

U n i v e r z i t a P a l a c k é h o v O l o m o u c i

Přírodovědecká fakulta

Katedra fyzikální chemie

**Sledování kvality podzemních vod v závislosti na poloze  
zdroje v oblasti obce Bohuňovice**

Bakalářská práce

Autor:	Alena Opichalová
Studijní obor:	Aplikovaná chemie
Forma studia:	Prezenční
Vedoucí práce:	doc. RNDr. Taťjana Nevěčná, CSc
Odborný konzultant:	Mgr. Martina Krečmanová

Olomouc 2015

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracovala samostatně pod vedením doc. RNDr. Taťjany Nevěčné, CSc. Veškeré literární prameny, které jsem použila v této práci, jsou v seznamu použité literatury.

V Olomouci dne .....

.....

Alena Opichalová

## PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucí mé bakalářské práce doc. RNDr. Taťjaně Nevěčné, CSc. za její cenné rady, připomínky, ochotu a čas, který mi věnovala. Dále bych ráda poděkovala zaměstnancům Moravské vodárenské a.s., kteří se mi ochotně a laskavě věnovali při zpracovávání praktické části mé bakalářské práce. Především děkuji mé odborné konzultantce Mgr. Martině Krečmanové, na kterou jsem se mohla obracet se svými dotazy.

## BIBLIOGRAFICKÉ ÚDAJE

Jméno a příjmení autora:	Alena Opichalová
Název práce:	Sledování kvality podzemních vod v závislosti na poloze zdroje v oblasti obce Bohuňovice
Typ práce:	Bakalářská
Pracoviště:	Katedra fyzikální chemie
Vedoucí práce:	Doc. RNDr. Taťjana Nevěčná, Csc.
Rok obhajoby práce:	2015
Abstrakt:	Od května 2014 do dubna 2015 byly každý měsíc odebrány vzorky vody z pěti studní, které se nacházejí v obci Bohuňovice. Byly stanoveny koncentrace železa, manganu, amonných iontů, dusitanů, dusičnanů, síranů a chloridů. Dále byla stanovena tvrdost vody a chemická spotřeba kyslíku a byly změřeny hodnoty pH, elektrolytické konduktivity a teploty.
Klíčová slova:	podzemní voda, kvalita vody, znečištění
Počet stran:	55
Počet příloh:	0
Jazyk:	česky

## BIBLIOGRAPHICAL IDENTIFICATION

Author's first name and surname:	Alena Opichalová
Title:	Monitoring of groundwater quality depending on the position of the source in Bohuňovice
Type of thesis:	Bachelor
Department:	Department of Physical chemistry
Supervisor:	Doc. RNDr. Tat'jana Nevěčná, Csc.
The year of presentation:	2015
Abstract:	From May 2014 to April 2015 water samples from five wells located in Bohuňovice village were analysed. Concentrations of iron, manganese, ammonium, nitrite, nitrate, sulphate and chloride were set. Also water hardness and chemical oxygen demand were determined and pH, electrolytic conductivity and temperature were measured.
Keywords:	groundwater, water quality, pollution
Number of pages:	55
Number of appendices:	0
Language:	Czech

# OBSAH

1	ÚVOD.....	7
2	TEORETICKÁ ČÁST .....	8
2.1	Charakteristika vody.....	8
2.1.1	Koloběh vody.....	9
2.2	Fyzikální vlastnosti vody.....	9
2.2.1	Teplota .....	9
2.2.2	Elektrolytická konduktivita.....	10
2.3	Druhy vod.....	10
2.3.1	Atmosférické vody .....	10
2.3.1.1	Složení atmosféry.....	10
2.3.2	Povrchové vody .....	11
2.3.3	Podzemní vody .....	12
2.3.3.1	Chemismus podzemních vod .....	13
2.3.3.2	Dělení podzemních vod.....	13
2.4	Anorganické látky ve vodách.....	14
2.4.1	Kovy a polokovy ve vodách .....	15
2.4.2	Nekovy ve vodách .....	18
2.4.2.1	Sloučeniny dusíku.....	18
2.4.2.2	Sloučeniny síry.....	20
2.4.2.3	Sloučeniny chloru.....	20
2.4.3	Metody stanovení některých anorganických látek .....	21
2.4.3.1	Spektrofotometrické stanovení .....	21
2.4.3.2	Titrační stanovení.....	22
2.4.3.3	Iontová chromatografie .....	22
2.5	Organické látky ve vodách .....	23
2.5.1	Chemická spotřeba kyslíku (CHSK).....	24
3	EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST .....	26
3.1	Použité chemikálie .....	26
3.2	Použité přístroje.....	26
3.3	Příprava alternativních činidel .....	27
3.3.1	Alternativní činidla pro stanovení amonných iontů.....	27
3.3.2	Alternativní činidla pro stanovení železa .....	27
3.3.3	Alternativní činidla pro stanovení manganu .....	28

3.4	Odběr vzorků.....	29
3.5	Měření teploty .....	31
3.6	Měření pH .....	31
3.7	Měření konduktivity.....	31
3.8	Stanovení tvrdosti vody chelatometricky .....	32
3.9	Stanovení CHSK <sub>Mn</sub> .....	33
3.10	Spektrofotometrické stanovení vybraných anorganických látek.....	34
3.10.1	Spektrofotometrické stanovení amonných iontů .....	34
3.10.2	Spektrofotometrické stanovení železa.....	34
3.10.3	Spektrofotometrické stanovení manganu .....	34
3.11	Stanovení vybraných aniontů iontovou chromatografií .....	35
4	VÝSLEDKY MĚŘENÍ A JEJICH DISKUZE.....	36
5	ZÁVĚR .....	52
6	SUMMARY .....	53
7	LITERATURA.....	54

# 1 ÚVOD

Voda je pro člověka nepostradatelná a spolu se vzduchem umožňuje život na Zemi. Již nejstarší civilizace si uvědomovaly potřebnost vody k životu, proto budovaly svá sídla v okolí toků řek. Zde také v minulosti vznikaly nejvýznamnější centra lidské společnosti.

Dříve byl koloběh vody a její kvalita ovlivňován výhradně přírodními podmínkami na Zemi. V dnešní době do tohoto koloběhu významně zasahuje lidská populace, která svou zemědělskou a průmyslovou činností produkuje velké množství znečišťujících látek. Ty se dostávají do vod a ovlivňují její kvalitu. Proto je důležitá ochrana vodních zdrojů a také kontrola jakosti vody.

Pro pitnou vodu jsou v dnešní době stanoveny hygienické požadavky, které musí voda splňovat. Tyto údaje jsou uvedeny ve vyhlášce Ministerstva zdravotnictví, která rovněž udává požadavky na rozsah kontrol pitné vody.

Cílem mé bakalářské práce bylo shromáždit data, která by vypovídala o kvalitě vybraných zdrojů podzemních vod v obci Bohuňovice. Bylo vybráno pět odběrových míst, ze kterých byly vzorky odebrány po dobu dvanácti měsíců. Čtyři z odběrových míst jsou využívány jako zdroje pitné vody. Jedno odběrové místo není využíváno téměř vůbec.

Pro pozorování kvality vod byly stanovovány vybrané ukazatele. Byly sledovány koncentrace anorganických forem dusíku (amonné ionty, dusitany a dusičnany), síranů a chloridů. Dále byly stanovovány obsahy železa a manganu ve vodách a sumární koncentrace vápníku a hořčíku (tvrdost vody). Jako ukazatel organického znečištění byla stanovována chemická spotřeba kyslíku manganistanovou metodou. V neposlední řadě byly sledovány i fyzikálně chemické vlastnosti vod, kterými byly pH a elektrolytická konduktivita.



## 2 TEORETICKÁ ČÁST

### 2.1 Charakteristika vody

Základní a podmiňující složka umožňující život na Zemi je voda. Na Zemském povrchu převažuje nad pevninou, jelikož pokrývá dvě třetiny povrchu. Z celkového množství vody tvoří 97% slaná voda moří a oceánů, jasně tedy dominuje nad sladkou vodou, která zaujímá pouhé 3%. Je nenahraditelnou složkou pro celou lidskou populaci i biosféru. Jako univerzální rozpouštědlo v organismech plní biologickou funkci. Další funkcí vody je zdravotní funkce, která spočívá v zajištění hygieny člověka. V neposlední řadě slouží ke zkrášlení krajiny, čímž plní funkci estetickou. [1,2]

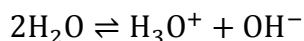
Obrovskou důležitost vody pro člověka dokládá i Evropská vodní charta vydaná v roce 1968 ve Strasbourgu, která mimo jiné nabádá k účelnému a ekonomickému užívání vody. [3]

Molekula vody je složena ze dvou atomů vodíku a jednoho atomu kyslíku. Vazby mezi nimi svírají úhel 104,45°. Vazba vodík – kyslík je v důsledku rozdílné elektronegativity těchto atomů polární a celá molekula tvoří dipól s kladným a záporným parciálním nábojem.

Další důležitou vlastností vody, která je důsledkem polaritity, je schopnost tvorby vodíkových vazeb mezi atomem kyslíku jedné molekuly a atomem vodíku druhé molekuly. Vodíkové vazby jsou slabší než kovalentní vazby, ale jsou významné z hlediska ovlivňování vlastností sloučenin. Díky vodíkovým vazbám se molekuly vody shlukují do větších celků, což má za následek například vyšší teploty varu a tání vody, než mají její analogy s podobnou molekulovou hmotností, které netvoří vodíkové můstky. Dalším důsledkem tvorby vodíkových vazeb je anomálie vody, která má největší hustotu při teplotě 3,98°C. [4,5]

Z chemických vlastností vody je dále významná její schopnost disociace (autoprotolýzy). Čistá voda obsahuje kromě molekul H<sub>2</sub>O i oxoniové ionty H<sub>3</sub>O<sup>+</sup> a hydroxidové ionty OH<sup>-</sup>. Tyto iontové formy se tvoří disociací molekul vody a jsou zastoupeny ve stejné koncentraci, která je 10<sup>-7</sup> mol.l<sup>-1</sup>.

Rovnice autoprotolýzy vody:



### **2.1.1 Koloběh vody**

Koloběh vody na Zemi probíhá už miliardy let a všechen život na planetě je na něm závislý. Koloběh vody znamená neustálý pohyb vody ve všech skupenstvích (plynné, kapalné, pevné) po celé Zemi. Pro počátek popisu oběhu vody je nejvhodnějším místem oceán. Zde, díky ohřevu vody Sluncem a pomocí větru, dochází k vypařování. Vypařování z oceánů je hlavní cestou vody do atmosféry. Vodní pára vlivem nízké teploty v atmosféře zkondenzuje a vzniknou z ní oblaka. Ta se díky pohybu větru dostanou nad zem, kde dochází ke srážení a voda z oblohy padá na zem ve formě kapek. Za určitých podmínek může voda na zem padat ve formě sněhu a může tvořit sněhovou pokrývku či ledovec. Při zvýšení teploty nad teplotu tání vody sníh roztaje a míří do údolí. Největší část srážek dopadá zpět do oceánů. Zbylá část dopadá na pevninu, kde díky zemské přitažlivosti směřuje do potoků, řek a další cestou do moří a oceánů. Jedná se o povrchovou vodu. Zbytek vody, která rovnou nesměřuje do toků, se vsakuje do půdy. I tato voda ovšem nakonec jako přítok z podzemní vody napájí povrchové vody. Část podzemní vody prochází mezerami v povrchu země a na povrch se dostává jako sladkovodní pramen. Mělká podzemní voda se dostává do atmosféry přes rostliny. Nejdříve projde přes kořeny do rostliny a z pórů na listech je pak odpařována. Podzemní voda, která prosakuje hlouběji do půdy a tvoří zásoby sladké vody, je také v pohybu a znovu míří do moří a oceánů. Zde se dostáváme na konec a zároveň další začátek oběhu vody.

## **2.2 Fyzikální vlastnosti vody**

### **2.2.1 Teplota**

Teplota vody má vliv na její chemickou a biochemickou reaktivitu, je proto významným ukazatelem kvality vody. Z naměřených hodnot teploty je možné posoudit i agresivitu vody a rozpustnost plynů a pevných látek ve vodě. [4]

Teplota podzemní vody bývá konstantní a na ročním období téměř nezávisí. Prosté podzemní vody mají v Evropě teplotu kolem 10 °C. Větší kolísání teploty bývá způsobeno rychlým pronikáním povrchových a atmosférických vod do vod podzemních. Termální voda při vyvěrání přesahuje teplotu 20 °C. Teplota povrchové vody je naopak na ročním období a venkovní teplotě závislá. [2,4]

Ideální teplota pitné vody se pohybuje v rozmezí 8 až 12 °C. Pro lidský organismus je nevhodné požívání vody s teplotou pod 5 °C, protože může poškodit zažívací ústrojí. Voda teplejší než 15 °C při pití nemá osvěžující efekt. [4]

### **2.2.2 Elektrolytická konduktivita**

Elektrolytická konduktivita, jinak také nazývána měrná vodivost, popisuje množství ionizovatelných součástí vody. Konduktivita se označuje písmenem  $\kappa$  a její jednotkou je S/m (siemens na metr). Obvykle jsou hodnoty konduktivity malé, proto se udává v mS/m nebo  $\mu\text{S/cm}$ .

Stanovení konduktivity je rychlé, snadné a je běžnou součástí rozboru vody. Z naměřené hodnoty konduktivity je možné odhadnout množství iontově rozpuštěných látek a celkovou mineralizaci vody. [6]

Konduktivita je závislá na množství iontů, na jejich náboji, pohyblivosti a na teplotě. U povrchových a podzemních vod se běžně pohybuje v rozmezí od 5 do 50 mS/m. Vyšší hodnoty konduktivity mají minerální vody a průmyslové odpadní vody. Mezní hodnota elektrolytické konduktivity pitné vody je při 25°C 125 mS/m. [4]

## **2.3 Druhy vod**

Vody podle původu dělíme na přírodní a odpadní. Přírodní vody lze dále rozdělit podle výskytu na atmosférické, povrchové a podzemní.[4] Předmětem zájmu této práce jsou podzemní vody.

### **2.3.1 Atmosférické vody**

Všechna voda v ovzduší tvoří atmosférickou vodu, ať je v jakémkoliv skupenství. Chemické složení atmosférických vod je přímo závislé na složení atmosféry.

#### **2.3.1.1 Složení atmosféry**

Atmosféra, která nevykazuje známky znečištění, je z převážné části složena z  $\text{N}_2$  (78,09%) a  $\text{O}_2$  (20,95%). Zbytkové jedno procento je tvořeno Ar,  $\text{CO}_2$ , Ne, He a dalšími prvky a sloučeninami. Kromě uvedených složek se ve vzduchu nachází i znečišťující

látky. Ty jsou buď přírodní nebo z lidské činnosti. Přírodní znečišťující látky jsou například z rozkladu rostlinných a živočišných zbytků, z produkce biomasy či ze sopečných činností. [5]

Lidské znečištění je zastoupeno nejmasivněji díky emisím ze sídlišť, průmyslových továren a z čím dál hustější silniční dopravy. Na znečištění ovzduší se nejvíce podílí sloučeniny síry a oxidy dusíku. Sloučeniny síry jsou nejčastěji v ovzduší zastoupeny ve formě  $\text{SO}_2$  a  $\text{H}_2\text{S}$ .  $\text{SO}_2$  pochází z antropogenního zdroje a podléhá oxidaci na  $\text{SO}_3$ .  $\text{H}_2\text{S}$  je z převážné části přírodního původu, vzniká v půdě a ve vzduchu se oxiduje na sírany. Oxidy dusíku  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$  bývají souhrnně označovány jako  $\text{NO}_x$ . Jsou součástí ovzduší v každém městě a v průmyslových zónách, kde se tvoří při spalování fosilních paliv a vznikají při některých chemických výrobcích. Jsou také součástí výfukových plynů z motorů aut.  $\text{N}_2\text{O}$  vzniká i přirozenou cestou v půdě při mikrobiální denitrifikaci a při elektrických výbojích v atmosféře. Oxidy dusíku se dále oxidují až na  $\text{HNO}_3$ . V atmosféře se vyskytuje i amoniakální dusík, který se uvolňuje při rozkladu organické hmoty, z exkrementů organismů a z hnojiv. [4,5]

Při rozkladu organických látek bez přístupu vzduchu vzniká další složka atmosféry, kterou je  $\text{CH}_4$ . Ostatní uhlovodíky pocházejí z výfukových plynů a spalování paliv. [5]

### **2.3.2 Povrchové vody**

Vody vyskytující se přirozeně na povrchu Země nazýváme povrchové vody. Patří sem voda mořská a voda kontinentální. Kontinentální voda může být tekoucí nebo stojatá. Voda brakická vzniká mícháním mořské a kontinentální vody, většinou při ústí řek do moře.

Povrchové vody mají oproti podpovrchovým vodám několik ukazatelů, ve kterých se liší. Mezi základní rozdíly patří vyšší proměnlivá teplota, menší mineralizace, větší obsah kyslíku, ale zase naopak menší obsah oxidu uhličitého a větší koncentrace organických látek. Do povrchových vod se organické látky mohou dostat snadno z antropogenních zdrojů. Povrchové vody mají jiné biologické složení i hojnější počet mikroorganismů než vody podpovrchové. [5]

V povrchových vodách se odehrává několik procesů, které ovlivňují kvalitu těchto vod. Jedná se o procesy fyzikální, chemické, mikrobiologické a biologické. Jsou to především sedimentace suspendovaných látek, adsorpce iontů a organických látek, v neposlední řadě chemické reakce mezi složkami povrchových vod a rozklad organických látek mikroorganismy za přístupu či nepřístupu vzduchu. Všechny tyto reakce a procesy probíhají jak v přírodních tocích, tak i ve vodárenských nádržích. V nádržích dochází vlivem různých podmínek k vytváření vrstev s různou kvalitou vody.

Povrchové a podzemní vody nejsou předmětem vlastnictví a nejsou součástí ani příslušenstvím pozemku, na němž nebo pod nímž se vyskytují. [7]

### **2.3.3 Podzemní vody**

Podzemní vody se nacházejí pod zemským povrchem. Jedná se o vodu v kapalném skupenství, nacházející se uvnitř hornin. Většina se účastní koloběhu vody na Zemi a její pohyb umožňuje hydraulický gradient. Část podzemní vody, nacházející se hluboko pod zemí a mezi hydraulickými bariérami, se koloběhu vody nemůže účastnit a nazývá se fosilní voda. [8]

Podzemní vody vznikají převážně vsakem srážkových a povrchových vod. Základem pro tuto infiltraci je gravitace, ale závisí i na dalších faktorech, jako jsou například členitost terénu, sklon svahu, klimatické podmínky, charakter srážek, okolní vegetace nebo nasycení horninového prostředí podzemní vodou. K doplňování zásob podzemní vody může docházet i kondenzací vodních par v půdě a zřídka kondenzací vodní páry z magmatu. [4]

Podzemní vody tvoří velkou část zásob vody použitelné pro zásobování obyvatelstva vodou kvalitní, pitnou v podobě různých vrtů, z nichž se voda odebírá. Chemické složení podzemních vod bývá různé a proto je zapotřebí stanovovat jejich kvalitu před případným jejich využíváním jako zdrojů vod pitných. Bohužel se vlivem působení člověka dostává do podzemí a tedy i do podzemních vod velké množství nečistot v podobě kapalných odpadů nebo i odpadů ostatních, z nichž se nebezpečné látky uvolní a tím dojde ke znečištění podzemních vod.

### **2.3.3.1 Chemismus podzemních vod**

Složení podzemních vod je ovlivňováno vzájemným působením srážkových a povrchových vod, podzemní atmosféry a horninového prostředí. Podzemní vody obsahují různé množství rozpuštěných a disociovaných látek. Při průtoku jsou ve styku s půdou a s horninami, jsou ovlivněny jejich složením.

Přímým rozpouštěním se do vody mohou dostat rozpustné minerály (sírany, chloridy). Chemickým působením se za přítomnosti oxidu uhličitého vody obohacují o vápník, hořčík, draslík a sodík. Modifikující přeměnou, probíhající na jílech a minerálech, se u rozpuštěných látek mohou vyměnit kationty minerálů a jílu za sodík. Podzemní vody ve svrchních vrstvách jsou ovlivněny infiltrací srážkové a povrchové vody, které mohou obsahovat škodliviny. [4]

Při proudění vody v podzemí dochází ke změnám teploty, tlaku a okolního horninového prostředí. Tyto faktory ovlivňují chemismus podzemních vod a při jejich změnách dochází k chemickým reakcím. V systému dochází následně k ustavení dynamické chemické rovnováhy. Prouděním vody se rovnováha neustále porušuje. [8]

Teplota vody pod zemí je teplotou vzduchu ovlivňována pouze do hloubky 1 metru. Voda ve větší hloubce má stálou teplotu a u většiny pramenů se pohybuje kolem 10°C. Pokud teplota vody při vývěru přesahuje 20°C, řadíme tuto vodu mezi minerální, termální vody. [4]

Hodnota pH podzemní vody bývá v rozmezí 5,5 – 7,5 a je ovlivňováno chemickými a biologickými procesy, které ve vodě probíhají. Výjimečně kyselé mohou být například vody důlní, u kterých může být pH nižší než 5,0. Některé alkalické vody mohou mít pH vyšší než 8,0. [4]

### **2.3.3.2 Dělení podzemních vod**

Podpovrchová voda je společné označení pro podzemní a půdní vodu. Tato voda je součástí horninového prostředí a v zemské kůře se vyskytuje ve všech skupenstvích. Půdní voda vyplňuje spolu se vzduchem trhliny a pukliny v půdních prostorech. V hlubších vrstvách se již póry zaplňují pouze vodou, která se neztvá podzemní voda. Podzemní voda může být dělena na základě různých kritérií: [9]

### **Podzemní voda podle druhu mineralizace**

- vody prosté - vody v kapalném skupenství, které neobsahují větší množství rozpuštěných látek nebo CO<sub>2</sub> než 1000 mg/l. Tato voda se nachází v takovém horninovém prostředí, které je schopné vodu přijímat i odevzdávat.
- vody minerální – obsahují více než 1000 mg/l rozpuštěných látek a plynů

### **Podzemní voda podle druhu hornin, ve kterých se vyskytuje (cit chmelova pavel)**

- průlinová voda – Vyplňuje prostory mezi zrny horniny nezpevněných a zpevněných sedimentů.
- puklinová voda – Vyplňuje pukliny a trhliny zpevněných hornin.
- krasová voda – Vyskytuje se ve vnitřních prostorách a puklinách krasových hornin. Může se jednat až o krasové jeskynní systémy, kde tato voda teče jako povrchový tok.

### **Podzemní voda podle teploty**

- studené – Teplota těchto vod nepřesahuje průměrnou teplotu vzduchu daného místa (asi do 25 °C)
- teplé – Přesahují teplotu okolí. Dělí se na vlažné vody (do 30 °C), teplé vody (do 50°C) a vřídla.

## **2.4 Anorganické látky ve vodách**

Anorganické látky mohou být ve vodách v různých formách: [4]

- jako kationty (Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>)
- jako anionty (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, Cl<sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, F<sup>-</sup>)
- v neiontové formě (Si, B)

Podle množství rozpuštěných anorganických látek ve vodě lze tyto látky rozdělit na makrokomponenty, které jsou přítomny v množstvích mg/l až g/l, a mikrokomponenty, které se vyskytují pouze v množstvích menších než 1 mg/l. [1]

### 2.4.1 Kovy a polokovy ve vodách

Většinu kovů a polokovů, které se běžně vyskytují v přírodě lze prokázat i ve vodách. Kovy a polokovy mohou být ve vodách přítomny v rozpuštěné formě, kde převládají komplexní sloučeniny, nebo v nerozpuštěné formě. Značné procento kovů je ve vodě naadsorbováno na povrchu nerozpuštěných látek.

Pronikání těchto prvků do vody probíhá při styku s horninami a se zeminou. Takto se do vody dostávají zejména makrokomponenty, ale například i toxické kovy, které jsou přítomny v místech těžby rud. Kovy a polokovy jsou přítomny ve větší míře v odpadních vodách, pocházejících z těžby rud, z povrchové úpravy kovů a z některých dalších odvětví průmyslu. Atmosferické vody jsou znečišťovány odpadními látkami, vypouštěnými při spalování fosilních paliv, při pálení odpadů nebo výfukovými plyny dopravních prostředků. Železo, mangan, zinek nebo například měď, se mohou do vody dostat z potrubí, kterým voda prochází. [4,5]

#### Vápník a hořčík

Vápník a hořčík se v přírodních vodách vyskytují společně a jsou poměrně hojně zastoupené. Tyto prvky se do vod dostávají rozkladem vápenatých a hořečnatých hlinitokřemičitanů nebo rozpouštěním minerálů (například vápence, dolomitu, magnezitu). Odpadní vody z provozů, kde se využívá neutralizace vápnem, vápencem, dolomitem a magnezitem, jsou antropogenním zdrojem vápníku a hořčíku. Množství vápníku a hořčíku v podzemních vodách je ovlivňováno rozpuštěným  $\text{CO}_2$ . Tento plyn významně zvyšuje rozpustnost uhličitanových minerálů a podporuje zvětrávání hlinitokřemičitanů.

Formou výskytu vápníku a hořčíku jsou převážně kationty  $\text{Ca}^{2+}$  a  $\text{Mg}^{2+}$ . Mohou se vyskytovat i ve formě iontových asociátů, které mají ovšem nízké konstanty stability. V prostých a podzemních vodách se v této formě vyskytuje méně než 10% sumární koncentrace vápníku a hořčíku. [2,4]

Množství vápníku bývá ve vodách několikrát větší, než množství hořčíku. Poměr hmotnostních koncentrací Ca:Mg je u některých vod až 10:1. Běžně bývá poměr Ca:Mg kolem 4. Hodnota poměru Ca:Mg klesá v minerálních vodách, u nichž může být dokonce koncentrace hořčíku vyšší, než koncentrace vápníku. Z hlediska chuti jsou nejlepší vody obsahující vápník a hydrogenuhličitan. Voda s vysokým obsahem



hořčíku má nahořklou chuť. Hořčík se v těle účastní enzymových reakcí a pravděpodobně působí proti infarktu myokardu. Vápník je ze zdravotního hlediska pro lidi také prospěšný, jelikož zabraňuje odvápnění kostí a ovlivňuje srážení krve. [4]

Koncentrace vápníku a hořčíku ve vodách, bývá označována jako tvrdost vody. Na tvrdost podzemní vody má velký vliv podloží, kterým voda protéká. Vápenatá půda vodu obohatí o velké množství vápníku a hořčíku. Voda protékající žulovou nebo písčitou půdou neobsahuje velké množství těchto prvků, výsledkem je tedy voda měkká. Přechodná neboli karbonátová tvrdost vody je způsobena hydrogenuhličitanem vápenatým a hořečnatým. Je možné ji odstranit převařením, protože se tyto hydrogenuhličitaný zahřátím rozkládají. Trvalou tvrdost vody způsobují sírany a chloridy vápenaté a hořečnaté. Součtem obou těchto tvrdostí získáme celkovou tvrdost vody. Můžeme se setkat s velmi měkkou, měkkou, středně tvrdou, tvrdou a velmi tvrdou vodou. Jednotkou tvrdosti vody je mmol/l. [2]

## **Železo**

V zemské kůře se železo vyskytuje převážně ve formě sloučenin. Nejrozšířenějšími železnými rudami jsou pyrit ( $\text{FeS}_2$ ), hematit ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), magnetit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), limonit ( $2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ) a siderit ( $\text{FeCO}_3$ ). Do vod se železo může dostat v malém množství rozpouštěním těchto látek, které je podporováno oxidem uhličitým a huminovými látkami. V kyselých důlních vodách, kde dochází k oxidaci pyritu, se může železo objevit ve vysoké koncentraci. Dalším zdrojem železa jsou odpadní vody z některých průmyslových odvětví. Vodovodní potrubí, které podléhá korozi, může taktéž do vod uvolňovat železo. [4]

Koncentrace železa v podzemních vodách dosahuje až desítek mg/l. Ovlivňuje chuť vody, barvu a zákal. Může způsobovat žluté až hnědé zbarvení materiálů se kterými voda přichází do styku. Nadměrné množství železitých bakterií má za následek ucpávání potrubí a následný zápach vody při jejich odumírání. [4]

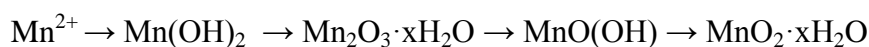
Chemickou analýzou můžeme stanovit koncentraci celkového železa, rozpuštěné formy železa, nerozpuštěné formy a organicky vázaného železa. Forma, ve které se železo ve vodě vyskytuje, je závislá na pH, oxidačně-redukčním potenciálu a přítomnosti komplexotvorných látek.

Ve vodách se železo vyskytuje v oxidačním stupni II nebo III.  $\text{Fe}^{2+}$  je převažující formou v podzemních vodách a u dna jezer a nádrží povrchových vod. Toto prostředí je bezkyslíkaté, proto nedochází k oxidaci na oxidační stupeň III. Naproti tomu  $\text{Fe}^{3+}$  je nejstabilnější formou výskytu železa ve vodách, které obsahují rozpuštěný kyslík. Oxidaci mohou podpořit některé anionty a kationty, které tvoří stabilnější komplexy s  $\text{Fe}^{3+}$ . Na rychlost oxidace  $\text{Fe}^{2+}$  mají vliv i huminové látky, které ji naopak zpomalují. [4,6]

## Mangan

Sloučeniny manganu ve vodách často doprovázejí železo. Jejich obsah bývá obvykle nižší než obsah železa a pohybuje se v rozmezí koncentrací od 0,01 mg/l do 1 mg/l. Nejvíce zastoupené manganové rudy v přírodě jsou burel ( $\text{MnO}_2$ ), braunit ( $\text{Mn}_2\text{O}_3$ ), manganit [ $\text{MnO}(\text{OH})$ ], hausmanit ( $\text{Mn}_3\text{O}_4$ ) a dialogit ( $\text{MnCO}_2$ ). Do vod se může mangan dostávat z půdy a ze sedimentů. Vedle železa je mangan součástí dnových sedimentů, kde je jeho obsah řádově v gramech na kilogram sušiny. Z těchto sedimentů může přecházet do kapalné fáze remobilizačními procesy. Zdrojem manganu mohou být i některé odpadní vody z průmyslu. Jedná se například o odpadní vody ze zpracování rud a z metalurgických závodů, nebo také z chemických provozů, kde se využívá oxidace manganistanem draselným. [4,5]

Mangan se ve vodách může vyskytovat v oxidačních stupních II, III a IV, může být také vázán v organických sloučeninách. Dalším důležitým oxidačním stupněm manganu, který má význam v technologii vody je VII. V podzemních vodách je nejčastější formou manganu  $\text{Mn}^{2+}$ , protože se jedná o redukční bezkyslíkaté prostředí, nedochází tedy k další oxidaci na vyšší oxidační stupně. V kyselém a neutrálním prostředí je nejčastější rozpuštěnou formou manganu kation [ $\text{Mn}(\text{H}_2\text{O})_6$ ]<sup>2+</sup>. Pokud voda obsahuje rozpuštěný kyslík, je mangan v oxidačním stupni II nestabilní a dochází k jeho oxidaci. Oxidací  $\text{Mn}^{2+}$  vzniká směs produktů, jejíž složení závisí na pH, teplotě, redoxním potenciálu a na reakční době.[4] Obecné schéma oxidace  $\text{Mn}^{2+}$  kyslíkem popisuje tato rovnice:



Mangan ovlivňuje organoleptické vlastnosti vody více než železo. Sloučeniny manganu, ve kterých se mangan vyskytuje ve vyšších oxidačních stupních můžou hnědě

zbarvovat některé materiály. Při biochemické oxidaci manganu dochází ke tvorbě manganových bakterií, které způsobují zarůstání vodovodního potrubí. Z těchto důvodů je koncentrace manganu v pitných a provozních vodách limitována. V pitné vodě je mezní hodnota koncentrace manganu 0,05 mg/l. Pro úpravu pitných vod s vysokým obsahem manganu se používá proces odmanganování. Jde o chemickou oxidaci kyslíkem v alkalickém prostředí. Při odmanganování z  $Mn^{2+}$  vzniká směs sloučenin s manganem v oxidačních stavech III a IV. Z rozpustných sloučenin manganu vzniká méně rozpustná směs produktů nestechiometrického složení  $MnO_2 \cdot xH_2O$ , která je poté odstraněna sedimentací a filtrací. [4,10]

## **2.4.2 Nekovy ve vodách**

### **2.4.2.1 Sloučeniny dusíku**

Dusík je makrobiogenní prvek, uplatňující se při biologických procesech probíhajících ve vodách a také při biologickém čištění a úpravě vod. Jeho sloučeniny se do biosféry dostávají rozkladem dusíkatých organických látek z rostlin a živočichů. Důležitými zdroji sloučenin dusíku jsou splaškové odpadní vody, průmyslové odpadní vody nebo splachy z půdy hnojené minerálními hnojivy. Zdrojem amoniakálního dusíku jsou odpady z živočišné výroby v zemědělství. Atmosférické vody také obohacují podzemní vody o dusík, a to ve formě dusitanů a dusičnanů.

Forma výskytu dusíku ve vodách může být iontová i neiontová. Oxidační stupně, ve kterých se vyskytuje jsou -III (amoniakální dusík, kyanatany, kyanidy), -I (hydroxylamin), 0 (elementární dusík), I (oxid dusný), III (dusitany), V (dusičnany). Sloučeniny dusíku nejsou ve vodách příliš stabilní a podléhají biochemickým a chemickým přeměnám. Ve vodách lze stanovit celkový dusík, který se skládá z anorganicky vázaného dusíku a organicky vázaného dusíku. Amoniakální, dusičnanový a dusitanový dusík spadají pod anorganicky vázaný dusík a jedná se o významné ukazatele znečištění vod. Bílkoviny, aminokyseliny, močovina, nebo například aminy jsou příklady sloučenin, které obsahují organicky vázaný dusík. [4]

### **Amoniakální dusík**

Amoniakální dusík se ve vodě vyskytuje v nedisociované formě jako  $NH_3 \cdot H_2O$  a v disociované formě jako  $NH_4^+$ . Podíl disociované a nedisociované formy závisí na pH a teplotě vody. S rostoucí teplotou a pH roste procentové zastoupení nedisociované

formy. Celkový amoniakální dusík  $N(NH_3+NH_4^+)$  je součtem koncentrací dusíku amonného  $N-NH_4^+$  a dusíku amoniakového  $N-NH_3$ . Koncentrace amoniakálního dusíku v podzemních vodách, které nejsou znečištěné dusíkatými hnojivy a fekáliemi je obvykle nízká. Větší množství amoniakálního dusíku může také vznikat redukcí dusičnanů v podzemních vodách. Tato forma dusíku je indikátorem fekálního znečištění, proto je významný z hygienického hlediska. Volný  $NH_3$  je možné z vody odstranit provzdušňováním za zásaditých podmínek. [2,4,5]

### **Dusitany**

Dusitany ve vodách doprovázejí amoniakální dusík a dusičnany. Vznikají převážně z amoniakálního dusíku jeho biochemickou oxidací, případně biochemickou redukcí dusičnanů. Obvykle se ve vodách vyskytují pouze v nízkých koncentracích, což je dáno jejich labilitou. Ve vodách obsahujících kyslík dochází k jejich rychlé přeměně na dusičnany.

Mezní hodnota pro koncentraci dusitanů v pitné vodě je 0,5 mg/l, pro kojenecké vody je tato hodnota dokonce 0,02 mg/l. Zejména u dětí vzniká nebezpečí v důsledku vazby dusitanu na hemoglobin, který se přemění na methemoglobin. Takto pozměněný hemoglobin ztrácí schopnost přenosu kyslíku a může dojít až k zastavení dýchání. Dusitany z tohoto důvodu patří mezi zdravotní ukazatele, které jsou nezbytné při rozboru pitných vod. [4,10]

### **Dusičnany**

Dusičnany vznikají ve vodách při nitrifikaci amoniakálního dusíku a při rozkladu dusíkatých organických látek v kyslíkatém prostředí. Vyskytují se v různých koncentracích ve všech vodách. V podzemních vodách je koncentrace dusičnanů ovlivňována klimatem a půdním charakterem oblasti. V zimním období bývá koncentrace dusičnanů maximální, jelikož dochází k jejich uvolnění z půdy. Naopak v létě bývá koncentrace minimální v důsledku jejich odčerpávání do rostlin. Pronikání půdou je u dusičnanů jednodušší než u  $NH_4^+$ , protože mají horší sorpční schopnosti. Dokážou se tedy dostat do vzdálenějších míst, kde kontaminují podzemní vodu. [4]

V kyslíkatém prostředí jsou dusičnany stabilní sloučeniny. V bezkyslíkatém prostředí přecházejí biochemickou redukcí na elementární dusík. Chemicky mohou být dusičnany redukovány některými kovy, amoniakálním dusíkem nebo například

hydrazinem. Chemická redukce je možná za určitých podmínek a vzniká při ní směs produktů.

Škodlivost dusičnanů je malá, ale v trávicím traktu mohou být redukovány na dusitany. Ty jsou pro člověka nebezpečné kvůli jejich schopnosti reagovat s hemoglobinem, jak již bylo popsáno výše. Z tohoto důvodu je mezní hodnota pro koncentraci dusičnanů v pitné vodě 50 mg/l. [4,6,10]

#### **2.4.2.2 Sloučeniny síry**

Síra se ve vodách může vyskytovat ve formě anorganické i organické. Mezi anorganické sloučeniny síry patří sulfan a jeho iontové formy, thiokyanatany, elementární síra, thiosírany, siřičitany a sírany. Možné oxidační stupně jsou tedy  $-II$ ,  $0$ ,  $II$ ,  $IV$  a  $IV$ . Organicky vázaná síra se objevuje v některých bílkovinách, aminokyselinách, v thiolech a sulfosloučeninách.

#### **Sírany**

Mezi nejvýznamnější anionty ve vodách patří sírany, které vznikají jako konečné produkty při oxidaci sloučenin síry. Hlavní minerály obsahující síranový anion jsou sádrovec ( $CaSO_4 \cdot H_2O$ ) a anhydrit ( $CaSO_4$ ). Zdrojem síranů jsou odpadní vody z provozů, kde se používá kyselina sírová. Do atmosférických vod se dostávají  $SO_2$  a  $SO_3$ , které vznikají při spalování fosilních paliv. V podzemních a povrchových vodách bývá obsah síranů v desítkách až stovkách mg/l. Převažujícím aniontem jsou sírany ve vodách kolem nalezišť sulfidických rud a v důlních vodách. [4,6]

Pokud se sírany ve vodách vyskytují v běžných koncentracích, nemají hygienický význam. Při vysoké koncentraci a v kombinaci s vápníkem a hořčíkem mají na organismus projímavé účinky. Velké množství síranů ovlivňuje také chuť vody. Mezní hodnota koncentrace síranů v pitných vodách je 250 mg/l. [10]

#### **2.4.2.3 Sloučeniny chloru**

#### **Chloridy**

Možných forem výskytu chloru ve vodách je několik, nejrozšířenější z nich jsou však chloridy. Jsou jedním z nejvíce se vyskytujících aniontů přírodních vod (vedle síranů a hydrogenuhličitanů). Dostávají se do vod zvětráváním půd a hornin. Velké množství chloridů je z ložisek kamenné soli nebo draselných solí. Mořská voda, jejíž kapky

se dostávají do ovzduší, je zdrojem chloridů v přímořských oblastech. Antropogenním zdrojem jsou například posypové soli, které se v zimním období dostávají do kanalizace.

Koncentrace chloridů v podzemních a povrchových vodách se pohybuje v jednotkách až desítkách mg/l. V povrchových vodách může být větší koncentrace chloridů, které jsou geologického původu. U nás tato situace ale není obvyklá, proto je velké množství chloridů indikátorem znečištění odpadními a splaškovými vodami. [2,4]

Chloridy mají ve vodách velkou stabilitu. Nejsou hygienicky závadné, ale ovlivňují jakost vody. Při koncentraci nad 200 mg/l dochází k negativnímu ovlivnění chuti vody. Mezní hodnota pro pitnou vodu je v ČR 100 mg/l. [10]

### **2.4.3 Metody stanovení některých anorganických látek**

#### **2.4.3.1 Spektrofotometrické stanovení**

##### **Spektrofotometrické stanovení amonných iontů indofenolovou metodou**

Indofenolová metoda je založena na reakci amoniaku, chlornanu a salicylanu, při které vzniká sloučenina indofenolového typu. Tato vzniklá sloučenina se v alkalickém prostředí disociuje za vzniku modrého indofenolového barviva, které lze stanovit spektrofotometricky při vlnové délce 655 nm. [2,6,11]

Jako katalyzátor se při této reakci využívá nitroprussid sodný. Rušivý vliv vápenatých a hořečnatých iontů se eliminuje přidáním citronanu. [11]

##### **Spektrofotometrické stanovení železa s 1,10-fenanthrolinem**

Při hodnotách pH 2-9 reagují železnaté ionty s 1,10-fenanthrolinem za vzniku komplexní sloučeniny, která je červeně zbarvená. Zbarvení této sloučeniny je stálé po několik hodin a je přímo úměrné koncentraci železnatých iontů. Železité ionty se redukují na  $Fe^{2+}$  přidáním hydroxylamin hydrochloridu. [6,12]

Rušivé vlivy mědi, kobaltu, zinku, chromu a niklu se eliminují nastavením hodnoty pH mezi 3,5-5,5. Vliv organických látek se ruší mineralizací vzorku. [12]

## **Spektrofotometrické stanovení manganu s formaldoximem**

Reakcí manganu s formaldoximem vzniká barevný komplex, který se spektrofotometricky měří při 450 nm. Intenzita zbarvení komplexu je přímo úměrná koncentraci manganu ve vzorku. Komplex manganu s formaldoximem je stabilní v rozmezí hodnot pH 9,5 – 10,5.

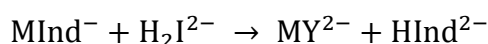
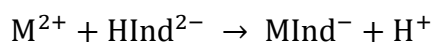
Rušivě působí vápník a hořčík v koncentracích nad 300mg/l, které zvyšují výsledky stanovení manganu. Dalším rušivým vlivem jsou organické látky, vázající mangan. [6,13]

### **2.4.3.2 Titrační stanovení**

#### **Stanovení celkové tvrdosti chelatometrickou titrací**

Jako titrační činidlo se při chelatometrické titraci používá roztok disodné soli kyseliny ethylendiamintetraoctové (EDTA), která se označuje také jako Chelaton 3. Komplexometrická titrace se provádí při pH 10 v prostředí amoniakálního pufru a pro určení bodu ekvivalence se jako indikátor používá metalochromní indikátor eriochromčern T. Tento indikátor se v přítomnosti iontů vápníku a hořčíku a při uvedeném pH zbarvuje vínově červeně. [2,6]

EDTA při titraci nejprve reaguje s ionty hořčíku a vápníku, které se vyskytují volně v roztoku. Po dosažení bodu ekvivalence reaguje EDTA s ionty vápníku a hořčíku, které jsou vázány s eriochromčerní T, tím dojde k uvolnění indikátoru a dojde k barevné změně z vínově červené na modrou. [6] Tento barevný přechod je určen reakcemi:



### **2.4.3.3 Iontová chromatografie**

Chromatografie je separační metoda, jejímž principem je rozdílná rychlost pohybu látek v soustavě stacionární a mobilní fáze. Mobilní fáze unáší vzorek obsahující několik složek chromatografickou kolonou a tyto složky jsou různě zadržovány na stacionární fázi. Tím dochází k jejich rozdělení. Jednotlivé složky látek postupně dochází do detektoru, kde je zjišťována jejich koncentrace.

Iontová chromatografie je vhodná pro stanovení aniontů a kationtů ve směsi. Podle náboje analytu je možné ji rozdělit na aniontovou a kationovou iontovou chromatografii. Jedná se o rychlou metodu, která je využívána pro analýzu pitných i odpadních vod. Tato metoda je založena na iontových interakcích. K interakcím dochází mezi molekulami analytu iontové povahy a funkčními skupinami stacionární fáze, které mají opačný náboj než analyt. Podle míry těchto interakcí je složka různě zadržována na stacionární fázi a do detektoru proto každá složka dorazí v různém čase. [14]

V iontové chromatografii je možné využít různé detekční systémy. Univerzálním detektorem, který je konstrukčně nenáročný a je vhodný i pro analyty iontové povahy je vodivostní detektor. Ten měří pomocí dvou elektrod v průtokové cele elektrickou vodivost eluátu. Na elektrody je vkládáno střídavé napětí, aby se zabránilo jejich polarizaci. Při použití vodivostního detektoru je nutné použití nevodivé mobilní fáze, zároveň je potřeba, aby chromatografované látky dostatečně rozpouštěla. Rušivý vliv vodivosti mobilní fáze lze potlačit použitím supresoru, který se umísťuje mezi vodivostní detektor a chromatografickou kolonu. Díky nepatrné vodivosti mobilní fáze lze detekovat i stopové množství iontů vycházejících z kolony. [14]

Výstupem iontové chromatografie je chromatogram, který ukazuje závislost odezvy detektoru na čase analýzy. Jednotlivé složky jsou zobrazeny jako peaky a koncentrace těchto složek odpovídá ploše pod peakem.

## **2.5 Organické látky ve vodách**

Ve vodách se objevují organické látky přírodního i antropogenního původu. Přírodní organické látky v povrchových a podzemních vodách se označují zkratkou NOM (natural occurring organic matter), používá se také zkratka DOM (dissolved organic matter) pro rozpuštěné přírodní organické látky. Jde o látky obsahující především huminové a fulvinové kyseliny, sacharidy, bílkoviny a další. [4]

Z průmyslu, zemědělství a ze skládek se do vod dostávají organické látky antropogenního původu.



Některé organické látky ve vodách mohou mít karcinogenní, mutagenní nebo teratogenní účinky, mohou také působit jako alergeny. Huminové látky mají vliv na barvu vody, pach a chuť jsou ovlivňovány například uhlovodíky. Ropa a oleje tvoří na hladině povrchový film a tím zabraňuje pronikání kyslíku do vody. [4]

V přírodních vodách bývá obvykle pouze stopové množství organických látek. Jejich větší množství se vyskytuje v některých odpadních a splaškových vodách.

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

CHSK (chemická spotřeba kyslíku) je definována jako množství kyslíku, které se za přesně definovaných podmínek ve vodě spotřebuje na oxidaci organických látek silným oxidačním činidlem. Udává tedy koncentraci kyslíku, která je úměrná množství potřebného oxidačního činidla. [6]

Hodnota CHSK je ukazatelem organického znečištění a stanovuje se proto při rozborech všech typů vod.

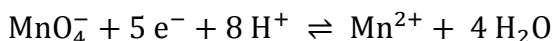
Ke stanovení CHSK se používají dvě metody, z nichž každá využívá jiné oxidační činidlo. Manganistanová metoda ( $CHSK_{Mn}$ ) využívá k oxidaci manganistan draselný. Tato metoda je jednoduchá na provedení a je nenáročná na čas a spotřebu titračního činidla. Druhou metodou je metoda dichromanová ( $CHSK_{Cr}$ ), využívající k oxidaci dichroman draselný. Výhodou dichromanové metody je dosažení vyššího oxidačního účinku, nevýhodou je naopak spotřeba velkého množství titračního činidla a větší časová náročnost. [4,6]

Dichromanová metoda se používá pro stanovení CHSK odpadních vod, manganistanová metoda pro stanovení vod pitných. Pro určení CHSK povrchových vod jsou možné obě metody. [4]

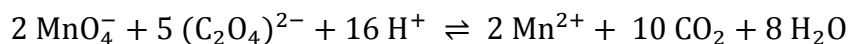
#### **Stanovení CHSK manganistanovou metodou**

Při stanovení CHSK se vzorek vody okyselí kyselinou sírovou a 10 minut se zahřívá na vodní lázni s nadbytkem roztoku manganistanu draselného. Množství nezreagovaného manganistanu se zjistí odměrným manganometrickým stanovením. Ke vzorku se přidá známé množství roztoku šťavelanu sodného a jeho nadbytek zjistíme titrací roztokem manganistanu. [6,15]

Reakce oxidace organických látek ve vzorku:



Reakce zpětné titrace šťavelanu manganistanem:



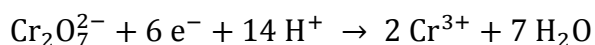
Výhodou této metody je možnost stanovení nízkých hodnot spotřeby kyslíku, je možné stanovit i hodnoty menší než 1 mg/l. Proto je manganistanová metoda vhodná ke stanovení čistých přírodních vod. Pro stanovení odpadních vod se tato metoda nepoužívá.

### **Stanovení CHSK dichromanovou metodou**

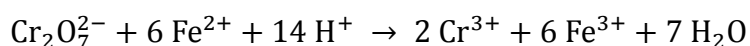
Principem dichromanové metody stanovení chemické spotřeby kyslíku ( $\text{CHSK}_{\text{Cr}}$ ) je oxidace dichromanem draselným. Oxidace se provádí v silně kyselém prostředí při teplotě 150°C po dobu dvou hodin. Jako katalyzátor se při této metodě využívají stříbrné ionty. [6]

Množství nespotřebovaného dichromanu lze zjistit titrací síranem diamonno-železnatým s použitím ferroinu jako indikátoru. Je také možné použít spektrofotometrickou metodu. Chybu stanovení způsobují chloridy, které se oxidují na elementární chlor. Této chybě lze zabránit přidáním síranu rtuťnatého, který s chlorem tvoří stabilní chlorortuťnany. [2,4]

Při oxidaci se redukují dichromanové ionty na chromité:



Rovnice titrace dichromanu roztokem železnaté soli:



$\text{CHSK}_{\text{Cr}}$  je metoda vhodná pro všechny typy vod a je hlavní metodou pro stanovení odpadních vod. Pro vody s  $\text{CHSK}_{\text{Cr}}$  5 až 50 mg/l se používá odměrný roztok dichromanu draselného o koncentraci  $\frac{1}{240}$  mol/l a pro vody s  $\text{CHSK}_{\text{Cr}}$  10 až 100 mg/l roztok dichromanu o koncentraci  $\frac{1}{120}$  mol/l. Koncentrace roztoku dichromanu pro odpadní vody je  $\frac{1}{24}$  mol/l. [6]

## 3 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

### 3.1 Použité chemikálie

Tabulka 1: Chemikálie, které byly použity při rozborech vzorků.

Látka v čistotě p.a.	Výrobce
1,10-fenantrolin	Merck, s.r.o.
citronan trisodný dihydrát	Lach-Ner, s.r.o.
dihydrát hydrogenfosforečnanu disodného	Lach-Ner, s.r.o.
dihydrogenfosforečnan draselný	Lach-Ner, s.r.o.
dichlorisokyanuratan sodný	Lachema, a.s.
eriochromčern T	Lachema, a.s.
fluorid sodný	Litolab, s.r.o.
HSN	Lachema, a.s.
hydroxid amonný	Lachema, a.s.
hydroxid sodný	Lachema, a.s.
hydroxylaminhydrochlorid	Lachema, a.s.
chelatonát hořečnato-dvojsodný	Lachema, a.s.
chlorid amonný	Lachema, a.s.
chlorid draselný	Lachema, a.s.
kyselina dusičná	Lachema, a.s.
kyselina chlorovodíková	Lachema, a.s.
kyselina octová	Lachema, a.s.
kyselina sírová	Lach-Ner, s.r.o.
kyselina šťavelová	Lach-Ner, s.r.o.
manganistan draselný	Lach-Ner, s.r.o.
Na <sub>2</sub> EDTA	Lach-Ner, s.r.o.
nitroprussid sodný	Lach-Ner, s.r.o.
octan amonný	Lach-Ner, s.r.o.
peroxidisíran draselný	Merck, s.r.o.
salicylan sodný	Lachema, a.s.
síran železnatoamonný hexahydrát	Lachema, a.s.
siřičitan sodný	Lachema, a.s.
šťavelan sodný	Lachema, a.s.
triethanolamin	Lachema, a.s.
uhličitan sodný	Fluka, Sigma-Aldrich, s.r.o.

### 3.2 Použité přístroje

- pH metr inolab pH Level 2 od firmy WTW
- Konduktometr inoLab Cond Level 2 od firmy WTW

- digitální byreta Titronic 96
- spektrofotometr UNICAM Helios  $\alpha$
- iontový chromatograf 940 Professional IC Vario

### **3.3 Příprava alternativních činidel**

#### **3.3.1 Alternativní činidla pro stanovení amonných iontů**

##### **Vybarvovací činidlo**

V odměrné baňce o objemu 250 ml bylo rozpuštěno 32,5 g salicylanu sodného a 32,5 g dihydrátu citronanu sodného v REDEMI vodě. Objem byl doplněn REDEMI vodou na 200 ml a dále bylo přidáno 0,238 g nitroprusidu sodného. Poté byl objem doplněn po rysku REDEMI vodou. [11]

##### **Dichlorisokyanuratan sodný**

V kádince o objemu 600 ml bylo rozpuštěno 8,0 g hydroxidu sodného v REDEMI vodě. Roztok byl ochlazen na okolní teplotu a bylo přidáno 0,5 g dihydrátu dichlorisokyanuratanu sodného. Po rozpuštění byl tento roztok kvantitativně převeden do 250 ml odměrné baňky a objem byl doplněn po rysku REDEMI vodou. [11]

#### **3.3.2 Alternativní činidla pro stanovení železa**

##### **Kyselina sírová, $c(\text{H}_2\text{SO}_4) = 4,5 \text{ mol/l}$**

Do kádinky o objemu 1000 ml s 650 ml DEMI vody bylo za intenzivního míchání a chlazení přidáno 250 ml koncentrované kyseliny sírové. Po ochlazení byl objem v odměrné baňce doplněn na 1000 ml DEMI vodou. [12]

##### **Octanový tlumivý roztok**

V kádince o objemu 800 ml bylo v 500 ml ledové kyseliny octové rozpuštěno 400 g octanu amonného, rozpouštění probíhalo za mírného zahřátí. Rozpuštěný roztok byl přelit do odměrné baňky o objemu 1000 ml a objem byl doplněn DEMI vodou po rysku. [12]

**o-Fenantrolin - roztok,  $\rho(\text{C}_{12}\text{H}_8\text{N}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}) = 4,2 \text{ g/l}$**

V odměrné baňce o objemu 500 ml bylo v 300 ml DEMI vody rozpuštěno 2,1 g 1,10-fenantrolinu za mírného zahřátí. Dále bylo přidáno 0,5 ml koncentrované kyseliny chlorovodíkové a baňka byla DEMI vodou doplněna na objem 500 ml. [12]

**Hydroxylamin hydrochlorid - roztok,  $\rho(\text{NH}_2\text{OH} \cdot \text{HCl}) = 100 \text{ g/l}$**

Do odměrné baňky o objemu 250 ml bylo odváženo 25 g hydroxylaminhydrochloridu a toto množství bylo rozpuštěno ve 200 ml DEMI vody. Po rozpuštění byl objem doplněn DEMI vodou na 250 ml. [12]

**Kyselina sírová,  $c(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0,045 \text{ mol/l}$**

V odměrné baňce o objemu 1000 ml bylo do 750 ml DEMI vody pipetou přidáno 10 ml kyseliny sírové o koncentraci 4,5 mol/l. Objem byl DEMI vodou doplněn na 1000 ml. [12]

**3.3.3 Alternativní činidla pro stanovení manganu**

**EDTA - roztok,  $c(\text{EDTA}) = 0,24 \text{ mol/l}$**

Do odměrné baňky o objemu 500 ml bylo naváženo 45 g  $\text{Na}_2\text{EDTA}$  a 9,5 g hydroxidu sodného. Do odměrné baňky bylo přidáno 250 ml DEMI vody a porozpuštění byl objem doplněn na 500 ml. [13]

**Formaloxim - roztok**

V odměrné baňce o objemu 250 ml bylo ve 100 ml DEMI vody rozpuštěno 25 g chloridu hydroxylamonného. Do roztoku bylo nepipetováno 12,5 ml formaldehydu a objem byl doplněn DEMI vodou na 250 ml. [13]

**Amoniak - roztok,  $c(\text{NH}_4\text{OH}) = 4,7 \text{ mol/l}$**

Do odměrné baňky o objemu 1000 ml bylo odměřeno 350 ml koncentrovaného roztoku amoniaku a baňka byla doplněna na objem 1000 ml DEMI vodou. [13]

### **Hydroxylamin hydrochlorid - roztok, $c(\text{NH}_2\text{OH}\cdot\text{Cl}) = 6 \text{ mol/l}$**

V odměrné baňce o objemu 500 ml bylo za mírného zahřátí rozpuštěno 210 g hydroxylamin hydrochloridu ve 250 ml DEMI vody. Baňka byla doplněna DEMI vodou na objem 500 ml. [13]

### **Amoniakální roztok hydroxylamin hydrochloridu**

Ve skleněné láhvi byl smíchán 1 objemový díl amoniaku o koncentraci 4,7 mol/l a 1 objemový díl hydroxylamin hydrochloridu o koncentraci 6 mol/l. [13]

### **Síran železnatoamonný roztok, $c[(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2\cdot 6\text{H}_2\text{O}] = 700 \text{ mg/l}$**

V odměrné baňce o objemu 500 ml bylo ve 100 ml vody rozpuštěno 350 mg síranu železnatoamonného. Dále bylo přidáno 0,5 ml kyseliny sírové o koncentraci 4,5 mol/l a 2 ml roztoku chloridu hydroxylamonného o koncentraci 6 mol/l. Baňka byla DEMI vodou doplněna na objem 500 ml. [13]

### **Hydroxid sodný roztok - roztok, $c(\text{NaOH}) = 5,5 \text{ mol/l}$**

V odměrné baňce o objemu 1000 ml bylo v 500 ml DEMI vody rozpuštěno 220 g hydroxidu sodného. Po rozpuštění se objem doplnil na 1000 ml DEMI vodou. [13]

## **3.4 Odběr vzorků**

Odběry vzorků probíhaly vždy jednou měsíčně od 4.června 2014 do 28.dubna 2015. Vzorky byly odebrány do plastových láhví, které byly vodou naplněny až po okraj, aby v láhvi zůstalo co nejméně vzduchu. Takto odebrané vzorky byly uchovány na tmavém místě v chladničce do dalšího dne. Následující den byly v laboratoři změřeny hodnoty pH, konduktivity a spektrofotometricky byly stanoveny obsahy železa, manganu a amonných iontů. Titračně byly stanoveny obsah vápníku a hořčíku a hodnota chemické spotřeby kyslíku. Ke stanovení dusitanů, dusičnanů, síranů a chloridů byla využita iontová chromatografie.

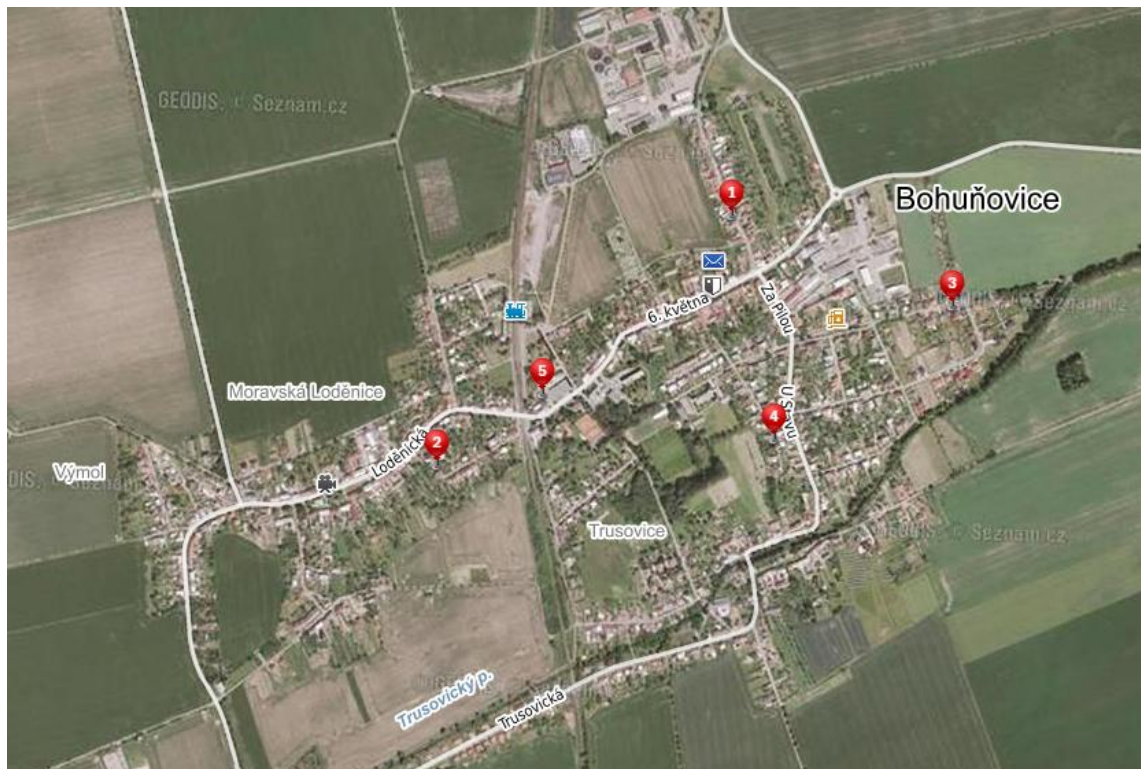
Vzorky byly odebírány na různých místech v obci Bohuňovice, která leží na rovině podhůří Nízkého Jeseníku přibližně 10 km od Olomouce a 7 km od města

Šternberk. Obec se nachází v oblasti Hornomoravského úvalu a patří do geomorfologického podcelku Uničovská plošina.

První odběrové místo (bod 1 viz. obr. č. 1) se nachází v ulici V Drahách na soukromém pozemku domu s číslem popisným 106. Studna je vykopána do hloubky 17 metrů a nachází se vedle zemědělsky obdělávaného pole v nadmořské výšce 231 m n.m.. V této části obce se vyskytují sprašové hlíny, které jsou pro vodu dobře propustné. GPS souřadnice odběrového místa jsou 49.6647519N, 17.2879008E.

Druhé odběrové místo (bod 2 viz. obr. č. 1) je studna na soukromém pozemku domu s číslem popisným 435 v ulici Za Pekárnou. Studna je hluboká 12 metrů a nachází se v nadmořské výšce 227 m n.m.. GPS souřadnice jsou 49.6596836N, 17.2787067E.

Třetím odběrovým místem (bod 3 viz. obr. č. 1) je studna nacházející se v ulici Za Pilou na soukromém pozemku rodinného domu s číslem popisným 736. Toto místo leží 232 m n.m. a hlína je zde písčítá. GPS souřadnice tohoto odběrového místa jsou 49.6629108N, 17.2948558E.



**Obrázek č.1: Odběrová místa [16]**

Čtvrtým odběrovým místem (bod 4 viz. obr. č. 1) je obecní studna, která leží v ulici Pod Lipami v nadmořské výšce 228 m n.m.. Studna není příliš hluboká a hlína je zde písčítá. Dříve byla studna obyvateli obce hojně využívána jako zdroj kvalitní pitné vody. GPS souřadnice této obecní studny jsou 49.6602078N, 17.2891761E.

Páté odběrové místo (bod 5 viz. obr. č. 1) se nachází na pozemku pekárny v ulici 6.května, číslo popisné 248. Studna je vykopaná do hloubky 22m a nachází se v nadmořské výšce 228 m n.m.. Na tomto pozemku je sprašová hlína. GPS souřadnice tohoto odběrového místa jsou 49.6611308N, 17.2820039E.

### **3.5 Měření teploty**

Teplota vody byla měřena okamžitě po odběru přímo v odběrné láhvi o objemu větším než 1 litr. K měření teploty byl použit rtuťový teploměr. Ten byl ponořen pod hladinu vody v odběrné láhvi a ze stupnice byla odečtena teplota, která byla zaznamenána ve stupních Celsia (°C).

### **3.6 Měření pH**

Stanovení pH bylo prováděno potenciometricky pomocí pH-kombinované elektrody na přístroji pH metr inolab pH Level 2 od firmy WTW, který byl opatřen teplotním čidlem. pH metr byl před měřením nakalibrován. Kalibrace byla provedena pomocí standardních tlumivých roztoků s hodnotami pH 4 a 7. Před každým měřením byl změřen kontrolní vzorek, který má při teplotě 25°C referenční hodnotu pH = 6,865. Vzorky byly měřeny ve skleněné kádince s magnetickým míchadlem. Elektroda byla před každým měřením opláchnuta destilovanou vodou a osušena buničinou, následně byla ponořena do vzorku a byla odečtena hodnota pH. Po ukončení měření byla elektroda ponořena do tlumivého roztoku o pH 7.

### **3.7 Měření konduktivity**

Konduktivita byla stanovována pomocí přístroje Konduktometr inoLab Cond Level 2 od firmy WTW, opatřeného vodivostní celou. Před samotným měřením byl změřen



kontrolní roztok, jehož konduktivita při 25°C je 1290 mS/m. Tento kontrolní roztok obsahoval KCl v koncentraci 0,1 mol/l.

Vzorky byly měřeny ve skleněné kádince s magnetickým míchadlem. Do kádinky se vzorkem byla ponořena opláchnutá a osušená vodivostní cela. Na konduktometru byla aktivována funkce AutoRead (symbol AR). Klávesou RUN ENTER byla spuštěna funkce AutoRead, jejíž symbol na displeji po ustálení hodnoty přestal blikat a zobrazila se naměřená hodnota konduktivity. Po ukončení měření byla vodivostní cela opláchnuta destilovanou vodou a osušena.

### 3.8 Stanovení tvrdosti vody chelatometricky

Do skleněné kádinky bylo pomocí odměrného válce odměřeno 50 ml vzorku. Do kádinky byly přidány 3 kapky indikátoru eriochromčern T a 4 ml tlumivého roztoku o pH 10. Došlo ke zbarvení na vínově červenou barvu, hodnota pH takto připraveného vzorku byla  $10,0 \pm 0,1$ . Do kádinky bylo vloženo magnetické míchadlo a za stálého míchání byl roztok titrován odměrným roztokem EDTA o koncentraci 20 mmol/l. V momentě, kdy nebyl patrný červený odstín, bylo dosaženo bodu ekvivalence a byla zapsána spotřeba EDTA, při první titraci označená  $V_{sp1}$ .

Při druhé titraci byly do 50 ml vzorku přidány 3 kapky indikátoru a odměrný roztok EDTA. Objem přidaného roztoku EDTA byl o 0,5 ml menší než spotřeba tohoto roztoku při první titraci. Poté byly přidány 4 ml tlumivého roztoku o pH 10. Do kádinky bylo vloženo magnetické míchadlo a za stálého míchání byl roztok pomalu titrován do bodu ekvivalence. Spotřeba roztoku EDTA při druhé titraci byla označena  $V_{sp(Ca+Mg)}$ . [17]

Výpočet koncentrace vápníku a hořčíku se provádí podle vzorce:

$$c_{(Ca+Mg)} = \frac{c_{EDTA} \cdot V_{sp(Ca+Mg)}}{V_{vz}}$$

$c_{(Ca+Mg)}$	celková molární koncentrace vápníku a hořčíku [mmol/l]
$c_{EDTA}$	koncentrace roztoku EDTA [mmol/l]
$V_{sp(Ca+Mg)}$	spotřeba roztoku EDTA k titraci [ml]
$V_{vz}$	zkoušený objem vzorku [ml]

### 3.9 Stanovení $\text{CHSK}_{\text{Mn}}$

Před přípravou vzorků byla zapnuta vodní lázeň, jejíž teplota byla nastavená na  $100^\circ\text{C}$ . Poté bylo odměrným válcem do zkumavek odměřeno 25 ml vzorků a ke každému bylo přidáno 5 ml kyseliny sírové. Zkumavky byly poté umístěny do vodní lázně a temperovaly se 10 minut ( $\pm 2$  minuty). Po uplynutí této doby byl zapnut chronometr a do každé zkumavky bylo napipetováno 5 ml odměrného roztoku manganistanu draselného. Po 10 minutách ( $\pm 15$  sekund) bylo do zkumavek v pravidelných časových intervalech napipetováno 5 ml odměrného roztoku šřavelanu sodného, bylo dodrženo pořadí zkumavek jako při pipetování manganistanu. Tímto byla reakce ukončena a termostat byl přenastaven na  $80^\circ\text{C}$ . Vzorky byly za horka titrovány odměrným roztokem manganistanu draselného o koncentraci 2 mmol/l až do bodu ekvivalence, který se projevil světle růžovým odstínem. Spotřeba roztoku manganistanu byla označena  $V_e$ . Roztoky byly ponechány ve zkumavkách do dalšího stanovení.

Pro standardizaci odměrného roztoku bylo ke ztitrovanému slepému vzorku přidáno 5 ml odměrného roztoku šřavelanu sodného. Roztok byl opět při teplotě asi  $80^\circ\text{C}$  titrován odměrným roztokem manganistanu draselného do světle růžového zbarvení. Spotřeba roztoku manganistanu byla označena  $V_{\text{kal}}$ . [15]

Rovnice pro výpočet  $\text{CHSK}_{\text{Mn}}$ :

$$\text{CHSK}_{\text{Mn}} = \frac{(V_e - V_s) \cdot f_t \cdot c \cdot A_0 \cdot 10^3}{V_0}$$

$\text{CHSK}_{\text{Mn}}$	hodnota chemické spotřeby kyslíku manganistanem [mg/l]
$V_e$	spotřeba roztoku $\text{KMnO}_4$ k titraci vzorků [ml]
$V_s$	spotřeba roztoku $\text{KMnO}_4$ k titraci slepého vzorku [ml]
$V_0$	objem vzorku [ml]
$f_t$	titrační faktor (5/2)
$c$	látková koncentrace $\text{KMnO}_4$ [mol/l]
$A_0$	atomární hmotnost kyslíku (16 g/mol)

## **3.10 Spektrofotometrické stanovení vybraných anorganických látek**

### **3.10.1 Spektrofotometrické stanovení amonných iontů**

Do dělených zkumavek bylo odměřeno 20 ml vzorku, dále byly přidány 2 ml vybarvovacího činidla a směs se promíchala. Následně byly přidány 2 ml roztoku dichlorisokyanuratanu sodného. Zkumavky byly doplněny redemineralizovanou vodou na 25 ml a opět byly promíchány. Vzorky ve zkumavkách se při teplotě 20°C ( $\pm 2$  °C) nechaly vybarvovat po dobu 60 minut. [11]

Měření bylo provedeno na spektrofotometru Helios  $\alpha$  v 1 cm kyvetě při vlnové délce 655 nm. Jako blank byla použita redemineralizovaná voda.

### **3.10.2 Spektrofotometrické stanovení železa**

40 ml vzorku bylo odměřeno do Nesslerových válců. Do vzorku byl přidán 1 ml hydroxylamin hydrochloridu a roztok byl promíchán. Za 5 minut byly přidány 2 ml roztoku o-fenantrolinu a opět byla směs promíchána. Nesslerův válec byl doplněn demineralizovanou vodou na 50 ml. Po opětovném promíchání se směs nechala 15 minut vybarvovat. [12]

Měření bylo provedeno na spektrofotometru Helios  $\alpha$  v 3 cm kyvetě při vlnové délce 510 nm proti DEMI vodě.

### **3.10.3 Spektrofotometrické stanovení manganu**

Při spektrofotometrickém stanovení manganu bylo do Nesslerových válců odměřeno 40 ml vzorku. Byl přidán 1 ml roztoku síranu železnatoamonného, 2 ml roztoku EDTA a 2 ml roztoku hydroxidu sodného. Po promíchání byl přidán 1 ml roztoku formaldoximu. Dále byla směs promíchána a nechala se 10 minut stát. Po uplynutí 10 minut byly přidány 3 ml směšného roztoku chloridu hydroxylamonného s amoniakem. Nesslerův válec byl doplněn na 50 ml DEMI vodou a směs byla opět promíchána. Směs se nechala 2 hodiny vybarvovat. [13]

Měření probíhalo v 5 cm kyvetě při vlnové délce 450 nm na přístroji Helios  $\alpha$ . Jako blank byla použita DEMI voda.

### **3.11 Stanovení vybraných aniontů iontovou chromatografií**

Pomocí iontové chromatografie byly stanovovány koncentrace dusitanů, dusičnanů, síranů a chloridů. Ke stanovení byl použit iontový chromatograf 940 Professional IC Vario s vodivostní detekcí od firmy Metrohm Česká republika s.r.o., který byl ovládán pomocí softwaru MagIC Net 3.0. Měření probíhalo při teplotě 25 °C.

Plastové zkumavky o objemu 15 ml s kónickým dnem byly vypláchnuty vždy příslušným vzorkem. Vzorky byly nality do zkumavek a ty byly zazátkovány plastovou zátkou. Takto připravené zkumavky se vzorky byly vloženy do karuselu.

Následně byl spuštěn program MagIC Net 3.0. a po kliknutí na ikonu Pracoviště byla vybrána záložka Série stanovení. Zde byly vyplněny údaje pro každý vzorek (název vzorku, jeho pozice v karuselu). Hodnoty pro nástřik byly dány metodou, objem nástřiku byl 20  $\mu$ l. [18]

Po ukončení zápisu vzorků byla zkontrolována jejich posloupnost a pozice v karuselu a sekvence byla spuštěna. Průchodem chromatografickou kolonou došlo k rozdělení složek. Po skončení analýzy byly v databázi odečteny výsledky pro každý vzorek.

## **4 VÝSLEDKY MĚŘENÍ A JEJICH DISKUZE**

Výsledky měření byly shrnuty v následujících tabulkách a byly zakresleny do grafů pro možnost snadnějšího porovnání jednotlivých vzorků. Graf pro koncentrace amonných iontů nebyl uveden, protože hodnoty těchto koncentrací byly ve většině případů pod mezí stanovení.

Tabulka č.1: Naměřené hodnoty ukazatelů kvality vody v závislosti na ročním období. Zdroj 1.

	pH	κ [mS/m]	c <sub>Ca+Mg</sub> [mmol/l]	Fe [mg/l]		Mn [mg/l]		NH <sup>4+</sup> [mg/l]	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> [mg/l]	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> [mg/l]	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> [mg/l]	Cl <sup>-</sup> [mg/l]	CHSK <sub>Mn</sub> [mg/l]	
<b>4.6.</b>	7,00	118	<b>5,53</b>	0,034	0,036	< 0,01		< 0,033	< 0,007	<b>101</b>	165	79,0	< 0,5	
<b>26.6.</b>	7,09	116	<b>5,55</b>	< 0,02		< 0,01		< 0,033	0,007	<b>124</b>	202	92,9	< 0,5	
<b>30.7.</b>	7,01	119	<b>5,50</b>	0,063	0,062	<b>0,141</b>	<b>0,130</b>	< 0,033	< 0,007	<b>118</b>	171	82,6	0,48	0,50
<b>1.9.</b>	6,93	122	<b>5,58</b>	0,023	0,021	< 0,01		< 0,033	0,025	<b>66,0</b>	204	<b>113</b>	< 0,5	
<b>24.9.</b>	6,85	121	<b>5,50</b>	< 0,02		< 0,01		< 0,033	< 0,007	<b>63,7</b>	107	63,7	< 0,5	
<b>29.10.</b>	7,20	120	<b>5,48</b>	0,023	0,025	< 0,01		< 0,033	< 0,007	<b>116</b>	165	94,4	< 0,5	
<b>26.11.</b>	6,99	118	<b>5,17</b>	0,087	0,091	0,020	0,022	< 0,033	< 0,007	<b>75,7</b>	132	57,2	0,53	0,50
<b>5.1.</b>	7,03	120	<b>5,32</b>	0,033	0,029	0,011	0,011	< 0,033	< 0,007	<b>111</b>	180	82,4	< 0,5	
<b>1.2.</b>	6,99	120	<b>5,35</b>	0,032	0,033	0,013	0,014	< 0,033	< 0,007	<b>99,3</b>	156	79,1	< 0,5	
<b>4.3.</b>	7,21	108	<b>5,12</b>	0,076	0,082	0,042	0,039	< 0,033	< 0,007	<b>93,9</b>	143	69,2	< 0,5	
<b>2.4.</b>	6,87	120	<b>5,42</b>	0,038	0,037	0,018	0,017	< 0,033	< 0,007	<b>109</b>	169	71,5	< 0,5	
<b>29.4.</b>	7,02	114	<b>5,38</b>	0,040	0,043	0,010	0,011	< 0,033	< 0,007	<b>112</b>	160	80,6	0,50	0,51

Tabulka č.2: Naměřené hodnoty ukazatelů kvality vody v závislosti na ročním období. Zdroj 2.

	pH	κ [mS/m]	c <sub>Ca+Mg</sub> [mmol/l]	Fe [mg/l]		Mn [mg/l]	NH <sup>4+</sup> [mg/l]	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> [mg/l]	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> [mg/l]	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> [mg/l]	Cl <sup>-</sup> [mg/l]	CHSK <sub>Mn</sub> [mg/l]	
4.6.	6,81	102	<b>4,30</b>	0,131	0,130	< 0,01	< 0,033	0,019	<b>132</b>	97,3	71,8	0,73	0,78
26.6.	6,97	106	<b>4,61</b>	0,038	0,038	< 0,01	< 0,033	0,021	<b>158</b>	118	73,7	1,29	1,22
30.7.	6,91	98,5	<b>4,97</b>	0,074	0,075	< 0,01	< 0,033	< 0,007	<b>127</b>	97,0	73,3	< 0,5	
1.9.	6,91	98,5	<b>4,18</b>	0,106	0,105	< 0,01	< 0,033	0,009	<b>84</b>	111	<b>104</b>	0,64	0,59
24.9.	6,88	101	<b>4,38</b>	0,131	0,130	< 0,01	< 0,033	0,012	<b>123</b>	92,6	68,4	< 0,5	
29.10.	7,03	102	<b>4,43</b>	0,091	0,087	< 0,01	< 0,033	0,011	<b>125</b>	97,1	67,9	< 0,5	
26.11.	6,81	101	<b>4,54</b>	0,049	0,052	< 0,01	< 0,033	< 0,007	<b>110</b>	83,7	59,5	< 0,5	
5.1.	6,93	97,8	<b>4,17</b>	0,099	0,093	< 0,01	< 0,033	< 0,007	<b>131</b>	99,6	76,1	< 0,5	
1.2.	6,90	97,2	<b>4,14</b>	0,076	0,077	< 0,01	< 0,033	< 0,007	<b>120</b>	85,9	68,5	< 0,5	
4.3.	6,90	99,4	<b>4,30</b>	0,093	0,089	< 0,01	< 0,033	< 0,007	<b>134</b>	100	73,5	< 0,5	
2.4.	6,78	98,6	<b>4,12</b>	0,053	0,049	< 0,01	< 0,033	0,014	<b>122</b>	98,2	70,7	< 0,5	
29.4.	6,9	98,3	<b>4,28</b>	0,064	0,058	< 0,01	< 0,033	0,007	<b>128</b>	94,3	71,7	< 0,5	

**Tabulka č.3: Naměřené hodnoty ukazatelů kvality vody v závislosti na ročním období. Zdroj 3.**

	pH	κ [mS/m]	c <sub>Ca+Mg</sub> [mmol/l]	Fe [mg/l]	Mn [mg/l]		NH <sup>4+</sup> [mg/l]		NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> [mg/l]	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> [mg/l]	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> [mg/l]	Cl <sup>-</sup> [mg/l]	CHSK <sub>Mn</sub> [mg/l]	
4.6.	6,68	24,1	<b>0,80</b>	< 0,02	< 0,01		< 0,033		< 0,007	21,8	32,8	18,1	0,46	0,50
26.6.	6,72	25,0	<b>0,84</b>	< 0,02	0,013	0,013	< 0,033		< 0,007	23,4	32,2	18,9	< 0,5	
30.7.	6,86	24,9	<b>0,86</b>	< 0,02	0,015	0,014	< 0,033		< 0,007	15,4	26,0	15,7	0,70	0,69
1.9.	6,56	28,0	<b>0,99</b>	< 0,02	< 0,01		< 0,033		< 0,007	11,9	33,8	26,1	< 0,5	
24.9.	6,71	30,8	<b>1,12</b>	< 0,02	0,012	0,011	< 0,033		0,009	23,7	28,3	19,3	< 0,5	
29.10.	6,66	30,0	<b>1,04</b>	< 0,02	< 0,01		< 0,033		< 0,007	32,9	35,0	18,1	0,58	0,61
26.11.	<b>6,45</b>	27,8	<b>1,00</b>	< 0,02	< 0,01		< 0,033		< 0,007	15,7	24,9	15,2	0,54	0,50
5.1.	6,53	27,2	<b>1,01</b>	< 0,02	< 0,01		< 0,033		0,021	21,0	28,6	17,6	< 0,5	
1.2.	6,65	34,2	<b>1,12</b>	< 0,02	<b>0,051</b>	<b>0,055</b>	< 0,033		< 0,007	<b>57,7</b>	24,8	24,5	< 0,5	
4.3.	6,75	32,4	<b>1,21</b>	< 0,02	< 0,01		0,035	0,038	< 0,007	<b>54,8</b>	30,7	24,0	< 0,5	
2.4.	<b>6,49</b>	28,2	<b>1,15</b>	< 0,02	0,014	0,014	< 0,033		0,008	31,6	27,1	18,2	< 0,5	
29.4.	6,64	30,1	<b>0,97</b>	< 0,02	0,011	0,010	< 0,033		< 0,007	25,2	29,2	18,3	0,49	0,52

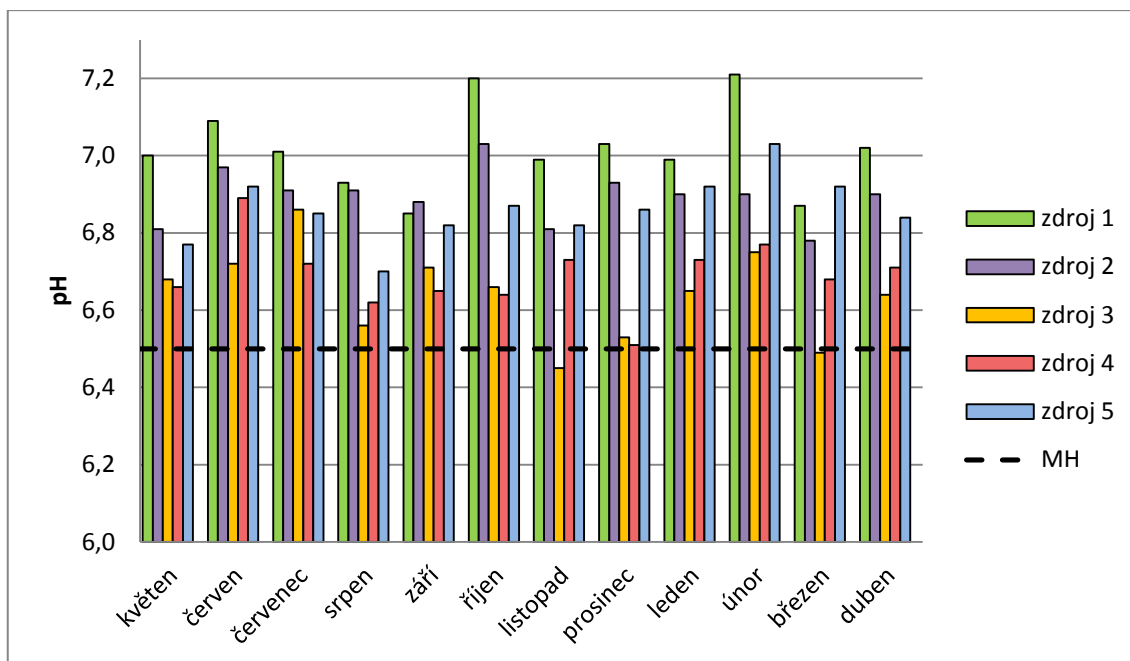


Tabulka č.4: Naměřené hodnoty ukazatelů kvality vody v závislosti na ročním období. Zdroj 4.

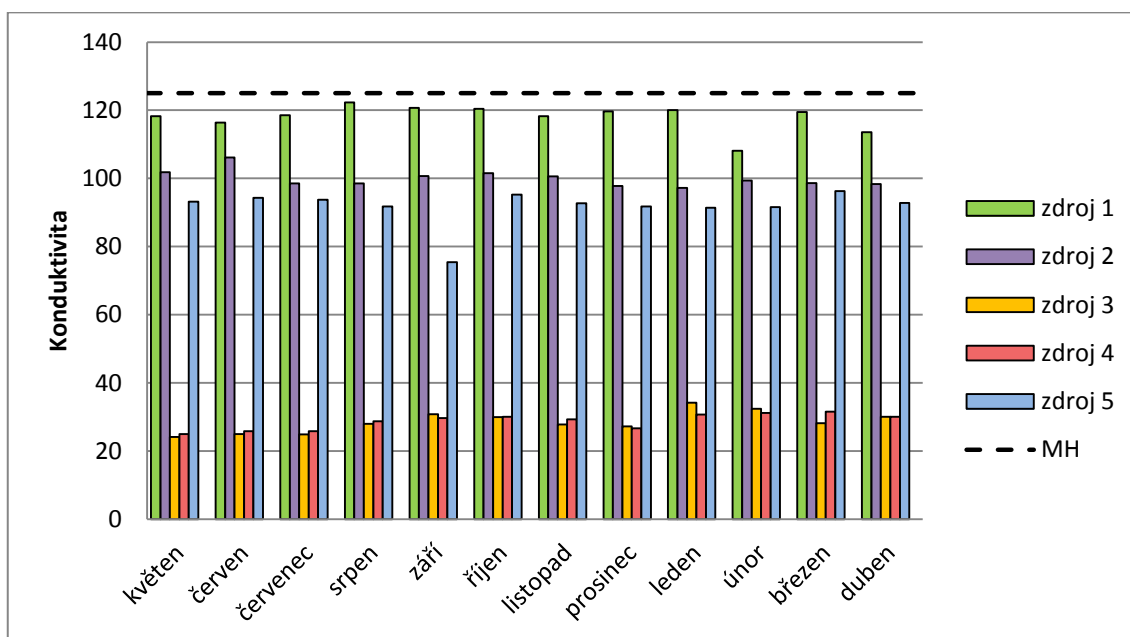
	pH	κ [mS/m]	c <sub>Ca+Mg</sub> [mmol/l]	Fe [mg/l]		Mn [mg/l]		NH <sup>4+</sup> [mg/l]		NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> [mg/l]	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> [mg/l]	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> [mg/l]	Cl <sup>-</sup> [mg/l]	CHSK <sub>Mn</sub> [mg/l]	
4.6.	6,66	25,0	<b>0,88</b>	0,159	0,168	0,016	0,017	< 0,033		0,138	22,4	32,4	15,0	0,61	0,66
26.6.	6,89	25,8	<b>0,91</b>	<b>0,260</b>	<b>0,257</b>	0,043	0,045	0,085	0,079	0,282	13,6	32,7	16,4	0,88	0,83
30.7.	6,72	25,8	<b>0,88</b>	0,080	0,081	<b>0,131</b>	<b>0,127</b>	< 0,033		0,014	18,2	30,5	14,7	< 0,5	
1.9.	6,62	28,7	<b>1,05</b>	<b>0,759</b>	<b>0,763</b>	0,043	0,042	< 0,033		0,129	10,3	34,7	26,0	< 0,5	
24.9.	6,65	29,7	<b>1,10</b>	<b>0,305</b>	<b>0,282</b>	0,030	0,032	0,033	0,035	0,081	18,8	30,7	17,0	0,57	0,61
29.10.	6,64	30,1	<b>1,12</b>	<b>0,321</b>	<b>0,319</b>	<b>0,336</b>	<b>0,321</b>	0,040	0,037	0,107	22,8	33,3	17,1	< 0,5	
26.11.	6,73	29,3	<b>1,11</b>	<b>1,404</b>	<b>1,462</b>	<b>0,076</b>	<b>0,074</b>	0,327	0,340	0,161	7,23	26,4	15,6	0,75	0,76
5.1.	6,51	26,7	<b>0,96</b>	0,080	0,083	< 0,01		< 0,033		0,342	17,3	30,2	17,2	< 0,5	
1.2.	6,73	30,7	<b>1,09</b>	<b>0,516</b>	<b>0,555</b>	0,025	0,025	0,091	0,097	0,266	30,9	24,9	18,9	< 0,5	
4.3.	6,77	31,2	<b>1,13</b>	<b>2,259</b>	<b>2,176</b>	<b>0,136</b>	<b>0,129</b>	<b>0,559</b>	<b>0,568</b>	0,095	40,6	30,7	22,3	0,65	0,61
2.4.	6,68	31,6	<b>1,16</b>	<b>2,225</b>	<b>2,210</b>	<b>0,072</b>	<b>0,070</b>	0,398	0,400	0,109	26,6	32,7	19,5	0,60	0,63
29.4.	6,71	30,1	<b>1,10</b>	0,845	0,907	<b>0,055</b>	<b>0,053</b>	0,306	0,314	0,142	21,0	30,3	17,6	< 0,5	

Tabulka č.5: Naměřené hodnoty ukazatelů kvality vody v závislosti na ročním období. Zdroj 5.

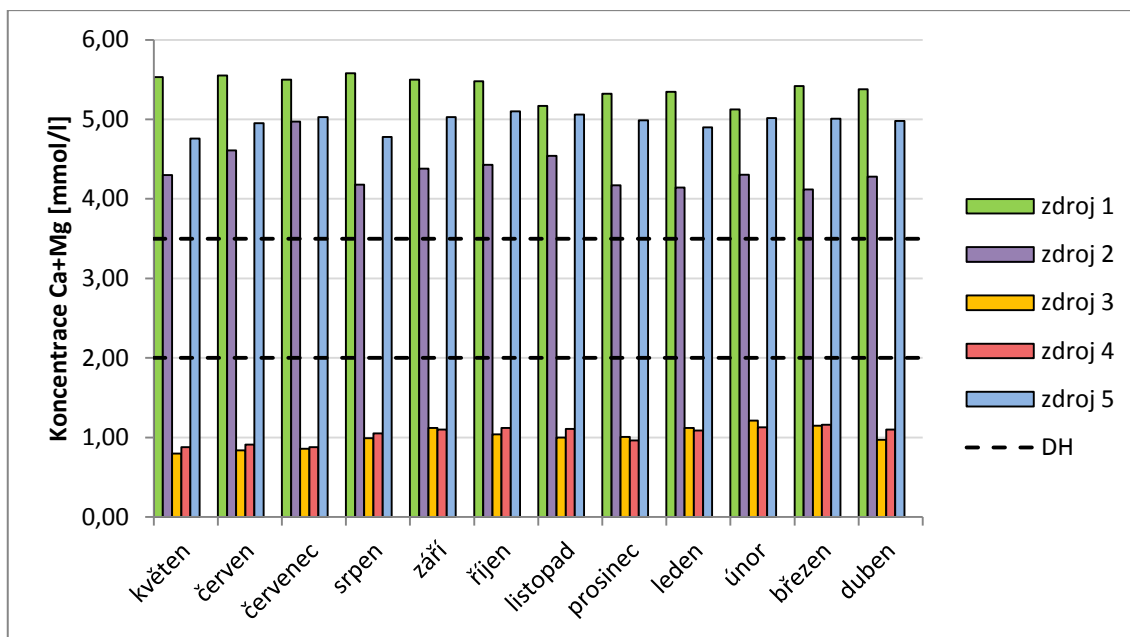
	pH	κ [mS/m]	c <sub>Ca+Mg</sub> [mmol/l]	Fe [mg/l]	Mn [mg/l]	NH <sup>4+</sup> [mg/l]	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> [mg/l]	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> [mg/l]	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> [mg/l]	Cl <sup>-</sup> [mg/l]	CHSK <sub>Mn</sub> [mg/l]
4.6.	6,77	93,2	<b>4,76</b>	< 0,02	< 0,01	< 0,033	< 0,007	39,2	93,7	57,5	< 0,5
26.6.	6,92	94,3	<b>4,95</b>	< 0,02	<b>0,161</b>   <b>0,153</b>	< 0,033	< 0,007	47,4	116	67,8	< 0,5
30.7.	6,85	93,7	<b>5,03</b>	< 0,02	<b>0,159</b>   <b>0,164</b>	< 0,033	< 0,007	41,0	108	61,3	< 0,5
1.9.	6,70	91,8	<b>4,78</b>	< 0,02	< 0,01	< 0,033	< 0,007	25,1	107	93,3	0,72   0,78
24.9.	6,82	75,4	<b>5,03</b>	< 0,02	< 0,01	< 0,033	0,007	38,5	103	58,4	< 0,5
29.10.	6,87	95,2	<b>5,10</b>	< 0,02	< 0,01	0,052   0,049	0,007	38,8	109	57,3	< 0,5
26.11.	6,82	92,7	<b>5,06</b>	< 0,02	< 0,01	< 0,033	< 0,007	35,2	89	54,0	< 0,5
5.1.	6,86	91,8	<b>4,99</b>	0,021   0,022	< 0,01	0,043   0,044	< 0,007	38,3	102	65,5	< 0,5
1.2.	6,92	91,4	<b>4,90</b>	< 0,02	< 0,01	< 0,033	< 0,007	36,9	92,4	57,2	< 0,5
4.3.	7,03	91,6	<b>5,02</b>	0,034   0,031	<b>0,153</b>   <b>0,165</b>	< 0,033	< 0,007	42,5	101	66,2	< 0,5
2.4.	6,92	96,3	<b>5,01</b>	< 0,02	< 0,01	< 0,033	< 0,007	39,2	98,8	60,5	< 0,5
29.4.	6,84	92,8	<b>4,98</b>	< 0,02	<b>0,125</b>   <b>0,121</b>	< 0,033	< 0,007	38,5	104	57,1	< 0,5



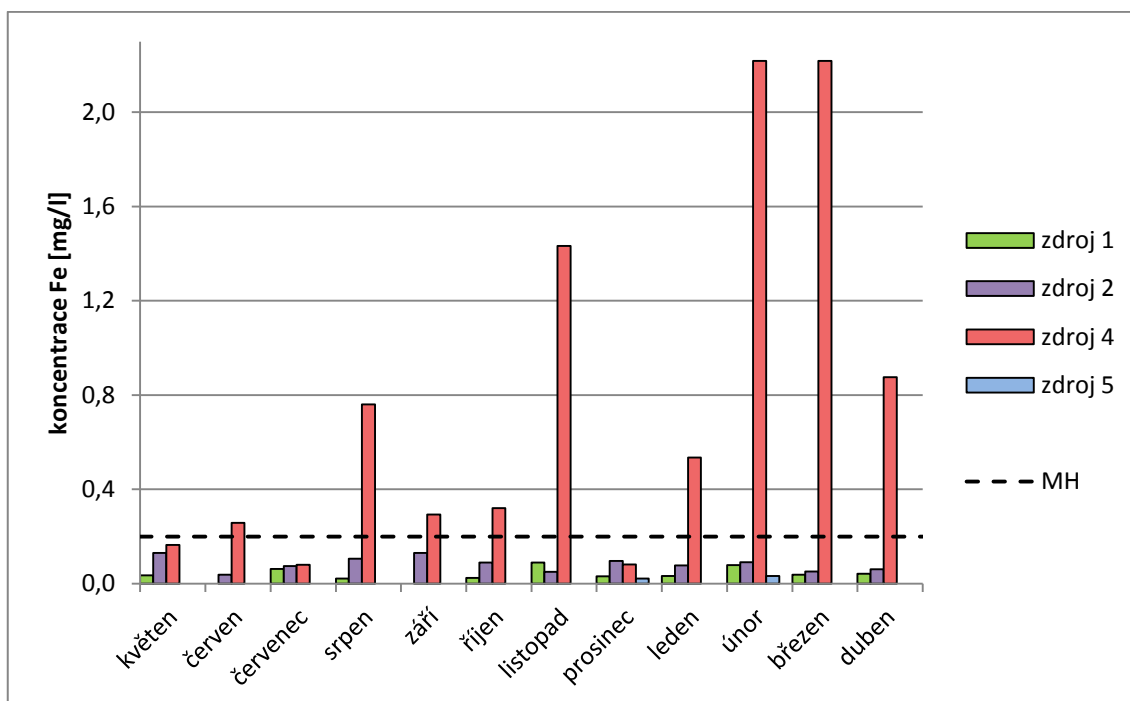
**Obrázek č.2: Naměřené hodnoty pH pro jednotlivé zdroje v závislosti na ročním období s vyznačenou dolní hranicí intervalu mezních hodnot.**



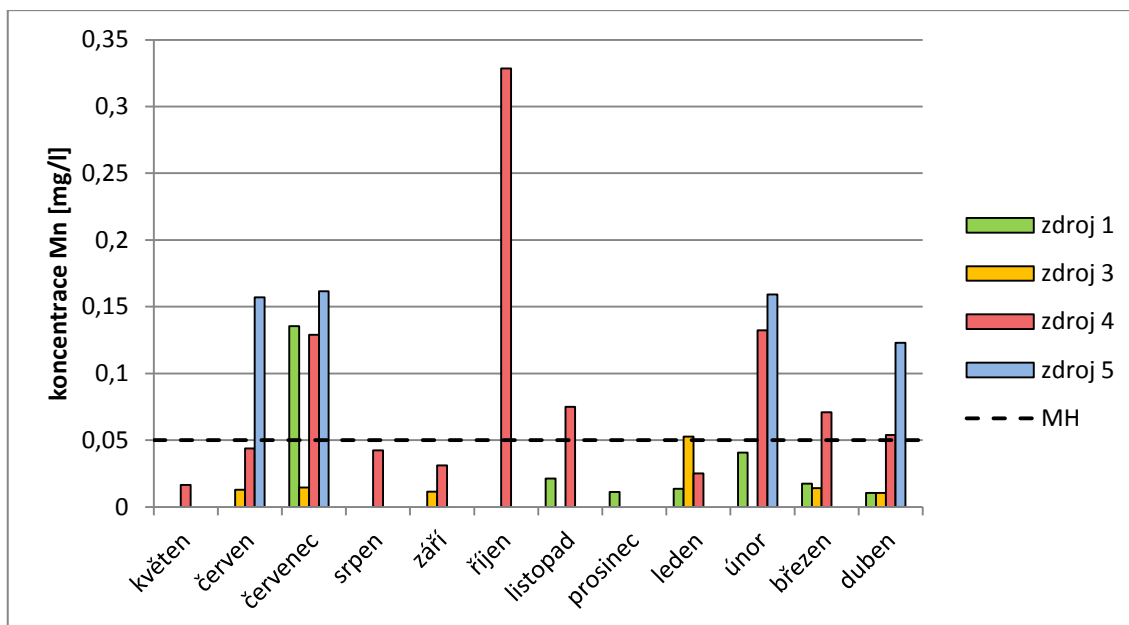
**Obrázek č.3: Naměřené hodnoty konduktivity pro jednotlivé zdroje v závislosti na ročním období s vyznačenou mezní hodnotou.**



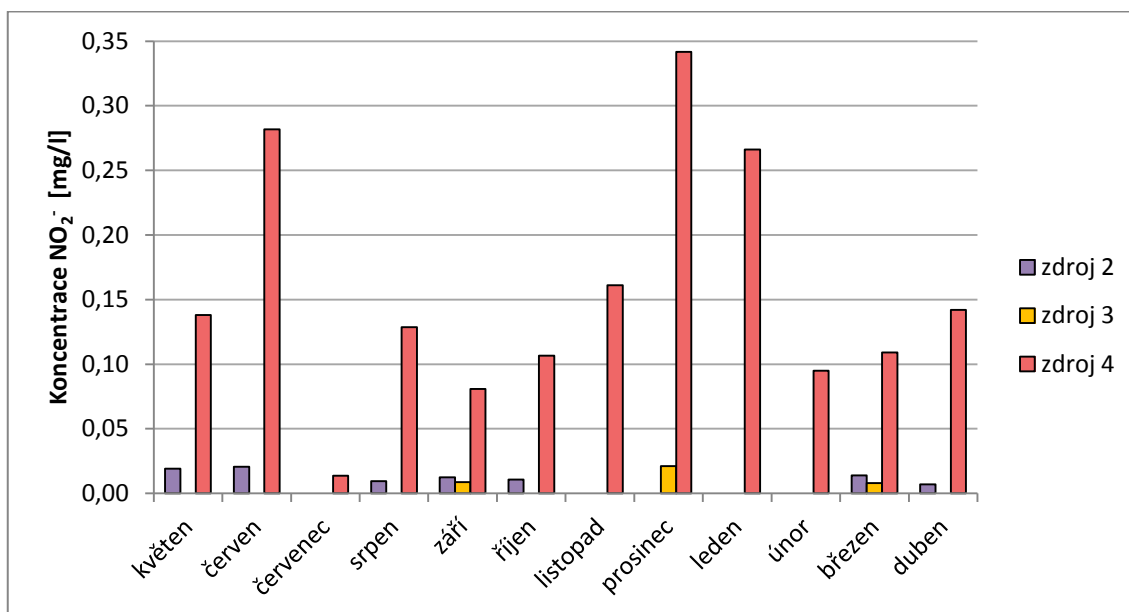
**Obrázek č.4: Naměřené hodnoty tvrdosti vody pro jednotlivé zdroje v závislosti na ročním období s vyznačeným intervalem doporučených hodnot.**



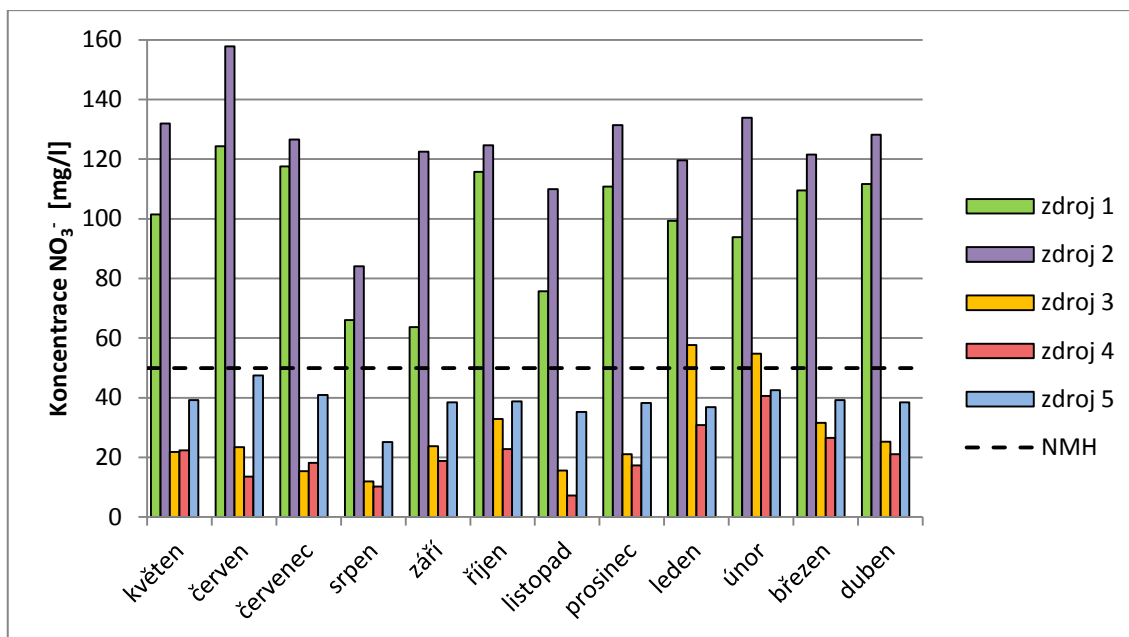
**Obrázek č.5: Naměřené hodnoty koncentrace železa pro jednotlivé zdroje v závislosti na ročním období s vyznačenou mezní hodnotou.**



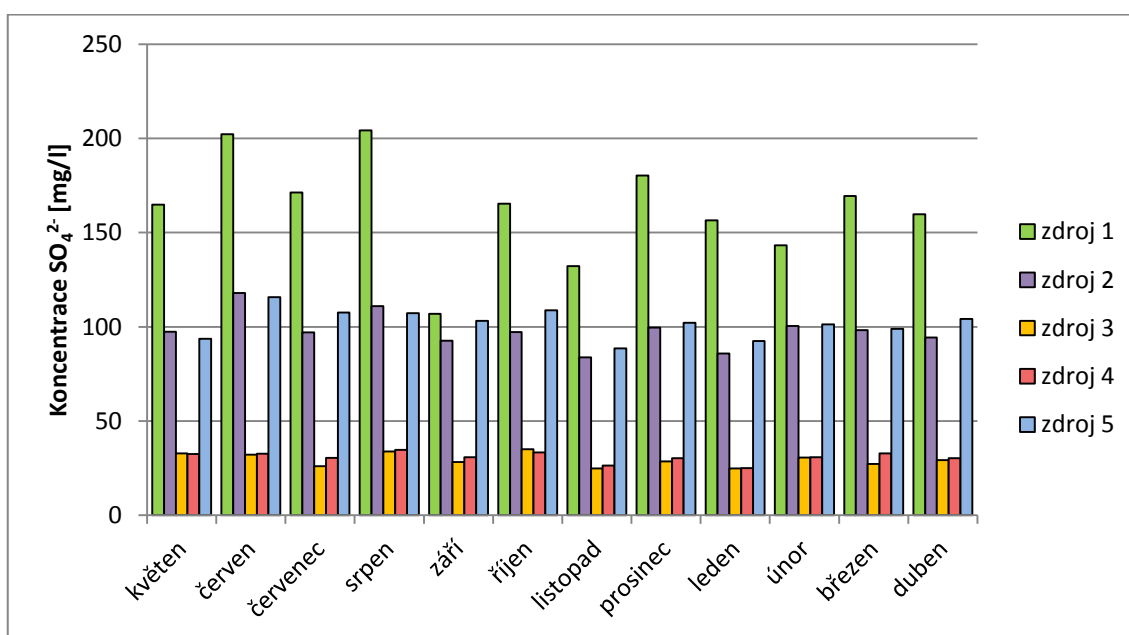
**Obrázek č.6: Naměřené hodnoty koncentrace manganu pro jednotlivé zdroje v závislosti na ročním období s vyznačenou mezní hodnotou.**



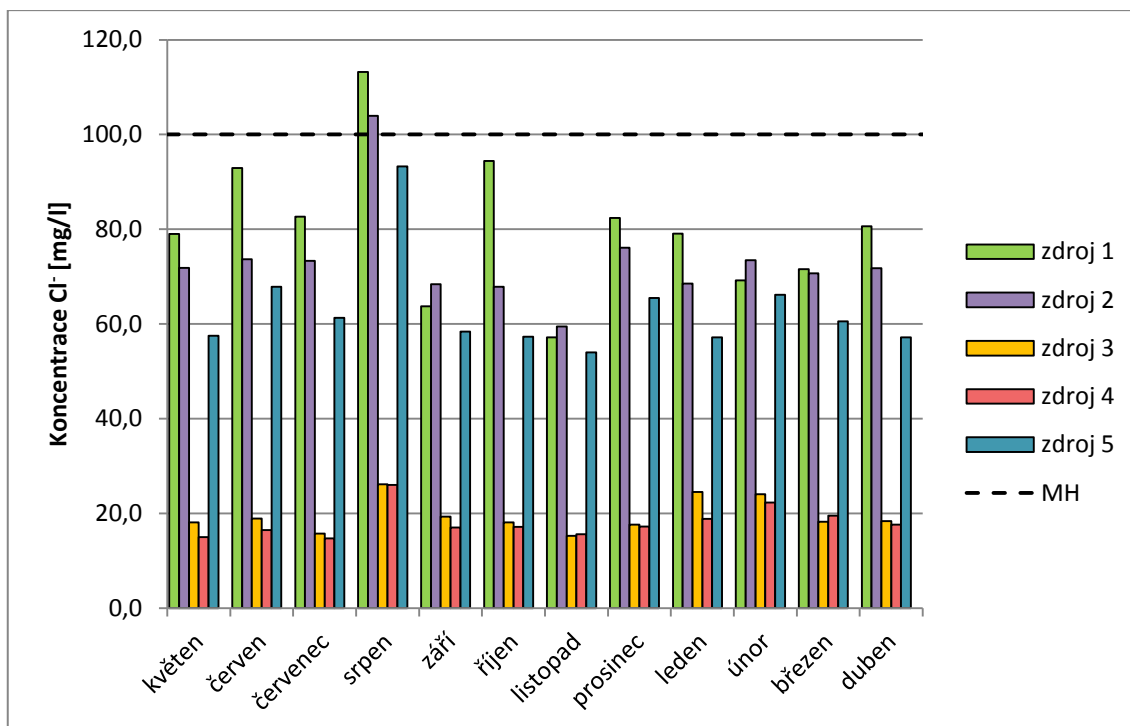
**Obrázek č.7: Naměřené hodnoty koncentrace dusitanů pro jednotlivé zdroje v závislosti na ročním období.**



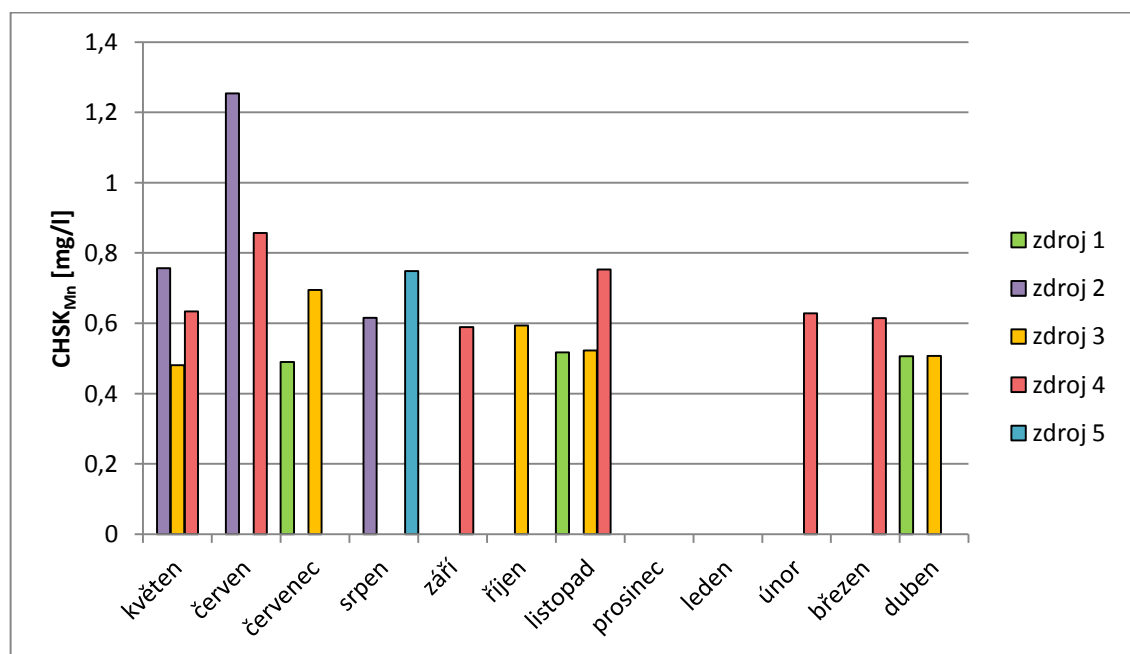
**Obrázek č.8: Naměřené hodnoty koncentrace dusičnanů pro jednotlivé zdroje v závislosti na ročním období s vyznačenou nejvyšší mezní hodnotou.**



**Obrázek č.9: Naměřené hodnoty koncentrace síranů pro jednotlivé zdroje v závislosti na ročním období.**



**Obrázek č.10: Naměřené hodnoty koncentrace chloridů pro jednotlivé zdroje v závislosti na ročním období s vyznačenou mezní hodnotou.**



**Obrázek č.11: Naměřené hodnoty CHSK<sub>Mn</sub> pro jednotlivé zdroje v závislosti na ročním období.**

**Tabulka č. 6: Ukazatele pitné vody a jejich hygienické limity podle vyhlášky č. 252/2004 Sb. [10] NMH – nejvyšší mezní hodnota, MH – mezní hodnota, DH - doporučená hodnota**

Ukazatel	Jednotka	Limit	Typ limitu
Amonné ionty	mg/l	0,5	MH
Dusičnany	mg/l	50	NMH
Dusitany	mg/l	0,5	NMH
Chemická spotřeba kyslíku	mg/l	3	MH
Chloridy	mg/l	100	MH
Konduktivita	mS/m	125	MH
Mangan	mg/l	0,05	MH
pH	pH	6,5-9,5	MH
Sírany	mg/l	250	MH
Vápník a hořčík	mmol/l	2-3,5	DH
Železo	mg/l	0,2	MH

**Tabulka č.7: Splnění/nesplnění hygienických limitů pro pH, konduktivitu, tvrdost vody a koncentraci železa podle vyhlášky č. 252/2004 Sb. v jednotlivých měsících.**

	pH		κ		Tvrdost		Fe	
	splňuje	nesplňuje v měsících	splňuje	nesplňuje v měsících	splňuje	nesplňuje v měsících	splňuje	nesplňuje v měsících
zdroj 1	ano	-	ano	-	-	ano	ano	-
zdroj 2	ano	-	ano	-	-	ano	ano	-
zdroj 3		3, 11	ano	-	-	ano	ano	-
zdroj 4	ano	-	ano	-	-	ano	4, 5, 7, 12	
zdroj 5	ano	-	ano	-	-	ano	ano	-



**Tabulka č.8: Splnění/nesplnění hygienických limitů pro mangan,  $\text{CHSK}_{\text{Mn}}$ , amonné ionty a dusitany podle vyhlášky č. 252/2004 Sb. v jednotlivých měsících.**

	Mn		$\text{CHSK}_{\text{Mn}}$		$\text{NH}_4^+$		$\text{NO}_2^-$	
	splňuje	nesplňuje v měsících	splňuje	nesplňuje v měsících	splňuje	nesplňuje v měsících	splňuje	nesplňuje v měsících
zdroj 1		7	ano	-	ano		ano	-
zdroj 2	ano		ano	-	ano		ano	-
zdroj 3		1	ano	-		11, 3	ano	-
zdroj 4		2, 3, 4, 7, 10, 11	ano	-	ano		ano	-
zdroj 5		2, 4, 6, 7	ano	-	ano		ano	-

**Tabulka č.9: Splnění/nesplnění hygienických limitů pro dusičnany, sírany a chloridy podle vyhlášky č. 252/2004 Sb. v jednotlivých měsících.**

	$\text{NO}_3^-$		$\text{SO}_4^{2-}$		$\text{Cl}^-$	
	splňuje	nesplňuje v měsících	splňuje	nesplňuje v měsících	splňuje	nesplňuje v měsících
zdroj 1	-	ano	ano	-		8
zdroj 2	-	ano	ano	-		8
zdroj 3		1, 2	ano	-	ano	-
zdroj 4	ano	-	ano	-	ano	-
zdroj 5	ano	-	ano	-	ano	-

Naměřené hodnoty vybraných ukazatelů kvality vody byly zapsány do tabulek a tučně byly zvýrazněny hodnoty, které nesplňují hygienické limity podle vyhlášky č. 252/2004 Sb.[10] Dále byly vyhotoveny grafy pro jednotlivé ukazatele a jejich závislost na ročním období. Zdroj 3 nebyl uveden v grafu pro hodnoty koncentrace železa, jelikož byl při všech měřeních pod mezí stanovení. Ze stejného důvodu nebyl uveden zdroj 2 v grafu pro hodnoty koncentrace manganu. Pro hodnoty koncentrace dusitanů nebyly v grafu zakresleny zdroje 1 a 5, protože většina naměřených hodnot byla pod mezí stanovení.

V tabulkách č.7-9 byly uvedeny jednotlivé ukazatele a jejich splnění nebo nesplnění hygienických limitů v závislosti na měsíci v roce. Z výše uvedených tabulek

vyplývá, že žádný ze zdrojů nesplňoval všechny hygienické limity pro pitnou vodu po celé sledované období.

**Tabulka č.10: Průměrné měsíční teploty ve stupních Celsia od května 2014 do dubna 2015. [19]**

	2014								2015			
	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4
průměr	13.9	17.1	20.9	17.1	15.4	10.3	7.2	1.6	0.6	0.6	4.9	8.9
maximum	23.6	24.7	25.4	24.3	19.1	15.6	13.5	9.1	6.5	5.1	11.0	15.5
minimum	7.0	12.8	15.7	10.4	8.9	0.0	-1.6	-7.2	-6.5	-3.1	1.0	1.7

**Tabulka č.11: Průměrné měsíční úhrny srážek v milimetrech od května 2014 do dubna 2015. [19]**

	2014								2015			
	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4
suma	84.3	45.0	47.7	85.8	61.8	33.6	18.6	21.6	44.4	3.9	42.6	13.2
průměr	2.7	1.5	1.5	2.8	2.1	1.1	0.6	0.7	1.4	0.0	1.4	0.4
maximum	21.6	17.1	9.6	17.7	12.6	15.9	9.6	6.0	6.0	2.4	17.1	5.4

Teploty vod se po celou dobu pohybovaly v rozmezí 8-12 °C. Venkovní teplotou byla nejvíce ovlivněna voda ze zdroje 4. Hlubší studny nebyly téměř venkovní teplotou ovlivněny.

Hodnoty pH byly po celé sledované období od května 2014 do dubna 2015 téměř neměnné. Pouze u zdroje 3 klesla hodnota pH v listopadu a v březnu mírně pod mezní hodnotu. To mohlo být způsobeno vyšší koncentrací oxidu uhličitého ve vodě.

Hodnoty konduktivity byly také po celý rok poměrně stálé u všech pěti zdrojů. Podle hodnoty konduktivity je možné posuzovat čistotu vody. Čím více elektrolytů a rozpuštěných plynů voda obsahuje, tím lépe vede elektrický proud a tím má vyšší hodnotu konduktivity. Na základě tohoto tvrzení můžeme říci, že zdroje 1, 2 a 5 obsahují výrazně více rozpuštěných anorganických látek než zdroje 3 a 4. Vysoký obsah anorganických látek ve zdrojích 1, 2 a 5 potvrzuje i tvrdost těchto vod, která je po celé sledované období značně nad doporučenou hodnotou. Naopak zdroje 3 a 4, jejichž

konduktivita se pohybovala pouze kolem 24 až 34 mS/m obsahují velmi málo vápenatých a hořečnatých iontů a jedná se o vodu měkkou.

Železo a mangan se ve vysokých koncentracích vyskytovaly ve vodě ze zdroje 4. Tyto prvky pravděpodobně pocházejí z horninového podloží. Vysoká koncentrace železa v této vodě je zřejmě způsobena i korozí studny. U zdroje 5 se vyskytly nadlimitní koncentrace manganu ve čtyřech měsících za sledované období (v červnu, červenci, únoru a dubnu), voda ze zdroje 1 překročila limit jednou (v červenci). Při porovnání s měsíčními průměrnými teplotami a úhrny srážek není patrná závislost koncentrace železa a manganu na těchto podmínkách.

Hodnoty chemické spotřeby kyslíku v průběhu roku u zdrojů 1, 2, 3 a 4 značně kolísaly, nikdy však nepřesáhly mezní hodnotu pro tento ukazatel. Nejvyšší hodnota přesahující 1,2 mg/l se vyskytla v červnu u zdroje 2. Naopak u zdroje 5 se parametr  $CHSK_{Mn}$  vyskytl pouze jednou a to v srpnu. Organické znečištění ve vodě může být produktem životní činnosti organismů a rostlin. Může být tedy indikátorem přítomnosti řas a sinic.

Amoniakální dusík, který je indikátorem fekálního znečištění byl častěji přítomen pouze ve vodě ze zdroje 4. Hodnota z února 2015 dokonce překračovala mezní hodnotu koncentrace amonných iontů danou vyhláškou. Jedná se o neudržovanou studnu, která není příliš hluboká. Možným důvodem pro toto zvýšení koncentrace může být rozklad těla živočišného organismu. Podle informací obyvatel byla v přílehlé studánce nalezena uhynulá kočka.

Koncentrace dusitanů byly taktéž nejpatrnější ve vodě ze zdroje 4. Lze předpokládat, že dusitany v této vodě vznikají chemickou redukcí dusičnanů železem a manganem. Toto tvrzení podporuje i fakt, že tato voda obsahuje velké množství těchto kovů. Nejvyšší mezní hodnotu však koncentrace dusitanů ani u tohoto zdroje nepřekročily.

Naopak dusičnany byly v analyzovaných vodách přítomny často v koncentracích, které překračovaly nejvyšší mezní hodnotu. U zdrojů 1 a 2 byl tento limit překročen při každém stanovení. U zdroje 3 byla nejvyšší mezní hodnota překročena v lednu a v únoru. Vysokou koncentraci dusičnanů u zdroje 1 je možné vysvětlit blízkostí zemědělsky obdělávané půdy, která je v sousedství zahrady, na níž

se nachází studna. Tato půda byla pravděpodobně hnojena dusíkatými hnojivy. Zdroj 2 se nachází také nedaleko pole, ne však v bezprostřední blízkosti. V sousedství je velké množství zahrad, na kterých je také hypotetická možnost využívání dusíkatých hnojiv. Zdroj číslo 3 je situován na okraji vesnice a taktéž v blízkosti pole. Je tedy možné, že zvýšené hodnoty koncentrace dusičnanů v ledu a únoru jsou způsobeny předchozím vyvezením močůvky za vesnici.

Koncentrace síranů ve vodách ze všech zdrojů nepřekročily hygienické limity pro pitné vody. Nejbohatší na obsah síranů byl zdroj 1, u kterého se koncentrace tohoto aniontu pohybovaly okolo 150 mg/l. V červnu a v srpnu překročily hodnoty koncentrace 200 mg/l. Koncentrace síranů ve vodách ze zdrojů 2 a 5 se pohybovala kolem 100 mg/l. Zdroje 3 a 4 nejsou na sírany tak bohaté.

Chloridy se opět vyskytovaly v nejvyšších koncentracích ve vodách ze zdrojů 1, 2 a 5. Zvýšené hodnoty byly zaznamenány u všech zdrojů v srpnu. V tomto měsíci došlo k překročení mezní hodnoty koncentrace chloridů u zdrojů 1 a 2. Příčina tohoto srpnového nárůstu koncentrace chloridů nebyla zjištěna.

## 5 ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo posouzení kvality podzemních vod pocházejících z různých zdrojů. Vzorke byly odebírány pravidelně jednou měsíčně z pěti míst v obci Bohuňovice a byly u nich stanovovány vybrané ukazatele jakosti vod. Rozbory vod byly prováděny v laboratoři společnosti Moravská vodárenská a.s. v Olomouci.

Jednotlivé zdroje byly porovnány mezi sebou podle změřených ukazatelů. V některých případech byly vysloveny hypotézy, které jsou možným objasněním naměřených hodnot. Byla také sledována možná závislost kvality vody na venkovní teplotě a na množství srážek, které za daný měsíc spadlo. Tato závislost nebyla u stanovovaných zdrojů potvrzena.

Ani jeden ze sledovaných zdrojů nesplňoval hygienické limity pro pitné vody po celých dvanáct měsíců. Nejčastějším problémem byla příliš tvrdá nebo naopak příliš měkká voda. Pro obsah vápenatých a hořečnatých iontů je však stanovena pouze doporučená hodnota, protože tento parametr nemá negativní vliv na zdraví člověka. Větším problémem u sledovaných vod jsou koncentrace dusičnanů, které u dvou zdrojů byly po celý rok nad hodnotou nejvyšší mezní koncentrace.

## **6 SUMMARY**

The aim of this work was to assess the quality of groundwater from different sources. The samples were taken once a month from five wells in Bohuňovice village and selected indicators of water quality were determined. Water analysis was performed in the laboratory of Moravská vodárenská a.s. in Olomouc.

The sources were compared according to the measured parameters. In some cases hypothetical reasons of the outcome were expressed. Also the possible dependence of water quality on the outdoor temperature and the amount of precipitation were observed. No such correlation has been confirmed.

All measured sources were found to be exceeding various hygienic limits for drinking water in certain months. The most common problem was too hard or too soft water. This however does not negatively impact human health and therefore there are only recommendations with regards to the calcium and magnesium ion limits. The bigger problem of the monitored samples are nitrate concentrations. In two cases the nitrate concentration was found to be above the maximum concentration limit throughout the whole year.

## 7 LITERATURA

1. PELIKÁN, Vladimír. *Ochrana podzemních vod*. 1.vyd. Praha: SNTL, 1983, 321 s.
2. KALIČINSKÁ, Jitka. *Monitorování životního prostředí*. 1. vyd. Ostrava: Pavel Klouda, 2006, 88 s. ISBN 80-863-6913-7
3. Evropská vodní charta. [online]. [cit. 2015-03-05]. Dostupné z <http://www.vakmb.cz/evropska-vodni-charta.html>.
4. PITTER, Pavel. *Hydrochemie*. 4. aktualiz. vyd. Praha: VŠCHT, 2009, 579 s. ISBN 978-80-7080-701-9
5. ŽÁČEK, Ladislav. *Hydrochemie*. 1. vyd. Brno: VUTIUM, 1998, 80 s. ISBN 80-214-1167-8
6. HORÁKOVÁ, Marta, LISCHKE, Peter, GRÜNWARD, Alexander. *Chemické a fyzikální metody analýzy vod*. 2.vyd. Praha: SNTL, 1989, 392 s.
7. Zákon č. 254/2001 Sb., O vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon), 2001.
8. TOURKOVÁ, Jana. *Hydrogeologie*. 2.vyd. Praha: ČVUT, 2004, 165 s. ISBN 80-01-03101-2
9. PAVELKOVÁ CHMELOVÁ, R., FRAJER, J., *Základy hydrogeologie*, Distanční studijní opora, Univerzita Palackého, 2013.
10. Vyhláška č. 252/2004 Sb. – Hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody.
11. ČSN ISO 7150-1 (757451). Jakost vod. *Stanovení amonných iontů*. Část 1: Manuální spektrometrická metoda, 1994-06-01.
12. ČSN ISO 6332 (757433). Jakost vod. *Stanovení železa*. Fotometrická metoda s 1,10-fenantrolinem, 1995-02-01.
13. ČSN ISO 6333 (757447). Jakost vod. *Stanovení manganu*. Spektrofotometrická metoda s formaldoximem, 1996-02-01.
14. BALDRIANOVÁ L., BARATH P.. Iontová chromatografie na profesionální úrovni. *CHEMAGAZÍN*. [online]. [cit. 2015-04-20]. Dostupné z <http://www.chemagazin.cz/>

15. ČSN EN ISO 8467 (757519). Jakost vod. *Stanovení chemické spotřeby kyslíku manganistanem (CHSKMn)*, 2006-11-01.
16. Mapy.cz. [online]. [cit. 2015-04-25]. Dostupné z: <http://www.mapy.cz>.
17. ČSN ISO 6059 (75 7384). Jakost vod. *Stanovení sumy vápníku a hořčíku. Odměrná metoda s EDTA*, Leden 1996.
18. Moravská vodárenská a.s., Standardní operační postup S-115. *Stanovení aniontů iontovou chromatografií (vodivostní detekce)*, 2014
19. Meteostanice Šternberk, Amatérská meteorologická stanice. [online]. [cit. 2015-04-25]. Dostupné z <http://www.meteostbk.cz/>