překročení mezní hodnoty hliníku je v místech Zábřezí a Zdobín.



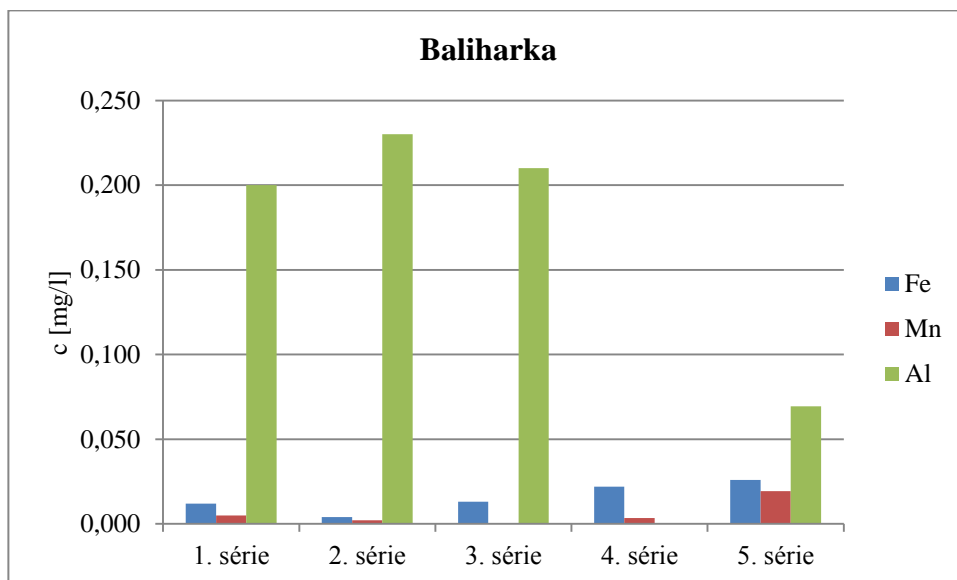
Graf 8: 5. Série měření

Z grafů 4, 5, 7 a 8 je patrné pravidelné překročení koncentrace železa z odběrového místa Vlčkovice a Borka. V grafu 6, 7, jsou zaznamenány kolísavé hodnoty koncentrací železa z odběrového místa Hrubá luka.

Pravidelné překročení koncentrace manganu a hliníku v odběrových místech Zábřezí a Zdobín je patrné ve všech uvedených grafech.

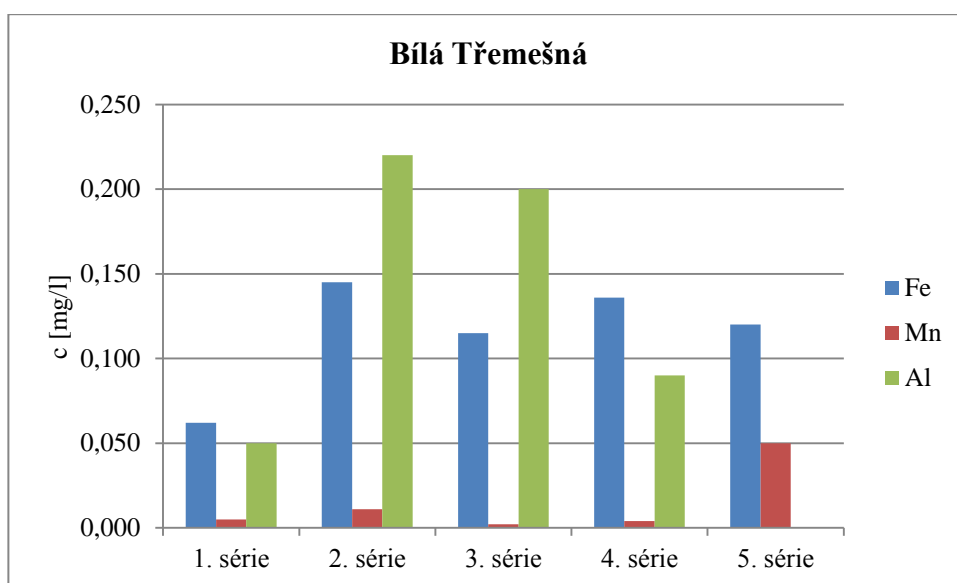
## 4.6 Grafy zobrazující měnící se průběh koncentrace kovů na jednotlivých sériích měření v konkrétních místech.

V grafu 9 je patrné, že hodnoty železa a manganu z odběrového místa Baliharka se v jednotlivých sériích výrazně nemění a jsou pod mezní hodnotou, pouze hodnoty hliníku ve 2. a 3. sérii překračují mezní hodnotu 0,2 mg/l.



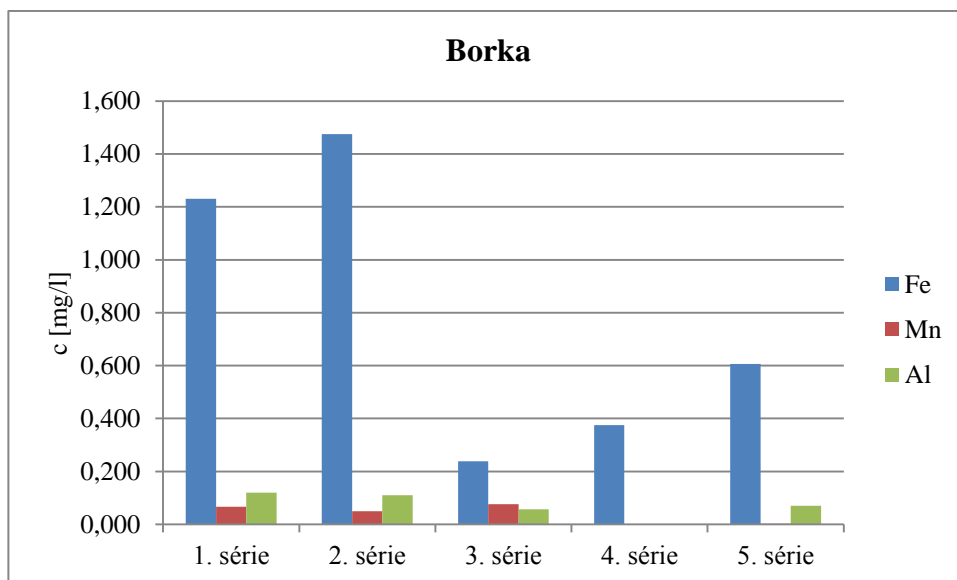
Graf 9: Baliharka

V grafu 10 jsou patrné kolísavé hodnoty železa a hliníku z odběrového místa Bílá Třemešná, mezní hodnotu přesahuje pouze hliník ve 2. sérii. Hodnoty manganu se výrazně neliší až na 5. sérii měření, kdy dosahuje hodnoty mezní hodnoty.



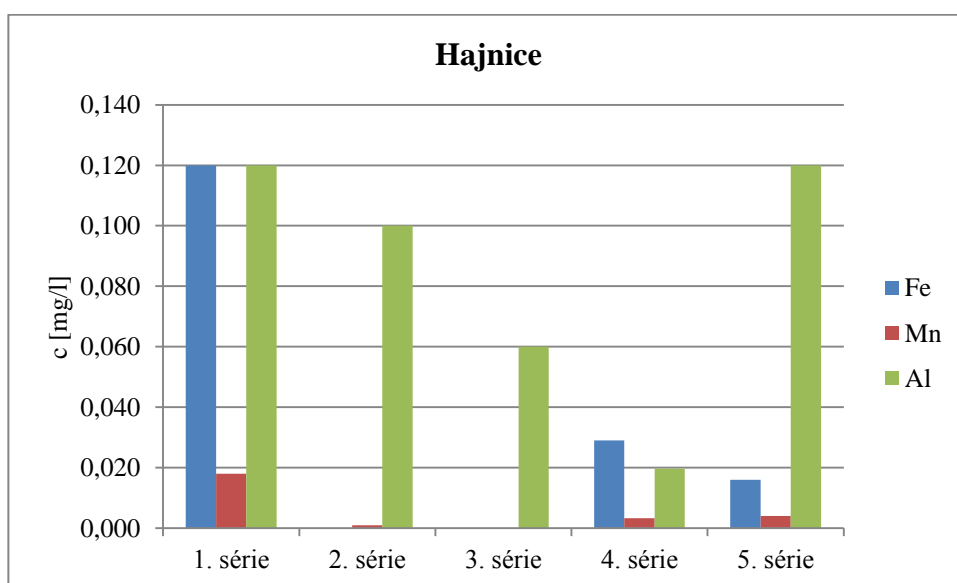
Graf 10: Bílá Třemešná

V grafu 11 jsou patrné kolísavé hodnoty železa z odběrového místa Borka, které přesahují výrazně mezní hodnotu ve všech měření, mezní hodnota manganu je překročena v prvních třech sériích měření.



Graf 11: Borka

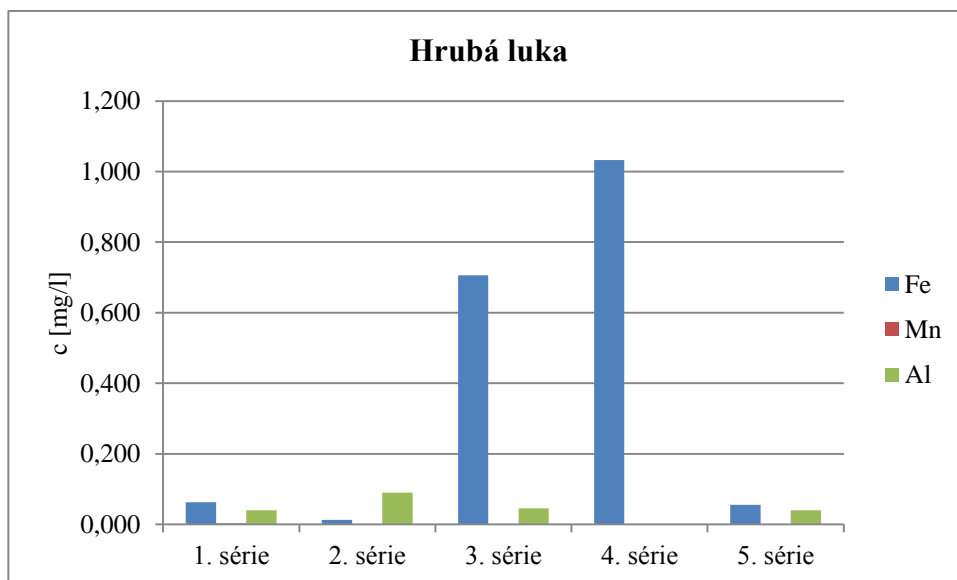
V grafu 12 jsou patrné kolísavé hodnoty železa a hliníku z odběrového místa Hajnice, avšak nepřesahují mezní hodnotu. Hodnoty manganu přesahují ve většině měření mezní hodnotu.



Graf 12: Hajnice

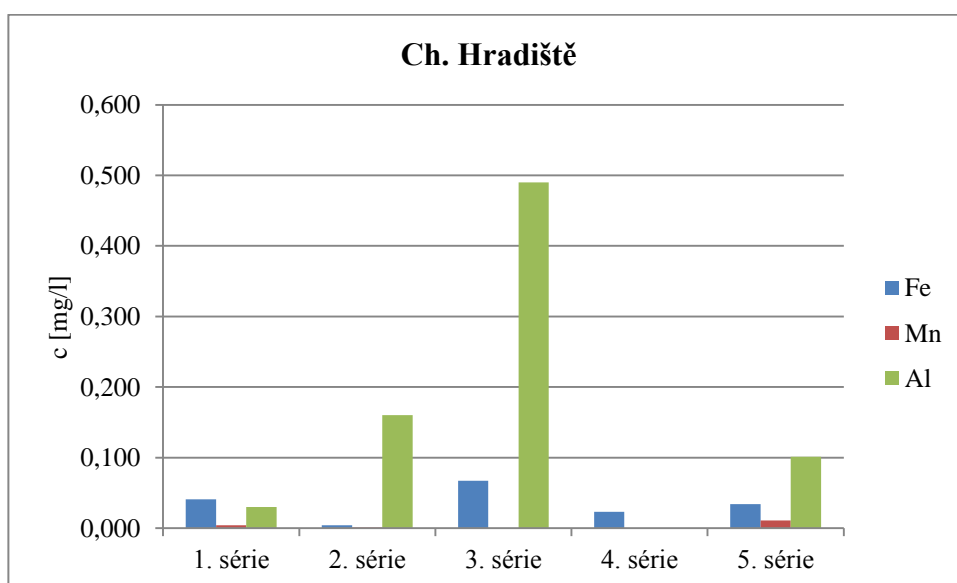


V grafu 13 jsou patrné kolísavé hodnoty železa z odběrového místa Hrubá luka, avšak jen hodnoty ve 2. a 3. sérii přesahují mezní hodnotu. Ostatní hodnoty kovů se výrazně neliší.



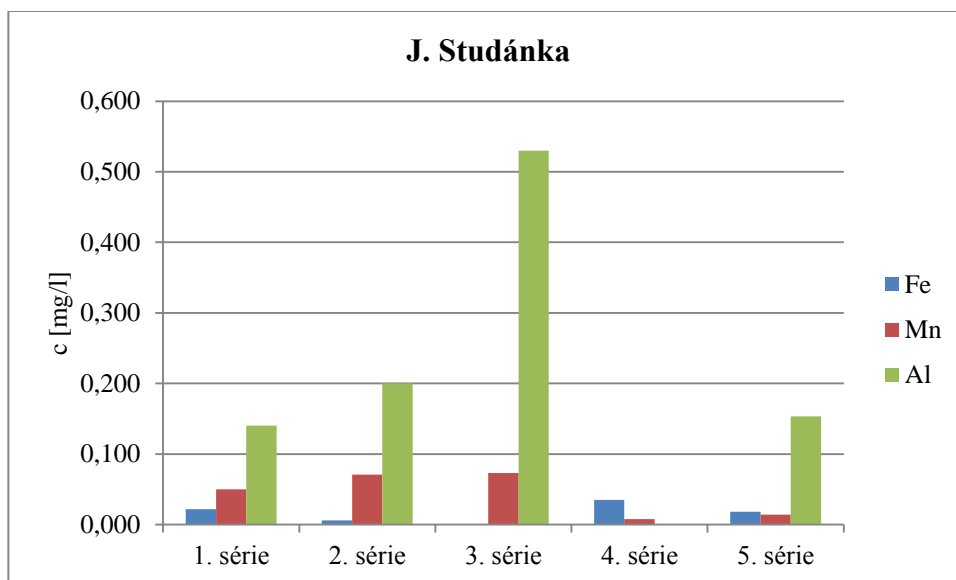
Graf 13: Hrubá luka

V grafu 14 jsou patrné kolísavé hodnoty hliníku z odběrového místa Ch. Hradiště, avšak mezní hodnotu přesahuje pouze hodnota ve 3. sérii. Ostatní hodnoty kovů se výrazně neliší.



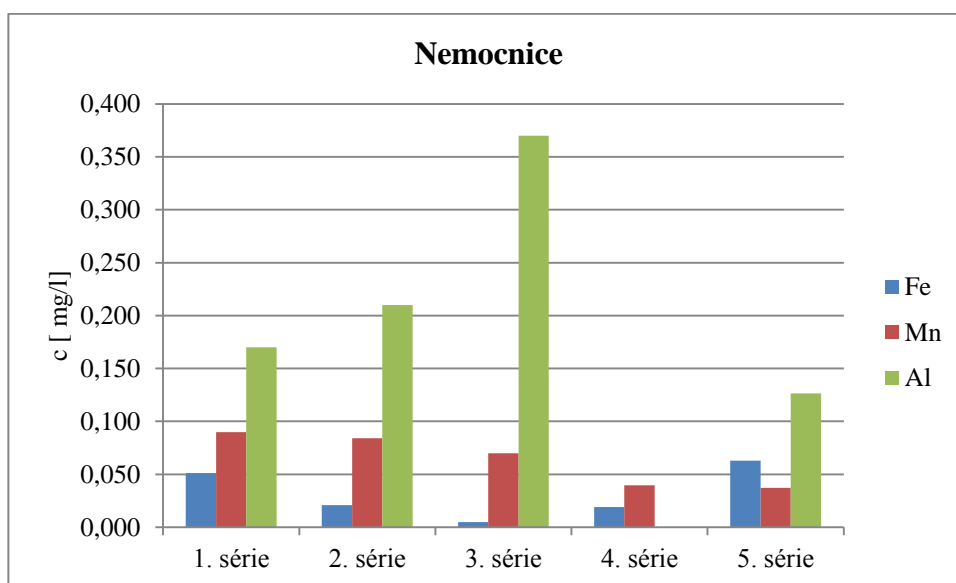
Graf 14: Ch. Hradiště

Z grafu 15 jsou patrné kolísavé hodnoty manganu a hliníku z odběrového místa J. Studánka, kde hodnoty manganu přesahují mezní hodnotu ve 2. a 3. sérii měření a hliník pouze ve 3. sérii, hodnoty železa se výrazně neliší.



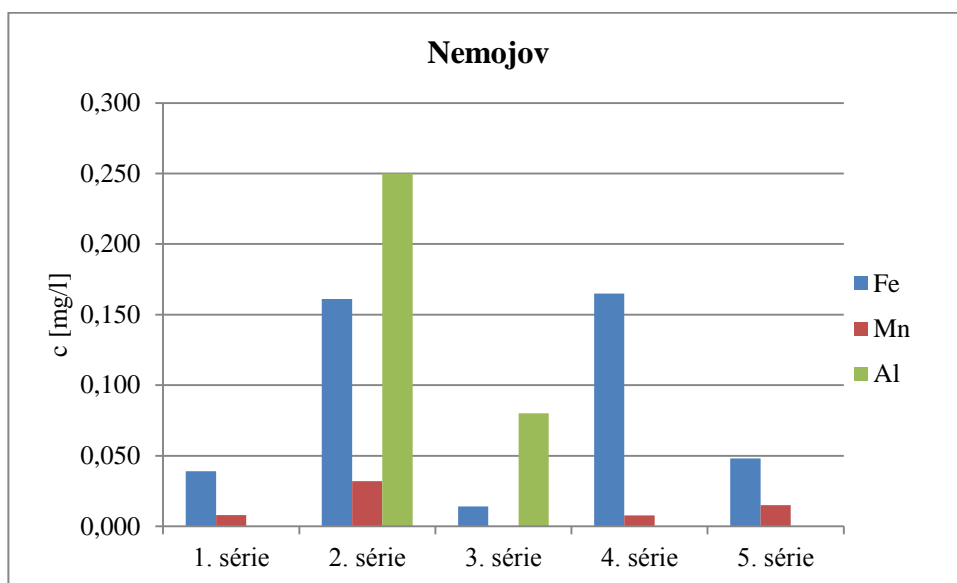
Graf 15: J. Studánka

Z grafu 16 jsou patrné kolísavé hodnoty železa a hliníku z odběrového místa Nemocnice, avšak mezní hodnotu přesahuje pouze hliník ve 2. a 3. sérii. Hodnoty manganu mají sestupnou tendenci, avšak přesahují mezní hodnotu v prvních třech sériích.



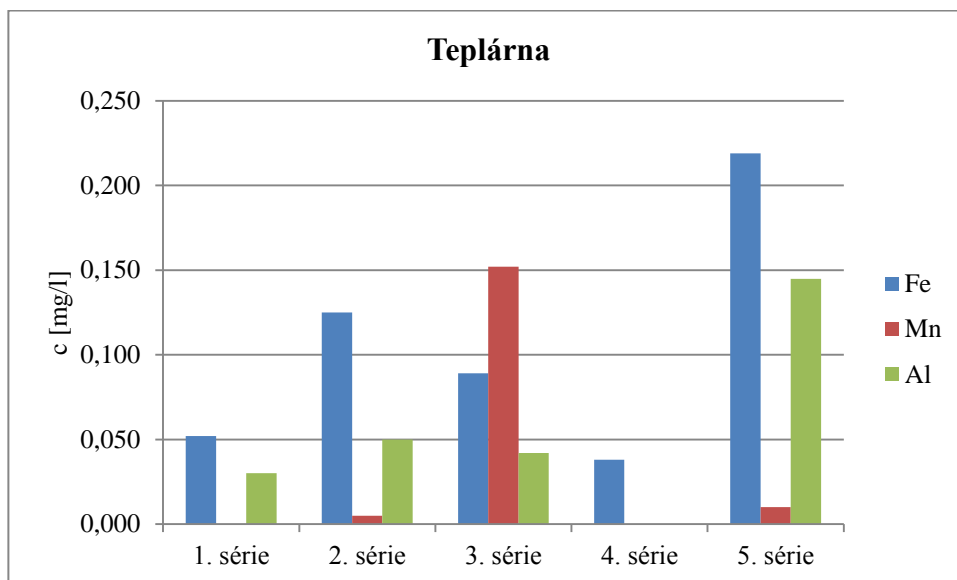
Graf 16: Nemocnice

Z grafu 17 jsou patrné kolísavé hodnoty železa a hliníku z odběrového místa Nemojov, hodnoty manganu se výrazně neliší. Mezní hodnotu přesahuje pouze hliník ve 2. sérii.



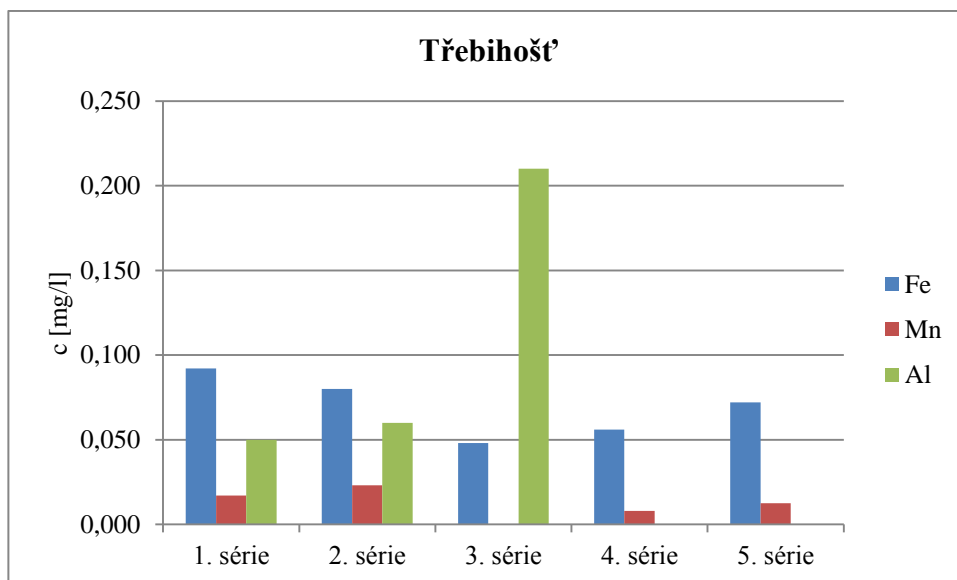
Graf 17: Nemojov

Z grafu 18 jsou patrné kolísavé hodnoty všech prvků z odběrového místa Teplárna. Avšak hodnota železa přesahuje mezní hodnotu pouze v 5. sérii a hodnota manganu ve 3. sérii. Ostatní hodnoty kovů jsou pod mezní hodnotou.



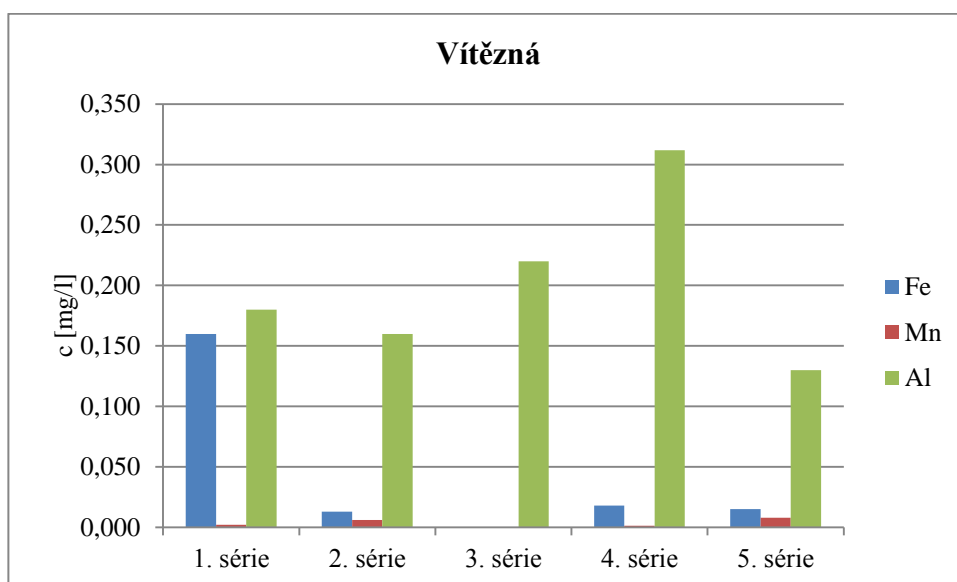
Graf 18: Teplárna

Z grafu 19 jsou patrné kolísavé hodnoty železa a hliníku z odběrového místa Třebihošť, ostatní hodnoty se výrazně neliší. Mezní hodnotu přesahuje pouze hodnota hliníku ve 3. sérii.



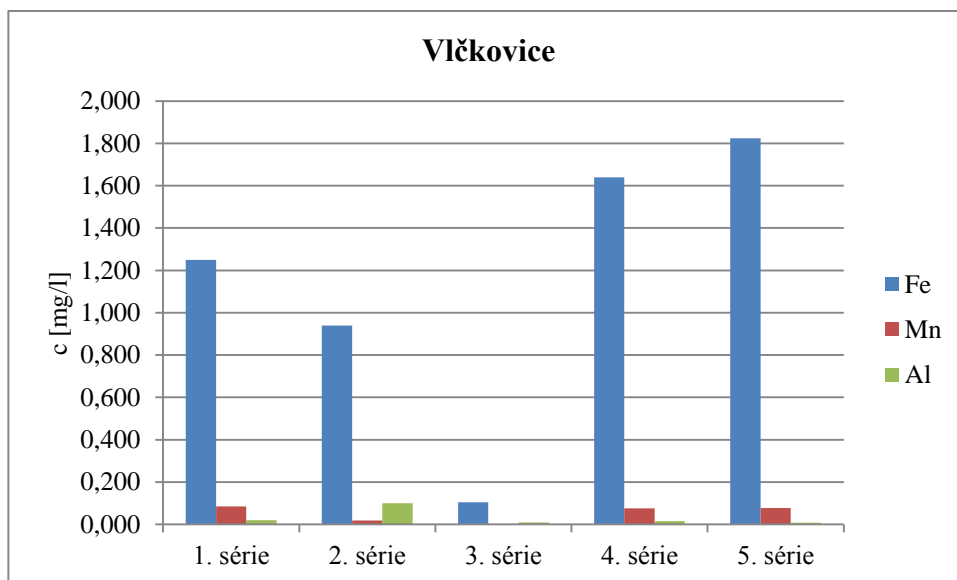
Graf 19: Třebihošť

Z grafu 20 jsou patrné kolísavé hodnoty železa a hliníku z odběrového místa Vítězná, hodnoty manganu se výrazně neliší. Mezní hodnotu přesahují hodnoty hliníku ve 3. a 4. sérii.



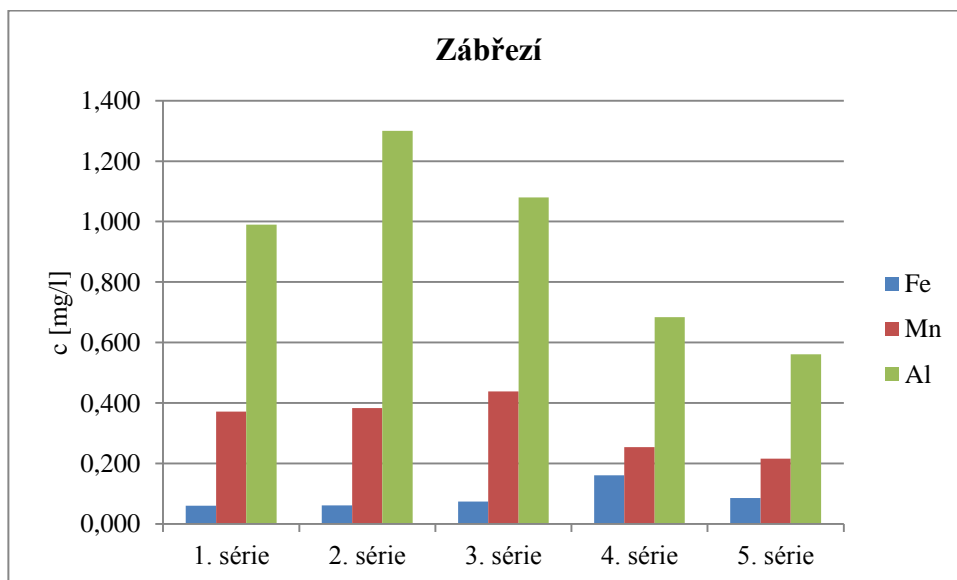
Graf 20: Vítězná

Z grafu 21 jsou patrné kolísavé hodnoty železa z odběrového místa Vlčkovice, které ve většině případů přesahují mezní hodnotu. Hodnoty manganu přesahují mezní hodnotu v 1., 4. a 5. sérii.



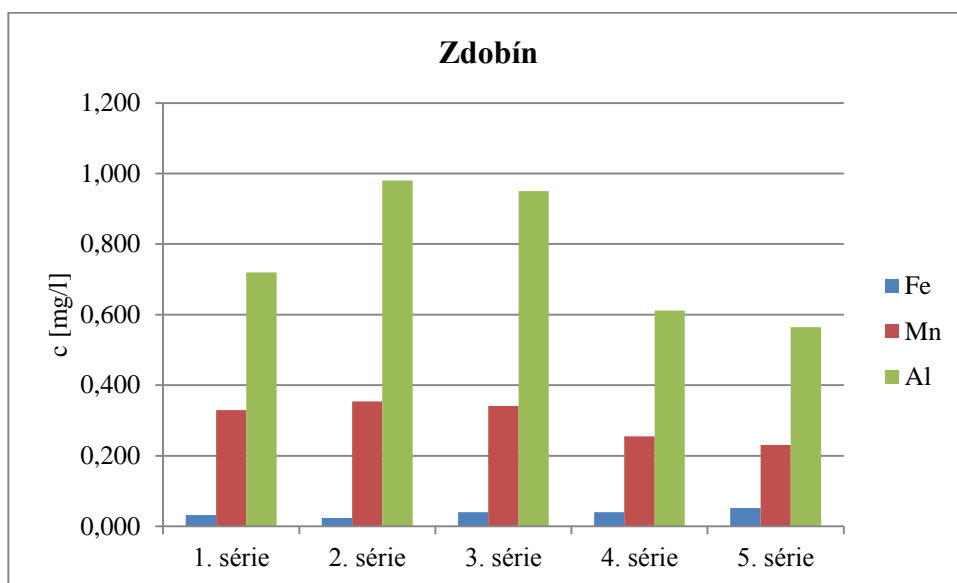
Graf 21: Vlčkovice

Z grafu 22 jsou patrné kolísavé hodnoty hliníku a manganu z odběrového místa Zábřezí, které všechny přesahují mezní hodnoty. Ostatní hodnoty kovů se výrazně neliší.



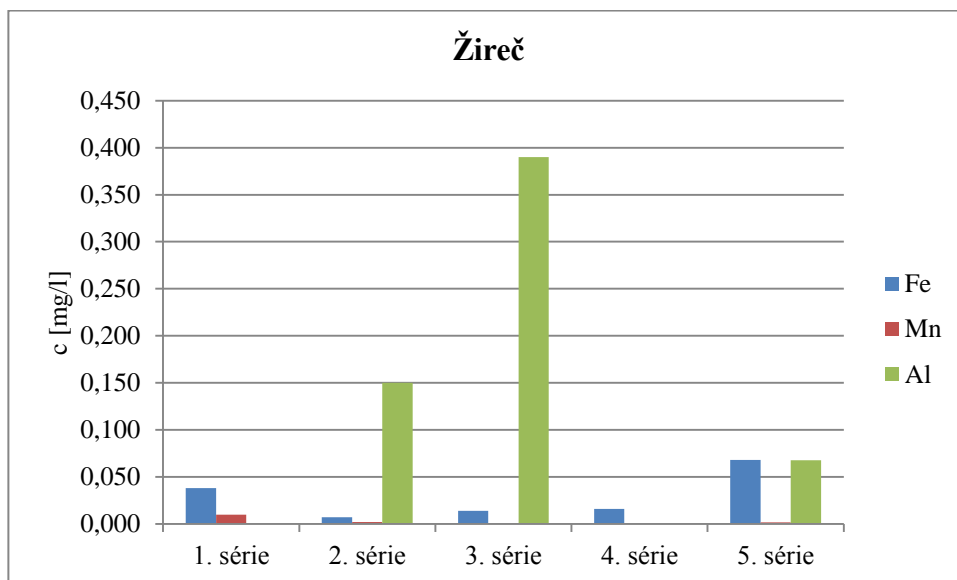
Graf 22: Zábřezí

Z grafu 23 jsou patrné kolísavé hodnoty hliníku a manganu z odběrového místa Zdobín, které všechny přesahují mezní hodnoty. Ostatní hodnoty kovů se výrazně neliší.



Graf 23: Zdobín

Z grafu 24 jsou patrné kolísavé hodnoty hliníku z odběrového místa Žireč, ostatní hodnoty kovů se výrazně neliší. Mezní hodnotu překračuje pouze hodnota hliníku ve 3. sérii.



Graf 24: Žireč

## 5 Výsledky a diskuse

Z naměřených hodnot a grafů je patrné, že ve velké části sledovaných zdrojů pitné vody jsou koncentrace sledovaných prvků v normě.

Pravidelné překročení povolené koncentrace železa byly zaznamenány ve zdroji Vlčkovice. Koncentrace železa zde přesahuje až 6x povolenou normu. Obecní zastupitelstvo ve Vlčkovicích o této skutečnosti ví a plánuje v dohledné době výstavbu obecního vodovodu s nezávadným zdrojem pitné vody. Dále byly opakovaně zaznamenány zvýšené koncentrace železa ve zdroji Hrubá Luka a Borka – jedná se o podzemní vrty využívané pro zásobování Dvora Králové nad Labem.

Pravidelné překročení povolené koncentrace manganu a hliníku byly zaznamenány v odběrových místech Zdobín a Zábřezí. Koncentrace hliníku se pohybovala mezi 0,5 mg/l až 1 mg/l, což přesahuje 5x vyšší koncentrace než je povolený limit. Obecní zastupitelstvo Zdobína tuto situaci vyřešilo výstavbou nového vodovodu s využitím nového zdroje Baliharka. Ten je shledán i z tohoto měření z hlediska přítomnosti kovů hliníku a manganu jako vhodnější.

## 6 Seznam použité literatury

- [ 1 ] HORÁKOVÁ, Marta, Peter LISCHKE a Alexander GRÜNWALD. *Chemické a fyzikální metody analýzy vod*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1986, 392 s.
- [ 2 ] GREENWOOD, N.N. a A. EARNSHAW *Chemie prvků*. svazek I. Praha: Informatorium, 1993, s. 262-264.
- [ 3 ] ZÁKON č.258/2000 Sb. o ochraně veřejného zdraví a o změně některých souvisejících zákonů.
- [ 4 ] VYHLÁŠKA č.252/2004 Sb. kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody.
- [ 5 ] Železo. [online]. [cit. 2012-04-07]. Dostupné z: <http://www.analyzavody.cz/zelezo/>
- [ 6 ] HOLZBECHER, Závaš a Jaroslav CHURÁČEK. *Analytická chemie*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1987, 664 s.
- [ 7 ] KOMÁREK, Josef. *Atomová absorpční spektrometrie*. 1. vyd. Brno: Masarykova univerzita, 2000, 85 s.
- [ 8 ] PITTER, Pavel. *Hydrochemie*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1981, 376 s.
- [ 9 ] B. V. L'vov: Fifty Years of Atomic Absorption Spectrometry, *Journal of Analytical Chemistry*, Vol. 60, No. 4, 2005, pp. 382–392.
- [ 10 ] WORLD HEALTH ORGANIZATION. Aluminium in Drinking-water. [online]. 1998, s. 14, 2012-05-28 [cit. 2012-04-15]. Dostupné z [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/dwq/chemicals/en/aluminium.pdf](http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/chemicals/en/aluminium.pdf)
- [ 11 ] WORLD HEALTH ORGANIZATION. Iron in Drinking-water. [online]. 1996, s. 9, 2012-05-28 [cit. 2012-04-15]. Dostupné z [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/dwq/chemicals/iron.pdf](http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/chemicals/iron.pdf)
- [ 12 ] Železo. [online]. [cit. 2012-04-25]. Dostupné z: <http://www.nexars.com/cs/zelezo.php>



- [ 13 ] NĚMCOVÁ, Irena, Ludmila ČERMÁKOVÁ a Petr RYCHLOVSKÝ. *Spektrometrické analytické metody I.* 2. vyd. Praha: Karolinum, 2004.
- [ 14 ] KANDRÁČ, Ján a Jozef ČERNÁK. *Základy analytickej chémie.* 1. vyd. Bratislava: Slovenské pedagogické nakladateľstvo, 1978, s. 405-407.
- [ 15 ] Mapy. [online]. [cit. 2012-06-6]. Dostupné z: <http://www.mapy.cz/>
- [ 16 ] MIHALJEVIČ M., STRNAD L., ŠEBEK O.: Využití hmotnostní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem v geochemii. *Chem. listy* 98 123 (2004)
- [ 17 ] ATOMOVÁ ABSORPČNÍ SPEKTROMETRIE [online]. [cit. 2012-06-02]. Dostupné z: [http://www.rmi.cz/editor/image/analytika/pdf\\_cz\\_16.pdf](http://www.rmi.cz/editor/image/analytika/pdf_cz_16.pdf)
- [ 18 ] Scp science: hollow cathode lamps [online]. [cit. 2012-05-21]. Dostupné z: <http://www.scpscience.com/products/ProductPage.aspx?cid=AsxNvdezgYFL+MWET12xwQ==>
- [ 19 ] KALAVSKÁ, Dagmar a Ivan HOLOUBEK. *Analýza vod.* 1. vyd. Bratislava: Alfa, 1989, 264 s.
- [ 20 ] Výbojky s dutou katodou (HCL), SuperLamp a deutériové výbojky. *RMI* [online]. [cit. 2012-06-15]. Dostupné z: <http://www.rmi.cz/index.php?ref=7&id=47>
- [ 21 ] Teoretické základy instrumentace v AAS. [online]. [cit. 2012-04-22]. Dostupné z: [http://www.rmi.cz/editor/image/analytika/pdf\\_cz\\_16.pdf](http://www.rmi.cz/editor/image/analytika/pdf_cz_16.pdf)
- [ 22 ] MILDE D., LINHARTOVÁ A.: Stanovení arsenu v ořeších pomocí AAS-verifikace metody a kvantifikace nejistoty stanovení. *Chem. listy* 105 707 (2011)
- [ 23 ] ŠEDA M., ŠVEHLA J., TRÁVNÍČEK J., KROUPOVÁ V., FIALA K., SVOZILOVÁ M.: Optimalizace stanovení stopových koncentrací jodu v povrchových vodách metodou ICP-MS. *Chem. listy* 105 538 (2011)
- [ 24 ] MESTEK O., ČURDOVÁ E., KOPLÍK R., ZIMA T.: Stanovení mědi a zinku v plné lidské krvi metodou ICP-MS. *Chem. listy* 91 1059 (1997)
- [ 25 ] ČERNOHORSKÝ, Tomáš, Petra ŠINDELÁŘOVÁ a Richard KOSÁK. Stanovení stopových obsahu Sb, Sn, As, Pb a Cd v ocelích metodou ETA AAS s rychlou Zeemanovou korekcí. *RMI* [online]. [cit. 2012-06-20]. Dostupné z: [http://www.rmi.cz/editor/image/analytika/pdf\\_cz\\_9.pdf](http://www.rmi.cz/editor/image/analytika/pdf_cz_9.pdf)
- [ 26 ] HEGEDŮS, Ondrej, Alžbeta HEGEDŮSOVÁ, Silvia ŠIMKOVÁ, Vladimír PAVLÍK a Klaudia JOMOVÁ. Evaluation of the ET-AAS and HG-AAS methods of selenium determination in vegetables. *Journal of Biochemical and Biophysical Methods*, Volume 70, Issue 6. 2008, 1287–1291

## 7 Seznam příloh

**Tab.: 4** 1. Série měření

Místo odběru	Fe [ mg/l ]	Mn [ mg/l ]	Al [ mg/l ]
Baliharka	0,012	0,005	0,190
Bílá Třemešná	0,062	0,005	0,050
Borka	1,230	0,067	0,120
Hajnice	0,120	0,018	0,120
Hrubá luka	0,063	0,003	0,040
Ch. Hradiště	0,041	0,004	0,030
J.Studánka	0,022	0,050	0,140
Nemocnice	0,051	0,090	0,170
Nemojov	0,039	0,008	0,000
Teplárna	0,052	0,000	0,030
Třebihošť	0,092	0,017	0,050
Vítězná	0,160	0,002	0,180
Vlčkovice	1,250	0,085	0,020
Zábřezí	0,060	0,372	0,990
Zdobín	0,032	0,329	0,720
Žireč	0,038	0,010	0,000

**Tab.: 5** 2. Série měření

Místo odběru	Fe [ mg/l ]	Mn [ mg/l ]	Al [ mg/l ]
Baliharka	0,004	0,002	0,230
Bílá Třemešná	0,145	0,011	0,220
Borka	1,475	0,050	0,110
Dubenec	0,060	0,032	0,080
Hajnice	0,000	0,001	0,100
Hrubá luka	0,013	0,001	0,090
Ch.Hradiště	0,004	0,001	0,160
J. studánka	0,006	0,071	0,200
nemocnice	0,021	0,084	0,210
Nemojov	0,161	0,032	0,250
Teplárna	0,125	0,005	0,050
Třebihošť	0,080	0,023	0,060
Vítězná	0,013	0,006	0,160
Vlčkovice	0,940	0,018	0,100
Zábřezí	0,061	0,383	1,300
Zdobín	0,024	0,354	0,980
Žireč	0,007	0,002	0,150

**Tab.: 6 3. Série měření**

Místo odběru	Fe [ mg/l ]	Mn [ mg/l ]	Al [ mg/l ]
Baliharka	0,013	0,000	0,210
Bílá Třemešná	0,115	0,002	0,200
Borka	0,239	0,076	0,057
Hajnice	0,000	0,000	0,060
Hrubá luka	0,706	0,000	0,045
Ch. Hradiště	0,067	0,000	0,490
J. studánka	0,000	0,073	0,530
Nemocnice	0,005	0,070	0,370
Nemojov	0,014	0,000	0,080
Teplárna	0,089	0,152	0,042
Třebihošť	0,048	0,000	0,210
Vítězná	0,000	0,000	0,220
Vlčkovice	0,105	0,000	0,009
Zábřezí	0,074	0,438	1,080
Zdobín	0,040	0,341	0,950
Žireč	0,014	0,000	0,390

**Tab.: 7 4. Série měření**

Místo odběru	Fe [ mg/l ]	Mn [ mg/l ]	Al [ mg/l ]
Baliharka	0,022	0,003	0,000
Bílá Třemešná	0,136	0,004	0,090
Borka	0,375	0,000	0,000
Hajnice	0,029	0,003	0,020
Hrubá luka	1,033	0,000	0,000
CH. Hradiště	0,023	0,000	0,000
J. studánka	0,035	0,008	0,000
Nemocnice	0,019	0,040	0,000
Nemojov	0,165	0,008	0,000
Teplárna	0,038	0,000	0,000
Třebihošť	0,056	0,008	0,000
Vítězná	0,018	0,001	0,312
Vlčkovice	1,640	0,075	0,016
Zábřezí	0,161	0,254	0,684
Zdobín	0,040	0,255	0,612
Žireč	0,016	0,000	0,000

**Tab.: 8 5. Série měření**

<b>Místo odběru</b>	<b>Fe [ mg/l ]</b>	<b>Mn [ mg/l ]</b>	<b>Al [ mg/l ]</b>
Baliharka	0,026	0,019	0,069
Bílá Třemešná	0,120	0,050	0,000
Borka	0,606	0,003	0,071
Hajnice	0,016	0,004	0,120
Hrubá luka	0,055	0,000	0,040
Ch. Hradiště	0,034	0,011	0,101
J. Studánka	0,018	0,014	0,153
Nemocnice	0,063	0,037	0,126
Nemojov	0,048	0,015	0,000
Teplárna	0,219	0,010	0,145
Třebihošť	0,072	0,012	0,000
Vítězná	0,015	0,008	0,130
Vlčkovice	1,824	0,077	0,008
Zábřezí	0,086	0,216	0,561
Zdobín	0,052	0,230	0,564
Žireč	0,068	0,002	0,068