

Univerzita Palackého v Olomouci

Přírodovědecká fakulta

Katedra fyzikální chemie

Roční sledování kvality podzemních vod v oblasti Šternberka a jeho okolí

Bakalářská práce

Autor:	Wendy Číhalová
Studijní program:	B 1407 Chemie
Studijní obor:	Aplikovaná chemie
Forma studia:	Prezenční
Vedoucí práce:	doc. RNDr. Tatjana Nevěčná, CSc

Olomouc 2017

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci na téma: „Roční sledování kvality podzemních vod v oblasti Šternberka a jeho okolí“ vypracovala samostatně, pod vedením doc. RNDr. Taťjany Nevěčné, CSc. a veškerou použitou literaturu jsem uvedla v seznamu použité literatury.

Souhlasím s tím, že je má práce prezenčně zpřístupněna v knihovně Katedry fyzikální chemie Přírodovědecké fakulty Univerzity Palackého v Olomouci.

V Olomouci dne

.....

Wendy Číhalová

Poděkování:

Velmi ráda bych chtěla poděkovat vedoucí mé bakalářské práce doc. RNDr. Taťjaně Nevěčné, CSc. za veškerý čas, který mi po dobu práce na této práci věnovala. Za všechny její rady, připomínky, vytrvalost a ochotu mi s čímkoliv pomoci. Dále bych chtěla poděkovat celému kolektivu Moravské vodárenské a.s. v Olomouci, kteří byli ochotni mě vše naučit a s čímkoliv mi pomoci.

Bibliografické údaje:

Jméno a příjmení autora:	Wendy Číhalová
Název práce:	Roční sledování kvality podzemních vod v oblasti Šternberka a jeho okolí
Typ práce:	Bakalářská
Pracoviště:	Katedra fyzikální chemie
Vedoucí práce:	doc. RNDr. Taťjana Nevěčná, CSc.
Rok obhajoby práce:	2017
Abstrakt:	Od dubna 2016 do března 2017 byly každý měsíc odebírány vzorky z pěti studen v okolí Šternberka. Byly stanoveny základní parametry pitných vod jako je hodnota pH, konduktivita, barva, stanovení koncentrací čpavků $[\text{NH}_4^+]$, manganu $[\text{Mn}]$, železa $[\text{Fe}]$, dusitanů $[\text{NO}_2^-]$, dusičnanů $[\text{NO}_3^-]$, síranů $[\text{SO}_4^{2-}]$, chloridů $[\text{Cl}^-]$, fluoridů $[\text{F}^-]$ a fosforu $[\text{PO}_4^{3-}]$. Dále byla stanovena celková tvrdost vody $[\text{Ca} + \text{Mg}]$ a hodnota chemické spotřeby kyslíku $[\text{CHSK}_{\text{Mn}}]$.
Klíčová slova:	Kvalita vody, podzemní voda, parametry
Počet stran:	50
Počet příloh:	0
Jazyk:	Česky

Bibliographical identification:

Author's first name and surname: Wendy Číhalová

Title: Annual monitoring of quality of groundwater in Šternberk and surroundings

Type of thesis: Bachelor

Department: Department of Physical Chemistry

Supervisor: Doc. RNDr. Taťjana Nevěčná, CSc.

The year of presentation: 2017

Abstract: From April 2016 to March 2017 the water samples from five wells located in Šternberk and surroundings were taken every month and were then analysed for basic parameters of drinking water. Such as the value of pH, conductivity, the concentration of ammonium [NH₄⁺], manganese [Mn], iron [Fe], nitrites [NO₂⁻], nitrates [NO₃⁻], sulphates [SO₄²⁻], chlorides [Cl⁻], fluorides [F⁻] and phosphates [PO₄³⁻]. Then the total water hardness [Ca + Mg] and the chemical oxygen demand [COD_{Mn}].

Keywords: Water quality, groundwater, parameters

Number of pages: 50

Number of appendices: 0

Language: Czech

OBSAH

1	ÚVOD	1
2	INTRODUCTION	2
3	TEORETICKÁ ČÁST	3
3.1	VODA A JEJÍ VLASTNOSTI	3
3.1.1	Fyzikální vlastnosti vody	3
3.1.2	Druhy vod	5
3.2	ANORGANICKÉ LÁTKY VE VODÁCH	9
3.2.1	Kovy a polokovy ve vodách	9
3.2.2	Nekovy ve vodách	14
3.3	ORGANICKÉ LÁTKY VE VODÁCH	18
3.3.1	Organické látky ve vodách - BSK	19
4	EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	20
4.1	POUŽITÉ PŘÍSTROJE	20
4.2	POUŽITÉ CHEMIKÁLIE	20
4.3	PŘÍPRAVA ALTERNATIVNÍCH ČINIDEL	21
4.3.1	Příprava alternativních činidel pro stanovení železa	21
4.3.2	Příprava alternativních činidel pro stanovení amonných iontů	22
4.3.3	Příprava alternativních činidel pro stanovení manganu	23
4.3.4	Příprava alternativního činidla pro stanovení dusitanů	24

4.4	METODY STANOVENÍ.....	24
4.4.1	Stanovení železa	24
4.4.2	Spektrofotometrické stanovení manganu reakcí s formaldoximem	24
4.4.3	Stanovení vápníku a hořčíku chelatometrickou titrací	25
4.4.4	Spektrofotometrické stanovení amoniakálního dusíku	25
4.4.5	Metody stanovení organických látek ve vodách	26
4.5	ODBĚR VZORKŮ.....	27
4.6	MĚŘENÍ PH.....	29
4.7	MĚŘENÍ KONDUKTIVITY	29
4.8	STANOVENÍ VYBRANÝCH ANIONTŮ IONTOVOU CHROMATOGRÁFÍ	29
5	VÝSLEDKY MĚŘENÍ	31
5.1	DISKUZE.....	44
6	ZÁVĚR.....	47
7	SUMMARY	48
8	POUŽITÁ LITERATURA.....	49

1 ÚVOD

Voda je jednou z nejzákladnějších a nepostradatelných složek života a celkové existence člověka na Zemi. Pro organismy je z celkového množství vody využitelné pouze necelé 1 %, které zaujímá povrchová a podzemní voda, která je ne vždy vodou pitnou. Slaná voda, voda ve formě neroztavitelného ledu a voda v podobě sněhu je pro člověka v podstatě nevyužitelnou. Jak již ve velmi dávné minulosti si lidstvo uvědomovalo podstatu, potřebu a využití vody tím, že si svá obydlí stavělo podél řek a vodních zdrojů, tak v současné době se ohledně kvality vod velmi spekuluje a je to téměř každodenní téma, kterému se věnuje nemalá pozornost.

Voda není na Zemi rozmístěna rovnoměrně, proto obyvatelé některých území mají vody méně, některá více, některá ji nemají vůbec. Evropané si často tento fakt neuvědomují a berou příjem požitelné, čisté vody jako samozřejmost. Naproti tomu pro lidi v oblastech, kde je extrémní sucho, má voda doslova cenu zlata, často o ni žadoní a mají k ní velmi nesnadný přístup. Celkově se spotřeba vody díky neustálému vzrůstu populace stále zvyšuje, a je docela možné, že by mohlo dojít k jejímu úplnému vyčerpání. Minimálně tento klesající přísun vody může být v blízké budoucnosti důvodem k větším celosvětovým konfliktům, neboť právě čistá voda je pro mnoho zemí strategickou surovinou.

V dnešní době je koloběh vody ovlivněn činnostmi člověka jako jsou zemědělské práce a práce v průmyslových továrnách. Dříve byly jedinými vlivy pouze přírodní podmínky. Nyní lidé do řek a všech přírodních vod vypouštějí látky, které vody znečišťují a jejich filtrace a celkové zpětné čištění je procesem velmi náročným, někdy až bohužel nemožným. Všechny nelegálně vypuštěné látky do vody ovlivňují její kvalitu, a proto se vyskytují chráněné zdroje, u kterých je nutná pravidelná kontrola jakosti vod.

Cílem této bakalářské práce bylo během jednoho roku v závislosti na ročním období, sledovat a následně vyhodnotit vybrané parametry jakosti pitných vod v oblastech Šternberka a jeho blízkého okolí. Bylo zvoleno celkem pět zdrojů, z toho čtyři byly odebírány z okolních studen a jeden zdroj byl čistě z volně dostupného přírodního zdroje. Tyto vzorky byly během jednoho roku analyzovány a porovnávány v závislosti proměnlivého počasí. Veškeré výsledky jsou uvedeny ve výsledcích této práce, včetně následné diskuze k výsledným zjištěným hodnotám.

2 INTRODUCTION

Water is one of the most basic and most indispensable components of life and of the whole existence of man on the Earth. For organisms, only less than 1 % of total water amount is usable, which include surface water and ground water, which is always not a drinking water. Saltwater, water in the form of non-melting ice and water in the form of snow are types of water, which are in fact, unusable for man. As in the very past, humanity has been yet aware of the essence, need and use of water by building their dwellings along the rivers and along the water resources. Nowadays the theme of *water quality* is a very speculative theme, and it is almost a daily topic that devotes much attention.

Water is not equally distributed on Earth, so then some people have less water, some have more, and some do not have water at all. Europeans often do not realize this fact and take the intake of edible, clean water as granted. On the other hand, for people in areas where there is extreme drought, the water is literally worth of the gold. People often demand for water and they have a very difficult access to it. Overall, the water consumption is constantly increasing due to the constant increase of population, and it is quite possible that it could be completely used up. Minimally, this decreasing supply of water may be one of the causes of larger global conflicts in the very near future, as because a clean water is, for many countries, a strategic resource.

Nowadays, the water cycle is affected by human activities such as agricultural works and labour in industrial factories. In the past, the natural circumstances were the only influences. Now people release, into rivers and natural waters, substances that pollute water, and its filtration and total reverse cleaning is a very demanding, and sometimes unfortunately impossible process. All substances which are illegally released into the water affect its quality, and therefore there are some nature conservation sources that require regular water quality control.

The aim of this bachelor thesis was to monitor and then evaluate the selected parameters of drinking water quality in Šternberk and its surroundings. Altogether five sources were selected, four of them were taken from nearby wells, and one of the them was taken from a freely available natural resource. These samples were analysed and compared over a one-year period depending on varying weather conditions. All results are presented in the results of this work, including the subsequent discussion of the resulting values.

3 TEORETICKÁ ČÁST

3.1 Voda a její vlastnosti

Voda je nejběžnější kapalinou na zemském povrchu a její specifické vlastnosti umožňují právě život na Zemi. Voda tvoří dvě třetiny povrchu a je tak rozsáhlejší než pevnina. Slaná voda obsažená v oceánech a mořích tvoří 97 % celkového množství, sladká voda pak zaujímá pouhá 3 %. Voda je důležitou a nenahraditelnou součástí lidského života a také podstatnou složkou biosféry. [1] [2]

Voda ve stálých podmínkách jako je standardní tlak a teplota je bez chuti a bez zápachu, stejně jako její pevná forma, již je led. Vodní pára je v podstatě neviditelná jako plyn. Díky transparentnosti vody a následné propustnosti světla do vody v ní mohou žít vodní živočichové. [3]

Molekula vody není lineární, díky tomu má kyslík větší elektronegativitu než vodík a nese slabě negativní náboj, vodík pak slabě pozitivní. Důsledkem je tedy to, že je molekula vody polární s elektrickým dipólovým momentem, což znamená, že v této molekule jsou náboje nerovnoměrně rozloženy. Důležitou vlastností vody je schopnost vytvářet velké mezimolekulární vodíkové můstky, což vede k silným přitažlivým silám mezi samotnými molekulami vody. [2] [3]

Voda je velmi dobrým rozpouštědlem, v chemii často označována jako rozpouštědla univerzální. Látky a některé plyny, které se ve vodě rozpouštějí se nazývají hydrofilní. Mezi látky rozpustné ve vodě patří obecně například soli, cukry, kyseliny a některé plyny jako kyslík a oxid uhličitý. Oproti tomu jsou látky, které se s vodou nemíchají a nejsou v ní rozpustné, tyto látky se nazývají látky hydrofobní. Příkladem mohou být tuky a oleje. [2]

3.1.1 Fyzikální vlastnosti vody

Veškeré chemické a fyzikální vlastnosti vody jsou právě důsledkem stavby její molekuly. Voda je chemická sloučenina jejíž molekula je složena z jednoho atomu kyslíku spojená kovalentní vazbou se dvěma atomy vodíku svírající úhel $104,5^\circ$. Voda se vyskytuje ve všech skupenstvích a může se objevovat v mnoha formách, a to jako pára a mraky na

obloze, v oceánech polární části jako mořská voda a ledovce a v horách rovněž ve formě ledovců a dále ve formě řek. [3]

Teplota

Teplota patří mezi nejdůležitější ukazatele jakosti a vlastnosti vody. I v poměrně úzkém teplotním rozmezí dokáže výrazně ovlivnit chemickou a biochemickou reaktivitu. Biochemické procesy probíhají při nízkých teplotách okolo 0 °C. Například při stanovování amoniakálního dusíku se teplota zvyšuje a následně se při tomto procesu pohybuje v rozmezí 5 °C až 25 °C. [2] [4]

U podzemních vod se v závislosti na ročním období nějak výrazně nemění a pohybuje se v rozmezí od 0 °C až 100 °C. Naopak teplota povrchových vod se se změnou ročního období mění a její změna je následně velmi důležitá pro stanovení přesných kyslíkových poměrů, rychlosti rozkladu organických látek, rychlost biochemických pochodů a celkově proces samočištění. Také je z hlediska vhodnosti prostředí, velmi důležitým ukazatelem pro chov ryb a ostatních vodních organismů. [2]

Nejvhodnější teplota pitné vody se pohybuje v rozmezí 8 °C až 12 °C. Teplejší voda nijak zdraví neohrožuje, pouze neosvěžuje, ale voda, která klesne pod 5 °C může poškozovat gastrointestinální neboli zažívací trakt. U užitkových vod jsou hodnoty o něco málo vyšší a pohybují se v rozmezí 15 °C až 25°C. [2] [5]

Povrchové napětí

Povrchové napětí je dalším významným ukazatelem pro stanovení parametrů vody. Stejně jako teplota do jisté míry ovlivňuje fyzikálně-chemické, a i biologické vlastnosti. Povrchové napětí je vytvoření tenké vrstvy na hladině tak, aby měla kapalina při určitém objemu co nejmenší obsah. Je to efekt přirovnatelný k fólii na vodě, která se snaží, aby povrch tekutiny dosáhl co nejmenší energii. [2] [4]

Snížení povrchového napětí vody má z důvodu špatného průchodu kyslíku do vody nepříznivý vliv na život organismů žijících ve vodě. Toto snížení způsobují povrchově aktivní látky, nazývané také tenzidy. Mohou být dvojího původu, a to přirozeného nebo antropogenního. Povrchově aktivní látky se absorbují pozitivně, naopak negativně se absorbující látky povrchové napětí zvyšují, i když tento opačný jev není nějak výrazný.

Právě měřením povrchového napětí lze odhadem zjistit koncentraci povrchově aktivních látek a vyloučit tak, že snížení povrchové napětí nezpůsobují ještě látky jiné. [2] [6]

Elektrolytická konduktivita

Elektrolytická konduktivita neboli elektrolytická vodivost elektrolytického roztoku je měřítkem schopnosti vést elektrický proud. Jednotkou elektrolytické vodivosti je jeden siemens na jeden metr (S/m), ale její hodnota je obvykle velmi nízká, a proto se udává v mS/m nebo $\mu\text{S/m}$. Konduktivita se označuje řeckým písmenem κ . [4]

Stanovování elektrolytické vodivosti se běžně používá v průmyslových a environmentálních oblastech jako rychlý, levný a spolehlivý ukazatel při měření celkového iontového zastoupení prvků ve vodě a také celkovou mineralizaci vody. [2] [4]

Konduktivita roztoku závisí na základních parametrech jako je koncentrace iontů a jejich náboji, na pohyblivosti a teplotě. Významným postupem při měření je temperování vzorku, neboť už při změně teploty o 1 °C se konduktivita změní nejméně o 2 %. Čistá voda má poměrně nízkou vodivost. Vodivost se začíná zvyšovat s rozpuštěným přídavkem iontového materiálu jako například chloridu sodného. [3]

3.1.2 Druhy vod

Druhy vod se rozdělují do tří kategorií, a to podle výskytu, původu a podle použití dané vody. Podle výskytu se vody rozdělí na atmosférické, podzemní a povrchové. Podle původu se dělí na přírodní a odpadní, které se pak dále dělí na splaškové a průmyslové. Dle použití se vody dělí na pitnou, odpadní, užitkovou a provozní. [4]

3.1.2.1 Atmosférické vody

Atmosférické vody patří do vod rozdělených podle výskytu. Do skupiny atmosférických vod se řadí všechny vody v ovzduší. Při kondenzaci vodních par vznikají tzv. srážky, které se dělí na srážky kapalné, kterými může být déšť, mlha nebo rosa a na srážky tuhé, kterými jsou sníh, námraza a kroupy. [2] [6]

Formování chemických srážek se dělí na dva způsoby, a to na proces vymývání aerosolů v oblaku a proces vymývání pod oblakem, kdy při vymývání srážek pod oblakem závisí na úhrnu srážek, jejich dobu trvání a intenzitě. Spodní vrstva neznečištěné

atmosféry obsahuje 78,09 obj.% dusíku, 20,95 obj.% kyslíku, 0,93 obj.% argonu, 0,03 obj.% oxidu uhličitého a dále obsahu prvky jako neon, helium, methan, krypton, oxid dusný, vodík, ozon, xenon, a to v klesajícím množství. [6]

V atmosféře se dále vyskytují látky, které atmosféru znečišťují a objevují se ve všech skupenstvích. Dělíme je na látky přírodní, které vznikají působením sopek, exhalací z půdy, minerálů, pylů. Dále jsou to látky antropogenní, které jsou způsobeny spalování paliv, emise z průmyslových závodů a dalšími vlivy, které každodenně znečišťují atmosféru. [2] [6]

V porovnání s atmosférickými srážkami, které nejsou antropogenně znečištěny, obsahují hodnotu celkové mineralizace v rozmezí pod 10 mg/l. Naopak u srážek antropogenně znečištěných je hodnota celkové mineralizace v desítkách mg/l. Dále srážky znečištěné obsahují anionty síranů a dusičnanů. Srážky neznečištěné, nacházející se v přímořských oblastech obsahují především anionty chloridů a kationty sodíku a amonné kationty. [6]

Významným zdrojem pro zemědělství a také pro vodní floru je obsah nutrientů N a P ve srážkových vodách. Dále jsou tyto vody, díky celkové atmosférické depozici nutrientů, významným zdrojem kovů toxických a ostatních látek. Srážkové vody jsou hlavní příčinou acidifikace povrchových vod, protože jsou jejich velkým zdrojem znečištění. [2] [6]

3.1.2.2 Druhy vod podle jejich výskytu

Podzemní voda

Podzemní voda je voda nacházející se pod zemským povrchem. Dle chemického složení se podzemní vody dělí na vody prosté a minerální. Prostá voda je voda kapalná s nízkým obsahem rozpuštěných látek, nesplňující podmínky pro vodu minerální. Vyskytuje se na místech obsahující póry a pukliny, kde je horninové prostředí vodu schopno přijmout i odevzdat. Tento jev je možný díky tzv. hydraulickému gradientu. [2] [4]

Výsledkem působení vod srážkových a povrchových vzniká chemické složení podzemních vod. Složení podzemních vod závisí nejen na složení těchto vod, ale také na složení půd a hornin, kterými voda v dané oblasti protéká. [2]

Oběh podzemní vody

Celý oběh neboli koloběh neboli hydrologický cyklus podzemní vody je stálý oběd vody podzemní a povrchové a je ovlivňován skupenstvím. Tento hydrologický cyklus je rozdělen do třech oblastí, a to oblast infiltrace, oblast akumulace a proudění a oblast odvodnění. [5]

Oblastí infiltrace je chápáno vsakování vody, srážek přes propustné prostředí do půdy a horninových oblastí. K největším změnám v objemu vody, která prosakuje přes povrch patří průchod před tzv. *nesaturované pásmo*, kde voda proniká vertikálně skrz propustné horniny. Infiltrace je nejdůležitějším způsobem při vzniku podzemní vody, kdy je infiltrací zásoba podzemních vod dotována, a takto zvýšena hladina podzemní vody a následně umožněn potenciál k tomu, aby voda mohla bez komplikací proudit. Takto infiltrovaná voda pak proniká hlouběji až k hladině podzemní vody, k tzv. pásmu saturace, kde se vertikální průtok vody změní na horizontální ve směru hydraulického gradientu. [4] [5]

Oblast akumulace a proudění podzemních vod je umožněno díky porozitě horninového prostředí. Porozita může být rozdělena podle typu hornin na prūlinovou, puklinovou, krasovou a kombinovanou. Všechny tyto typy jsou kolektory, neboť umožňují průtok skrz horniny a jsou schopny tuto vodu přijmout a umožnit jí celkový pohyb. Zvodní se rozumí voda, která se vyskytuje ve zvodněné části kolektoru. Protikladem kolektorů jsou izolátory, které plní opačnou funkci. Jsou schopny vodu pouze přijmout, ale neumožní jí další pohyb. [2] [5]

Odvodňování má naproti infiltraci vzestupný hydraulický gradient. Tuto oblast rozdělujeme na přirozenou a umělou. Přirozenou oblast tvoří pramení vývěry, hlavní oblastí přirozené části je drenážní báze vodního toku. Na základně delší doby sledování teploty vody, vydatnosti a chemismu vody je možno zjistit typ pramenu. V drenážní bázi dochází dále ke skrytým přítokům podzemní vody. Umělou oblast tvoří zejména vody pro zásobu, jak pro zásobování obyvatelstva, tak zásoby různých dolů. [2] [5] [6]

Povrchová voda

Povrchové vody jsou veškeré vody volně se vyskytující na zemském povrchu. Tento charakter povrchové vody neztrácejí, pokud protékají přechodně zakrytými úseky, přirozenými dutinami pod zemským povrchem nebo v nadzemních vedeních. [6]

Povrchová voda se nachází v jezerech, ve veškerých tocích, bažinách, mokřinách, ledovcích a nádržích. Tyto vody se dělí na vody kontinentální, které mohou být buď stojaté nebo tekoucí a na vody mořské. Tyto vody mají teplotu proměnlivou, v závislosti na změně ročního období. Ve stojatých vodách, které se vyskytují v jezerech a v nádržích dochází ke změnám oxidačně-redukčního potenciálu díky časovým změnám. Velkým problémem stojatých vod je proces eutrofizace a acidifikace. [2] [4]

Kvantitativně se povrchové vody od podzemních velmi neliší. Povrchové vody obsahují větší zastoupení koncentrace kyslíku, látek nerozpuštěných, sloučenin dusíku a fosforu a také obsahuje větší zastoupení látek organických. Naopak oproti vodám podzemním obsahují méně oxidu uhličitého, železa, manganu a mají menší celkovou mineralizaci. Mezi důležitý ukazatel jakosti povrchové vody patří hodnota biochemické spotřeby kyslíku (BSK₅). [2]

Povrchové vody jsou využívány opakovaně, zejména průmyslovou a komunální sférou. Při veškeré manipulaci s povrchovou vodou je nutno dodržet celkovou čistotu vod, jak při odběru, tak při zpětném vypouštění. Důvodem je udržování celkově čistého stavu vod a nenarušení toků případnými znečišťujícími látkami. Jak znečištěné látky na povrchu, tak látky vyskytující se ve vodě mají negativní vliv na kvalitu vod, v případě znečištění vody látkami těkavými může mít negativní důsledek i v širším okolí. [2] [7]

Minerální voda

Minerální vody vznikají z prostých vod podzemních. Jde o vody z přírodních zdrojů. Jde o tzv. roztoky chemických látek, kdy je překročen limit určitých parametrů jako překročení hranice minerálních látek, větší teplota nebo větší radioaktivita. Formování těchto vod je také důsledkem interakce mezi různými typy hornin a vedlejších činitelů, jako například různé geneze v geotektonických režimech. [2] [8]

Podle ČSN 86 800 se minerální vody dělí na přírodní minerální vody, přírodní léčivé vody a přírodní minerální vody stolní. Vody, vyskytující se v přirozených nebo jímaných zdrojích a hodnota rozpuštěných látek je více než 1 g.l^{-1} a hodnota CO_2 je rovněž více než 1 g.l^{-1} jsou vody přírodní minerální. Přírodní vody léčivé jsou vody, které mají vědecky prokázané léčivé účinky a mají vhodné fyzikální a chemické vlastnosti. Vody, které jsou svými chemickými a fyzickými vlastnostmi vhodné jako osvěžující nápoje, obsahují nejméně 1 g.l^{-1} volného CO_2 a nejvýše 6 g.l^{-1} rozpuštěných tuhých látek jsou vody minerální stolní. [2] [8]

Minerální vody se z hlediska způsobu vytváření dělí na minerální vody kontinentálního původu, fosilní mořské vody a vody ropného původu. Vody minerální, které jsou kontinentálního původu jsou tvořeny během hydrologického cyklu podzemní vody, která je doplňována průtokem z povrchu země. Fosilní vody jsou vody vzniklé uzavřením mořské vody, které již dále nepropustí sedimenty obsahující vyšší obsah chemických látek, jako jsou jodidy, bromidy a soli. Posledním typem jsou vody ropného původu, které jsou tvořeny mořskou vodou vytěsněnou z organických zbytků a obsahující větší množství síranů. [4]

3.2 Anorganické látky ve vodách

Anorganické látky vyskytující se ve vodách jsou členěny podle chemické podobnosti. Všechny formy výskytu závisí na určitých parametrech jako jsou pH, oxidačně-redukční potenciál a komplexotvorné reakce. Anorganické látky ve vodách se mohou vyskytovat ve třech různých formách, a to ve formě kationtů, aniontů a v neiontové formě. Příkladem kationtů vyskytujících se ve vodách mohou být prvky jako vápník, hořčík, sodík, draslík a dusík ve formě amoniaku. Hydrogenuhlíčitany, sírany, dusitany, dusičnany, fosforečnany, chloridy a fluoridy jsou možné vyskytující se anionty a příkladem neiontové formy je křemík a bor. Podle elektronické konfigurace dělíme anorganické látky na kovy, polokovy a nekovy. [2]

3.2.1 Kovy a polokovy ve vodách

Kovy a polokovy se ve vodách vyskytují zcela přirozeně a většinu z nich lze díky závislosti na geologickém prostředí ve vodě prokázat. Při posuzování znečištění vody lze (polo)kovy rozlišit na těžké a esenciální. Těžké kovy jsou takové, kdy se jejich soli za

vzniku málo rozpustných sulfidů srážejí se sulfidem sodným. Synonymem k vyjádření těžkých kovů mohou být také kovy toxické, což však může při identifikaci určitých kovů vést k mylnosti. V praxi jsou tyto dva termíny rozlišné a doporučuje se tyto dva termíny rozlišovat. Pojem těžké kovy lze použít v případě, kdy jsou od sebe rozlišovány kovy s rozdílným chemickým a biologickým chováním, jako například rozlišení kationtů kovů sodíku, draslíku, vápníku a hořčíku. Esenciální kovy mají význam při biologických funkcích. I přes to, že ve větším množství jsou toxické, jsou součástí biomasy organismů. Jako esenciální kovy jsou považovány prvky vápníku, hořčíku, draslíku, zinku, kobaltu a mnoho dalších. [2] [9]

Kovy a polokovy jsou ve vodách ve formě rozpuštěné i nerozpuštěné. Většina kovů se v přírodě objevuje vázaně, pouze některé, jako je například zlato, stříbro, platina a rtuť se vyskytují volně. Dále se vyskytují ve formě kationtů, aniontů, komplexních aniontů nebo ve formě neutrálních molekul. Podle výskytu určitého kovu se určuje toxicita. [2] [9] [10]

V povrchových vod jsou zdrojem těžkých kovů průmyslová odvětví jako je například těžba rudy, zpracování železa, sklářský průmysl, fotografický průmysl. Dalšími zdroji, které mohou být ve výsledku velmi významnými mohou být exhalace. Obsah kovů ve vodách je ovlivněn nejen chemickými procesy, ale také fyzikálně-chemickými. Mezi fyzikálně-chemický vliv patří absorpce, neboť koncentrace kovů ve vodách závisí na absorpční rovnováze. V důsledku vyskytujících se sedimentů může koncentrace značně kolísat. [2] [10]

Železo

Železo je na Zemi nejrozšířenějším prvkem. Nejvíce rozšířenou formou železa je sestupně *pyrit* (FeS_2), *krevel* (Fe_2O_3), *magnetovec* (Fe_3O_4), *limonit* ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) a *siderit* (FeCO_3). V malém množství se pak železo může vyskytovat jako součást přírodních hlinitokřemičitanů, v rudách jiných kovů, v půdě, v minerálních vodách i v krvi živočichů ve formě hemoglobinu. [2] [10] [11]

Ve vodách se železo vyskytuje v oxidační stupni II a III. Ve II oxidačním stupni se železo vyskytuje v bezkyslíkatém redukčním prostředí podzemních vod a u povrchových vod u dna jezer a nádrží. Ve III oxidačním stupni je železo ve vodách, které obsahují

kyslík a je tak nejstabilnější formou. Významnou formou železa je hydratovaný oxid železnatý, který je bílý a stálý v anoxických podmínkách. Tento oxid se dle rozpustnosti liší na dva typy, a to amorfni nebo krystalický. Reakcí s kyslíkem ve vodě se mění na hydratovaný oxid železitý, který je lehce rozpustný v kyselinách a v přírodě se nachází jako nerost *limonit*. [2] [11]

Železo, které se ve vodách vyskytuje ve větším množství způsobuje technické a hygienické problémy. Technické závady z důvodu styku s materiály jako je papír, keramické materiály a potraviny a následném žlutohnědém zbarvení těchto materiálů. Z hygienického hlediska ovlivňuje barvu, chuť a zákal. Tyto tzv. organoleptické vlastnosti jsou ovlivněny koncentrací železa vyšší než 0,5 mg.l⁻¹. Už při malém překročení doporučené hodnoty koncentrace vznikají tzv. železité bakterie, které ucpávají potrubí a voda po jejich úmrtí následně zapáchá. [2]

Také z důvodu chovu ryb je železo ve větší koncentraci závadné. Železo v oxidačním stupni II se oxiduje a hydrolyzuje na žábrech ryb, a to v celkovém výsledku působí negativně, a to udušením ryb kvůli následné neprůchodnosti kyslíku, které živočichové potřebují k dýchání. Kvůli tomu je obsah koncentrace v oblastech, kde se ryby a vodní živočichové vyskytují, omezen na 0,1 mg.l⁻¹. [2]

Spektrofotometrické stanovení železa

Jednotlivé formy železa lze stanovit podle způsobu odběru a druhu předúpravy. Pro stanovení železa se používá metod jako je atomová absorpční spektrometrie, optická emisní spektrometrie s indukovaně vázanou plazmou a molekulová absorpční spektrometrie, která se využívá nejvíce. Povolený obsah železa dle vyhlášky 252/2004 Sb. ve vodách je 0,2 mg.l⁻¹. [10] [12] [13]

Mangan

Mangan je hned po železe druhým nejrozšířenějším prvkem na Zemi. Vyskytuje se v mnoha sloučeninách jako je *pyrolusit* (MnO₂), *braunit* (M₂O₃), *manganit* (MnO(OH)), *hausmanit* (Mn₃O₄), *dialogit* (MnCO₃) a *blejno manganové* (MnS). Dále se vyskytuje ve vodách a v rostlinách. [11]

Ve vodách se mangan vyskytuje ve formě rozpuštěné i nerozpuštěné. Běžně doprovází železo, zejména v přírodních vodách. Objevuje se v různých oxidačních stupních jako II, III a IV. Nejrozšířenější je však mangan v oxidačním stavu II. Ostatní oxidační stupně jsou možné, ale v samotných vzorcích vody se prakticky vůbec nevyskytují. Celková koncentrace manganu ve vodách za anoxických podmínek je limitována rozpustností uhličitanu, sulfidu nebo nějakého hydroxidu. Vzhledem k tomu je koncentrace manganu ve většině přírodních vod dána rozpustností uhličitanu manganatého (MnCO_3). Pokud je koncentrace manganu ve vodách vyšší, většinou je vyšší i koncentrace železa. [2] [10]

V oxidačním stupni II je mangan ve vodách, které obsahují kyslík, nestabilní. V alkalickém prostředí je snadno hydrolyzován a oxidován a v důsledku jsou vylučovány oxidy manganu v oxidačních stupních III a IV. Složení konečných produktů celé oxidace závisí na hodnotách pH, oxidačně-redukčním potenciálu, teplotě a celkové reakční době. Schéma oxidace Mn^{II} je obecně zapisováno jako:



Manga i železo podléhají oxidaci, avšak manga je vůči tomuto procesu více odolnější, naopak redukci podléhá rychleji než samotné železo. [1] [2]

Mangan je v mnoha vlastnostech podobný železu. Pro živočichy a rostliny je nezbytnou součástí. Organoleptické vlastnosti vody ovlivňuje ve větší míře než železo. Ve vodách je v přístupných koncentracích nezávadný, avšak při vyšších hodnotách koncentrace může ovlivnit chuť a barvu. Proto jsou koncentrace manganu limitovány na $0,05 \text{ mg.l}^{-1}$. Stejně jako u železa vznikají bakterie daného prvku, v případě manganu vznikají při biochemických reakcích bakterie manganové, které mohou zarůstat na potrubích. Z tohoto důvodu je mangan škodlivější než železo a jeho hodnota koncentrace je proto více limitována. Mezní hodnota pro mangan činí $0,05 \text{ mg.l}^{-1}$. [2] [12] [14]

Vápník a hořčík

Vápník a hořčík jsou prvky II. hlavní podskupiny v periodické soustavě prvků. Do vody se dostávají rozkladem vápenatých a hořečnatých hlinitokřemičitanů nebo rozpuštěním různých sloučenin obsahující vápník nebo hořčík jako například vápenec, dolomit, magnezitu a podobně. Dalším zdrojem těchto prvků může být zdroj antropogenní, a to

zdroj odpadních průmyslových vod z provozů, ve kterých jsou kyseliny neutralizovány vápnem, vápencem, magnezitem nebo dolomitem. Také při odkyselování jsou vody o hořčík a vápník výrazně obohacovány. [2] [11]

Vápník je pátým nejrozšířenějším prvkem na Zemi. Volně v přírodě se vyskytuje ve sloučeninách jako *vápenec* (CaCO_3), *sádrovec* $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, *anhydrid* (CaSO_4) a dále jako *fluorit* (CaF_2) a *apatiti* ($\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3$). Hořčík je hned za vápníkem, tedy šestým nejrozšířenějším prvkem na zemském povrchu. Nejběžnější sloučeninou hořčíku je minerál *dolomit* ($\text{MgCa}(\text{CO}_3)_2$). Dále se vyskytuje ve sloučeninách jako *magnezit* (MgCO_3), *epsomit* ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) a *karnalit* ($\text{KCl} \cdot \text{MgCl}_2$). Hořčík se může vyskytovat i ve sloučeninách křemičitanů jako jsou *olivín* ($(\text{MgFe})_2\text{SiO}_4$), *mastek* ($\text{Mg}_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$) a *azbest* ($\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$). Jak pro člověka, tak pro rostliny a další živočichy je hořčík nezbytným biogenním prvkem. V rostlinách je hořčík v pofrinovém komplexu součástí barviva chlorofylu. U lidí se nedostatek hořčíku projevuje zvýšenou únavou, nevolností, a dokonce vede až ke stavu bezvědomí. [1] [11]

Vápník je ve vodách zastoupený ve větším množství než samotný hořčík. Je to v důsledku toho, že hořčík je na Zemi zastoupený až po vápníku. Je mimo vápník využívám rostlinami, dochází u něj, při styku s vodou s některými typy hornin, k sorpci a výměně iontů. Koncentrace vápníku v prostých podzemních a povrchových vodách je až několikanásobně vyšší než koncentrace hořčíku. U vod minerálních se rozdílnost v koncentracích těchto prvků snižuje. Jen výjimečně obsahují vody více hořčíku než vápníku. [2]

V hydrochemii se spjitost vápníku a hořčíku označuje jako tzv. tvrdost vody. Tento výraz však neodpovídá správnému popisu vlastnosti vody. Je obtížné různé druhy tvrdosti vody přesně definovat. Neboť chemické a biologické vlastnosti vápníku a hořčíku jsou odlišné, nemůže být pojem *tvrdost vody* užíván. Při stanovování vápníku a hořčíku se hodnotí vliv těchto prvků vždy samostatně. Avšak z hlediska tradičních důvodů je tento termín používán. Stanovuje se vždy celková suma vápníku a hořčíku a toto stanovení patří k nevýznamnějším ukazatelům rozboru vod. [2] [15] [16]

Koncentrace hořčíku jsou limitovány na $10 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ a povolená hodnota koncentrace vápníku má mezní hodnotu $30 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$. Oba prvky hrají významnou roli při posuzování agresivních nebo inkrustačních účinků vod. Vápník a hořčík tvoří málo rozpustné soli

a mají schopnost srážet roztoky mýdla. Přidáním určitých komplexometrických látek do pracích prostředků se tato schopnost redukuje. Hořčík a vápník nejsou z hygienického hlediska nějak významnými prvky. Vody s vysokým obsahem těchto prvků jsou nevhodné k přípravě pokrmů a nápojů jako je čaj a káva. Laxativní účinky se objevují při zvýšené koncentraci hořčíku a síranů. [2] [12] [16]

3.2.2 Nekovy ve vodách

Fluor

Fluor se v přírodě vyskytuje ve formách minerálů jako je *kazivec* (CaF_2), *kryolit* (Na_3AlF_6), *fluorapatit* ($\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$) a jako *topaz* ($\text{Al}_2(\text{SiO}_4)\text{F}_2$). Dále se v menším množství vyskytuje v žulách a slídách. Při procesu jako je vyluhování a zvětvávání se takto fluor dostává do vod podzemních. Dalším zdrojem tohoto prvku mohou být odpadní vody nebo exhalace průmyslů, jako chemického a sklářského. [2] [11]

Ve vodách přírodních a užitkových se fluor vyskytuje s koncentrací do 1 mg.l^{-1} . Ve vodách průmyslových odpadních se koncentrace fluoru může zvyšovat. Limitní hodnota fluoru ve vodách pitných je maximálně $1,5 \text{ mg.l}^{-1}$. Obsah fluoridů se stanovuje fotometricky se zirkonalizarinem nebo iontově selektivní metodou. Záleží na formě tohoto prvku, zda se jedná o rozpuštěnou nebo nerozpuštěnou formu, podle toho se následně určí metoda stanovení. [12] [16]

Fluor je nejsilnějším oxidačním činidlem a je prvkem velmi reaktivním. Získává se pomocí elektrolytických metod. Nejčastěji se získává elektrolýzou taveniny $\text{KF} : \text{HF}$, která je v poměru 1 : 1 až 1 : 3. Proces elektrolýzy probíhá v nádobách, které jsou vyrobeny z čistého niklu nebo z Monelova kovu s ocelovou katodou, anodou z uhlíku a oddělenými elektrodoými prostory, při teplotách v rozmezí od $72 - 240 \text{ }^\circ\text{C}$. [11]

Chlor

Chlor se může volně vyskytovat v mnoha formách jako je *kamenná sůl* (NaCl), *sylvín* (KCl), *karnalit* ($\text{KCl} \cdot \text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) nebo jako *kainit* ($\text{KCl} \cdot \text{MgSO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$). Dále se může objevovat v podvojných formách některých kovů alkalických zemin. Kapky, které jsou v oblasti mořských vod strhávány do ovzduší, mohou být dalším zdrojem přírodně se vyskytujícího chloru. [2] [11]

Z forem organických se chlor ve vodách vyskytuje ve formách chloridů, elementárního chloru, chlornanů, chloraminů a kyselině chlorné. Nejrozsaňhlejší formou jsou však chloridy, které patří mezi základní anionty přírodních vod. Ostatní formy nejsou běžnou složkou vod, ale jsou důležitým ukazatelem při stanovování vod. [10] [16]

Chlor je stejně jako fluor vyráběn elektrolyzou. Při výrobě hydroxidu sodného je v procesu elektrolyzy získáván jako vedlejší produkt. Elektrolytem neboli roztokem vedoucí elektrický proud je solanka. Solanka je téměř zcela nasycenou formou chloru. Elektrody používané při elektrolyze jsou vyrobeny z uhlíku (*anoda*) a oceli (*katoda*). Prostory mezi elektrodami jsou stejně jako při elektrolyze fluoru odděleny. [11]

Ze zdravotního hlediska jsou chloridy nezávadné, zvýšený obsah však ovlivňuje chuť vody. Limitní hodnota chloridů pro pitnou vodu je dle vyhlášky stanovena na 100 mg.l⁻¹. Chlor je důležitým oxidačním činidlem. Ve vodách je chemicky i biologicky stabilním prvkem, proto je občas využíván jako tzv. stopovač při průzkumu podzemních vod nebo průmyslové kanalizace. [2] [12]

Dusitany

Dusitany se nevyskytují ve formách minerálů. Vyskytují se jako meziprodukt biologických procesů jako je redukce dusičnanů nebo biochemická oxidace amoniakálního dusíku, tzv. nitrifikace. Odpadní vody, které jsou důsledkem procesů při výrobě barviv, mohou být bohatým zdrojem dusitanů. Ve vodách čistě přírodních se dusitany vůbec nevyskytují. [2] [10] [16]

Ze zdravotního hlediska je vyšší obsah dusitanů závadným, protože způsobuje methemoglobinaemii, což je zvýšená koncentrace methemoglobinu v krvi, která vede k neprůchodnosti kyslíku do tkání v organismu, které jej životně potřebují. Z tohoto důvodu je mezní hodnota pro dusitany pro pitnou a teplou vodu stanovena na 0,5 mg.l⁻¹. Proto patří dusitany k velmi důležitým ukazatelům při rozboru vod. Dusitany jsou dále, obdobně jako amoniakální dusík, indikátory fekálního znečištění vod. Ve vodách podzemních a povrchových není obsah dusitany nějak významný, až se vzrůstem jejich koncentrace mohou být závadné. Vyšší koncentrace dusitanů může dále působit toxicky na výskyt ryb. Tento parametr však závisí na celkovém složení vody. [2] [12] [16]

Ve vodách mohou být dusitany snadno oxidovány nebo redukovány a jsou velmi nestabilní. V oxických podmínkách dochází k procesu nitrifikace, v podmínkách anoxických k procesu biologické denitrifikace. Z tohoto důvodu můžou být dusitany lehce prokázány již v nízkých koncentracích meziprojektu chemických a biologických procesů. [2]

Dusičnany

Dusičnany jsou soli kyseliny dusičné. Ve vodách se vyskytuje následkem jejich používání v zemědělství ve formě hnojiv. V různých koncentracích se objevují se ve všech typech vod. Atmosférické srážky mohou být dalším zdrojem dusičnanů. Obdobně jako dusitany mohou také vznikat při nitrifikaci amoniakálního dusíku. Avšak v minerálech se dusičnany nevyskytují. [2] [10] [16]

Dusičnany patří mezi čtyři hlavní anionty při analýze vod. V důsledku vzrůstu počtu obyvatel souběžně roste také jejich koncentrace ve vodách. Mezní hodnota koncentrace dusičnanů pitné vody je 50 mg.l⁻¹. Ve vodách minerálních je jejich koncentrace stopová až žádná, proto se v těchto vodách často ani nestanovují. [2] [12]

V oxických podmínkách jsou dusičnany stabilní, jsou konečným produktem mineralizace vázaného dusíku. Naproti tomu, v podmínkách anoxických jsou nestabilní a podléhají denitrifikaci za vzniku oxidu dusného. Ve vodě v přítomnosti a působení železa ve druhém oxidačním stupni ve formě oxidu nebo hydroxidu, může docházet kromě biochemické redukci také k redukci chemické. [2]

Ze zdravotního hlediska jsou dusičnany samy o sobě nezávadné. Může ovšem, v důsledku bakteriální činnosti v gastrointestinálním traktu, docházet k redukci dusičnanů na toxické dusitany, které se z těla nevyklučují tak lehce jako nezredukované dusičnany, které se snadno a relativně v krátkém čase vylučují močí. [2] [10]

Fosforečnany

Fosfor se do vod dostává v důsledku rozpouštění a vyluhování určitých minerálů nebo při procesu zvětvávání vyvřelých i metamorfovaných hornin. V přírodě se vyskytuje právě ve formě fosforečnanů. Mezi minerály fosforu patří nejznámější *apatit* ($[3Ca_3(PO_4)_2 \cdot Ca(F,Cl)_2]$), dalšími minerály jsou *variscit* ($AlPO_4 \cdot 2H_2O$), *strengit*

($\text{FePO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) a *vivianit* ($[\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}]$). Mezi další zdroje fosforečnanů mohou patřit antropogenní zdroje, jako jsou aplikace fosforečných hnojiv. Dalším zdrojem je odtok odpadních vod při praní, kdy jsou fosforečnany obsaženy v pracích prostředcích. Organickými zdroji fosforu jsou například živočišné odpady, ve kterých je obsažen organický fosfor, dále rozkládající se biomasa fytoplanktonu a zooplanktonu. [2] [11]

Fosfor se ve vodách vyskytuje v organických i anorganických sloučeninách. Z anorganických sloučenin jsou nejčastější ortofosforečnany, minoritně pak polyfosforečnany. Z organických sloučenin jsou to fosfáty hexos, fosfoproteiny, koenzymy ADP a ATP, organofosforové pesticidy. [16]

Ze zdravotního hlediska není koncentrace fosforečnanů nějak významná a obecně nejsou fosforečnany zdravotně závadné. Limitní hodnota pro pitnou vodu dle vyhlášky z roku 2004 je $3,5 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$. V předchozích letech dokonce koncentrace fosforečnanů limitována nijak nebyla. Vyšší obsah fosforečnanů může indikovat pouze určité fekální znečištění vody. [10] [12]

Sírany

Sírany se vyskytují v podzemních, povrchových i minerálních vodách. Síra se v přírodě vyskytuje v různých podobách. V podobě síranů jako *sádrovec* ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) a *baryt* (BaSO_4), v podobě sulfidů jako *sfalerit* (ZnS), *galenit* (PbS) a *pyrit* (FeS_2). Dále se vyskytuje v atmosféře jako H_2S a SO_2 a jako biogenní prvek, který je součástí aminokyselin jako například cysteinu a methioninu. [11]

Ve vodách je redukce síranů, kdy konečným produktem je sulfan a jeho iontové formy, proces převážně biochemický. Naproti tomu oxidace, ve které jsou konečným produktem sloučeniny síry, může být procesem jak biochemickým, tak také chemickým. V průběhu oxidace vznikají meziprodukty jako elementární síra, thiosírany, siřičitany, polysulfidy. Rychlost oxidační reakce závisí na parametrech jako je teplota, hodnota pH, počáteční koncentrace sulfidů a na katalytickém účinku kovů a některých organických látek. Oxidace probíhá snadněji v prostředí alkalickém. [2]

Toxicita síry závisí na konkrétní sloučenině síry, jelikož některé sloučeniny mohou být jedovaté, některé nemusí být naopak toxické vůbec. Koncentrace síry v pitné vodě je legislativou omezena na 250 mg.l^{-1} . Větší koncentrace síry ve vodách pouze změni chuť vody a může mít projímavé účinky. Více zdravotně závadná vyšší koncentrace síry není. [12] [16]

Amoniakální dusík

Amoniakální dusík neboli čpavek se ve vodách vyskytuje v disociované i v nedisociované formě. Poměr těchto dvou vyskytujících se forem závisí na hodnotě pH. Amoniakální dusík vzniká jako primární produkt při rozkladu organických dusíkatých látek živočišného původu. Antropogenním zdrojem jsou vody odpadní splaškové, dusíkatá hnojiva, průmyslové exhalace. V různých koncentracích se vyskytuje ve většině druhích vod. [2] [10]

V analýze vod patří stanovení amoniakálního dusíku k hlavním ukazatelům kvality vody. Mezní koncentrace této formy dusíku je stanovena na $0,5 \text{ mg.l}^{-1}$. Ve vodách se vyskytuje jako kationt NH_4^+ a v neiontové formě jako NH_3 , kdy se při analýze stanovují obě formy současně, což umožní zjištění celkového obsahu amoniakálního dusíku, který je roven součtu koncentrací dusíku amonného a dusíku amoniakového. [2][10] [12]

Vzhledem k tomu, že patří amoniakální dusík k primárním produktům při rozkladu organických dusíkatých látek, je z hygienického hlediska velice významným parametrem. Ve stanovené koncentraci nemá vliv na lidské zdraví. Větší obsah amoniakálního dusíku ve vodách může být toxická pro ryby a další vodní živočichy. Tento parametr je však závislý na hodnotě pH vody, protože toxický není ion NH_4^+ , ale molekula NH_3 . [2]

3.3 Organické látky ve vodách

Organické látky se mohou ve vodách vyskytovat dvojího typu, a to organické látky přírodní nebo antropogenní. Půdní humus, rašelinný humus, výluhy z listů, produkty životních činností rostlin, bakterií a všech živočišných organismů jsou látky řadící se mezi přírodní organická znečištění. Ze splaškových a průmyslových odpadních vod pochází pak organické látky antropogenní. [2]

Organické látky vyskytující se ve vodách mohou mít negativní chemické i biologické vlastnosti jako například jejich výskyt může mít karcinogenní, mutagenní nebo alergenní účinky v případě požití takto znečištěné vody. Můžou ovlivňovat barvu, chuť a pach vody. V případě vylití ropy nebo oleje do vody a následnému vytvoření tenkého filmu na hladině může dojít k neprůchodnosti kyslíku do vody a následnému udušení vodních živočichů. V přítomnosti tenzidů může ovlivňovat pěnivost vody. [2]

Stanovení organických látek ve vodách se provádí různými metodami jako například stanovení chemické spotřeby kyslíku, stanovení organického uhlíku a stanovení biochemické spotřeby kyslíku. Při analýze se metody soustředí jen na vybrané skupiny organických látek, které mohou negativně ovlivnit složení vody a následně ovlivnit působení této vody na člověka a jiné organismy. [2] [10]

3.3.1 Organické látky ve vodách - BSK

Biochemická spotřeba kyslíku

Biochemická spotřeba kyslíku nese zkratku BSK. Je definována jako *hmotnostní koncentrace rozpuštěného kyslíku spotřebovaného za stanovených podmínek biochemickou oxidací organických, popř. anorganických látek ve vodě. Vyjadřuje se v mg.l⁻¹. [10]*

Stanovení biochemické spotřeby kyslíku i přes všechny jeho nedostatky, se stejně jako stanovení chemické spotřeby kyslíku, řadí mezi základní parametry při analýze vod. Slouží k posouzení účinku biologického čištění odpadních vod a také jako vyhodnocení biologické rozložitelnosti látek organických. Pro stanovení BSK u povrchových vod se ve vodě vyskytuje značné množství mikroorganismů, které jsou při tomto stanovení velmi nezbytné. V případě nedostatku těchto biologických mikroorganismů se musí voda dodatečně inokulovat, aby byla analýza možná. Proces stanovení BSK je časově náročný, záleží na době inkubace a trvá přibližně 20 dní. [2]

4 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

4.1 Použité přístroje

- Konduktometr inoLab Cond Level 2 – firma WTW (Německo)
- pH metr inoLab Cond Level 2 – firma WTW (Německo)
- Digitální byreta – Titronic 96 (Německo)
- Spektrofotometr Unicam Helios alpha (USA)
- Iontový chromatograf 940 Professional IC Vario (Švýcarsko)

4.2 Použité chemikálie

Tabulka č.1.: Použité chemikálie včetně uvedených výrobců

Látka v čistotě p.a.	Výrobce
Formaldehyd roztok 36 – 38 %	Lachema, a.s. (ČR)
Kyselina fosforečná	Lachema, a.s. (ČR)
Eriochromčern T	Lachema, a.s. (ČR)
Dichlorisokyanuratan sodný	Lachema, a.s. (ČR)
HSN	Lachema, a.s. (ČR)
Hydroxid amonný	Lachema, a.s. (ČR)
Hydroxid sodný	Lachema, a.s. (ČR)
Hydroxylaminhydrochlorid	Lachema, a.s. (ČR)
Chelatonát hořečnato-dvojsodný	Lachema, a.s. (ČR)
Chlorid amonný	Lachema, a.s. (ČR)
Chlorid draselný	Lachema, a.s. (ČR)
Kyselina dusičná	Lachema, a.s. (ČR)
Kyselina chlorovodíková	Lachema, a.s. (ČR)
Kyselina octová	Lachema, a.s. (ČR)
Salicylan sodný	Lachema, a.s. (ČR)
Šťavel draselný	Lachema, a.s. (ČR)
Síran železnatoamonný hexahydrát	Lachema, a.s. (ČR)

Tabulka č.1.: Použité chemikálie včetně uvedených výrobců

Látka v čistotě p.a.	Výrobce
Sířičitan sodný	Lachema, a.s. (ČR)
NED dichlorid	Merck, s.r.o. (Německo)
1,10 – fenantrolin	Merck, s.r.o. (Německo)
Peroxodisíran draselný	Merck, s.r.o. (Německo)
Octan amonný	Lach-Ner, s.r.o. (ČR)
Na ₂ EDTA	Lach-Ner, s.r.o. (ČR)
Citronan trisodný dihydrát	Lach-Ner, s.r.o. (ČR)
Fluorid sodný	Lach-Ner, s.r.o. (ČR)
Kyselina sírová	Lach-Ner, s.r.o. (ČR)
Kyselina šťavelová	Lach-Ner, s.r.o. (ČR)
Dihydrogenfosforečnan draselný	Lach-Ner, s.r.o. (ČR)
Dihydrát hydrogenfosforečnanu disodného	Lach-Ner, s.r.o. (ČR)
Manganistan draselný	Lach-Ner, s.r.o. (ČR)
4 – aminobenzen - sulfonamid	Fluka, s.r.o. (Švýcarsko)
Uhličitan sodný	Fluka, s.r.o. (Švýcarsko)
Fluorid sodný	Litolab, s.r.o. (ČR)

4.3 Příprava alternativních činidel

4.3.1 Příprava alternativních činidel pro stanovení železa

Všechna alternativní činidla byla připravována odbornými pracovníky dle platných norem. Při prvních stanoveních jsem si vždy tato činidla připravovala sama. K ostatním analýzám jsem dále využívala činidla připravená pracovníky laboratoře.

Octan amonný – tlumivý roztok

V 800 ml kádince bylo za mírného zahřátí rozpuštěno 400 g octanu amonného v 500 ml ledové kyseliny octové. Poté byl rozpuštěný roztok přelit do 1000 ml odměrné baňky a na tento objem byl po rysku doplněn DEMI vodou.

Kyselina sírová o výsledné koncentraci 4,5 mol.l⁻¹

Do 1000 ml kádinky s 650 ml DEMI vody bylo přidáno 250 ml koncentrované kyseliny sírové. Tento krok byl prováděn za stálého a intenzivního míchání a permanentního chlazení. Následně byl objem v 1000 ml baňce doplněn DEMI vodou po rysku.

Kyselina sírová o výsledné koncentraci 0,045 mol.l⁻¹

V 100 ml odměrné baňce s 750 ml DEMI vody bylo pipetou přidáno 10 ml kyseliny sírové ($c = 4,5 \text{ mol.l}^{-1}$). Objem v 1000 ml baňce byl doplněn DEMI vodou po rysku.

o-Fenantrolin roztok, $\rho(\text{C}_{12}\text{H}_8\text{N}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}) = 4,2 \text{ g.l}^{-1}$

V 500 ml odměrné baňce s 300 ml DEMI vody bylo za mírného zahřátí rozpuštěno 2,1 g 1,10 – fenantrolinu. Bylo přidáno 0,5 ml koncentrované kyseliny chlorovodíkové a objem v 500 ml baňce byl DEMI vodou doplněn po rysku.

Hydroxylamin hydrochlorid roztok, $\rho(\text{NH}_2\text{OH} \cdot \text{HCl}) = 100 \text{ g.l}^{-1}$

Do 250 ml odměrné baňce bylo odváženo 25 g hydroxylaminhydrochloridu a následně byl tento obsah rozpuštěn ve 200 ml DEMI vody. Po rozpuštění byl objem v 250 ml baňce doplněn DEMI vodou po rysku.

4.3.2 Příprava alternativních činidel pro stanovení amonných iontů

Vybarvovací činidlo

V 250 ml odměrné baňce s REDEMI vodou bylo rozpuštěno 32,5 g salicylanu sodného s 32,5 g dihydrátu citronanu sodného. Objem byl na 200 ml doplněn REDEMI vodou a poté bylo přidáno 0,238 g nitroprusidu sodného. Po celkovém rozpuštění byl objem v 250 ml baňce doplněn REDEMI vodou po rysku.

Dichlorisoyanuratan sodný (DIK)

V 600 ml kádince s 200 ml REDEMI vody bylo rozpuštěno 8,0 g hydroxidu sodného. Po ochlazení roztoku na okolní teplotu bylo přidáno 0,5 g dihydrátu dichlorisokyanuratanu sodného. Po úplném rozpuštění byl tento vzorek do 250 ml odměrné baňky kvantitativně a velmi opatrně převeden a objem v baňce byl doplněn REDEMI vodou po rysku.

4.3.3 Příprava alternativních činidel pro stanovení manganu

Formaldoxim roztok

V 250 ml odměrné baňce s 100 ml DEMI vody bylo rozpuštěno 25 g chloridu hydroxylamonného a následně bylo do roztoku napipetováno 12,5 ml formaldehydu (36 – 38 %). Objem v 250 ml baňce byl DEMI vodou doplněn po rysku.

EDTA roztok o výsledné koncentraci $0,24 \text{ mol.l}^{-1}$

Do 500 ml odměrné baňky bylo naváženo 45 g Na_2EDTA a 9,5 g hydroxidu sodného. Poté bylo do odměrné baňky přidáno 250 ml DEMI vody a po celkovém rozpuštění byl objem v 500 ml baňce doplněn po rysku.

Amoniak roztok o výsledné koncentraci $4,7 \text{ mol.l}^{-1}$

Do 1000 ml odměrné baňky bylo odměrným válcem odměřeno 350 ml koncentrovaného roztoku amoniaku (25 %) a objem v 1000 ml baňce byl DEMI vodou doplněn po rysku.

Amoniakální roztok hydroxylamin hydrochloridu

1 objemový dík amoniaku o koncentraci $4,7 \text{ mol.l}^{-1}$ byl ve skleněné lahvi smíchán s 1 objemovým dílem hydroxylaminu hydrochloridu o koncentraci 6 mol.l^{-1} .

Hydroxid sodný roztok o výsledné koncentraci $5,5 \text{ mol.l}^{-1}$

V 1000 ml odměrné baňce s 500 ml DEMI vody bylo rozpuštěno 220 g hydroxidu sodného. Po úplném rozpuštění hydroxidu byl objem v 1000 ml baňce doplněn DEMI vodou po rysku.

Hydroxylamin hydrochlorid roztok o výsledné koncentraci 6 mol.l^{-1}

V 500 ml odměrné baňky s 250 ml DEMI vody bylo za mírného zahřátí rozpuštěno 210 g hydroxylamin hydrochloridu. Objem v 500 ml baňce byl po úplném rozpuštění hydroxylamin hydrochloridu doplněn DEMI vodou po rysku.

Síran železnatoamonný roztok, $\rho[(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}] = 700 \text{ mg.l}^{-1}$

V 500 ml odměrné baňce se 100 ml DEMI vody bylo rozpuštěno 350 mg síranu železnatoamonného. Dále bylo do roztoku přidáno 0,5 ml kyseliny sírové o koncentraci 4,5

mol.l⁻¹ a 2 ml roztoku chloridu hydroxylamonného o koncentraci 6 mol.l⁻¹. Objem v 500 ml baňce byl DEMI vodou doplněn po rysku.

4.3.4 Příprava alternativního činidla pro stanovení dusitanů

Vybarvovací činidlo

Do 500 ml odměrné baňky bylo nalito zhruba 200 ml REDEMI vody a odměrným válcem přidáno 50 ml kyseliny fosforečné o hustotě 1,7 g.ml⁻¹. Dále bylo v této směsi rozpuštěno 20 g 4 – aminobenzen-sulfonamidu a v tomto roztoku byl poté rozpuštěn 1 g NED. Objem v 500 ml baňce byl REDEMI vodou doplněn po rysku a promíchán.

4.4 Metody stanovení

4.4.1 Spektrofotometrické stanovení železa

Proces stanovení celkového obsahu železa ve vzorku se analyzuje tak, že obsah rozpuštěného železa je celkově převeden po reakci s kyselinou chlorovodíkovou a peroxidisíranem draselným na rozpuštěnou formu železa vyskytující se v oxidačním stupni III.

Následně je hydroxylaminhydrochloridem redukován na železo v oxidačním stupni II, které tvoří oranžovočervený komplex v přítomnosti nadbytku 1,10 - fenantrolinu. Takto vzniklý komplex vzniká v rozmezí pH 2,5 až 9, nejstabilnější je však v oblasti pH 3 až 4. Nejnižší koncentrace, kterou je možno stanovit je 0,01 mg.l⁻¹.

4.4.2 Spektrofotometrické stanovení manganu reakcí s formaldoximem

Stanovení manganu probíhá oxidací v kyselém prostředí při zvýšené teplotě za přítomnosti určitého katalyzátoru. Samotné stanovení se provádí po zředění vzorku. Do 40 ml vzorku vody se postupně přidá 1 ml síranu železnato-amonného, 2 ml EDTA, 2 ml NaOH a 1 ml Formaldoximu. Formaldoxim ve výsledku zbarví vzorek do oranžovo-červené barvy a vznikne tak komplex, který je následně spektrofotometricky měřen při vlnové délce 450 nm. Absorbance komplexu je lineárně závislá na koncentraci až do 5 mg.l⁻¹. Takto vzniklý komplex je stabilní v rozmezí pH od 9,5 do 10,5. Jako při většině stanovování určitých

prvků, tak i stanovení manganu může být rušeno ionty železa, kobaltu, fosforečnanů nebo vápenatými a hořečnatými ionty. [4] [18]

4.4.3 Stanovení vápníku a hořčíku chelatometrickou titrací

Stanovení vápníku a hořčíku se provádí pomocí titrace, kde se využívá Chelatonu III jako odměrného roztoku. Do 50 ml vzorku se přidá 4 ml tlumivého roztoku s hodnotou pH 10 a zhruba 3 kapky indikátoru Eriochromčerně T, který vzorek zbarví do sytě červené. Tato směs se promíchá a následně ihned titruje Chelatonem III. Na počátku titrace je odměrný roztok přidáván rychleji, ke konci se s průběhem titrace zpomaluje, aby došlo k přesnému určení celkové spotřeby odměrného roztoku. Po změně barvy, ze sytě červené na světle fialovou až modrou, dojde k dosažení koncového bodu titrace. Následně je titrován stejný vzorek ještě jednou tak, že je přidáno o 0,5 ml odměrného roztoku Chelatonu III méně, než byla celková spotřeba při titraci první, teprve poté se přidá tlumivý roztok a titrace se dokončí. Celková spotřeba odměrného roztoku je tak vyhodnocena z titrace druhé.

Výpočet pro stanovení celkové látkové koncentrace vápníku a hořčíku se vypočítá následně podle vzorce: $c_{(Ca+Mg)} = \frac{c_{Ch3} \cdot V_t \cdot 10^3}{V_V}$, kde $c_{(Ca+Mg)}$ odpovídá tedy celkové látkové koncentraci vápníku a hořčíku [mmol.l^{-1}], c_{Ch3} je látková koncentrace odměrného roztoku Chelatonu III [mol.l^{-1}], V_t je objem odměrného roztoku Chelatonu III spotřebovaného do konce titrace [ml] a V_V je objem vzorku vzatý k analýze [ml]. Výsledky celkové koncentrace jsou uváděny v mmol.l^{-1} . [4] [17]

4.4.4 Spektrofotometrické stanovení amoniakálního dusíku

Jednou ze spektrofotometrických stanovení amonných iontů je reakce za přítomnosti Nesslerova činidla. Tato metoda je vhodná pro stanovení obsahu čpavků u všech typů vod. Stanovení je založeno na reakci amoniaku a hydroxidů alkalických kovů s tetrajodrtuřnatanem sodným, popř. draselným, za vzniku oxidimerkuriaminojodidu, tzv. Millonovy báze. Vzniklý jodid je žlutohnědě zbarvená sloučenina, jejíž intenzitu barvy lze spektrofotometricky stanovit. Celkové stanovení se provádí ve spektrofotometru v 5 cm kyvetě při vlnové délce 425 nm. Stanovení probíhá v alkalickém prostředí. [4] [20]

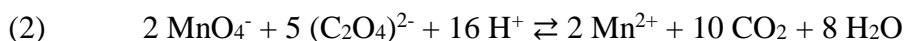
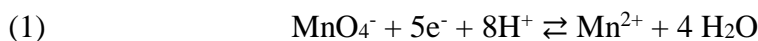
4.4.5 Metody stanovení organických látek ve vodách

Chemická spotřeba kyslíku

Chemická spotřeba kyslíku nese zkratku CHSK. Jedná se o hmotností koncentraci kyslíku, která odpovídá spotřebě titračního oxidačního činidla, které se spotřebovává za stanovených podmínek. CHSK je typ skupinové stanovení kyslíku ve vodě sloužící ke specifikaci znečištění vody. [4]

Jako oxidační činidla se využívají dichroman draselný (CHSK_{Cr}) a při rozboru vod užitkových, pitných a povrchových se využívá manganistanu draselného (CHSK_{Mn}). Výhodou metody používající manganistanu draselného je jednoduchost, malá spotřeba činidel a rychlost provedení. Avšak tato metoda slouží spíše jako ukazatel jakosti vody, ne jako ukazatel organických látek přítomných ve vodě, protože tato metoda umožňuje pouze nízký stupeň oxidace. [4]

Stanovení CHSK_{Mn} se provádí zahřátím 25 ml vzorků v kyselém prostředí 5 ml kyseliny sírové, ve vodní lázni na teplotu 97 °C po dobu 10 minut. Po této době je do všech vzorků přidáno 5 ml manganistanu draselného a vzorky jsou po dobu dalších 10 minut zahřívány. Část manganistanu je redukována oxidovatelnými látkami, které jsou ve vzorcích přítomné. Potom je do vzorků přidáno 5 ml šřavelanu sodného a poté jsou vzorky titrovány manganistanem draselným z barevného přechodu světle růžové na čistě čirý roztok. Spotřeba CHSK se udává v mg.l⁻¹. Během stanovení dochází k reakcím jako k oxidaci oxidovatelných látek ve vzorcích (1) a k reakci zpětné titrace šřavelanem sodným (2). [4] [20]



4.5 Odběr vzorků

Odběr vybraných pěti vzorků byl pravidelně prováděn v období od dubna 2016 do března 2017. Vzorky byly odebírány ze zdrojů situovaných v okolí Šternberka. Odběry byly prováděny jednou měsíčně do plastových lahví, byla změřena jejich okamžitá teplota a následně byly vzorky uloženy na nejtavnější místo do lednice a na druhý den byly brzy ráno prováděny veškeré analýzy. Byla měřena hodnota pH a konduktivity. Spektrofotometricky byly stanoveny koncentrace železa, manganu a amoniakálního dusíku. Pomocí iontové chromatografie byla stanovena koncentrace fluoru, chloru, dusitanů, dusičnanů, fosforečnanů a síranů. Dále byla stanovena koncentrace vápníku a hořčíku pomocí titrační metody. Jako poslední parametr byla stanovována hodnota chemické spotřeby kyslíku manganistanem.

Prvním odběrovým místem byl zdroj ze studny v **Rybníčku**. Tato malá vesnice se nachází asi 1 km od Újezdu u Uničova, který leží zhruba 13 km od Šternberka. Vzorky byly odebírány ze soukromé studny na pozemku domu s číslem popisným 469. Nadmořská výška této oblasti činí 243 m.n.m. Přesné souřadnice GPS pro toto místo jsou 49.7678461 N, 17.1960361 E.

Druhým a třetím odběrovým místem byly zdroje ze studny v **Lipině**. Lipina je velmi malá obec nacházející se 5 km od Šternberka. Vzorky byly také odebírány ze studen soukromých na pozemcích domů s čísly popisnými 60 a 65. Nadmořská výška této obce činí 482 m.n.m. Přesné GPS souřadnice pro druhý zdroj jsou 49.7351436 N, 17.3278897 E a GPS souřadnice pro třetí zdroj jsou 49.7398433 N, 17.3241797 E.

Čtvrtým odběrovým místem byl zdroj přírodní z oblasti **Těšíkova**. Jedná se o přírodní pramen Těšíkovské kyselky. Těšíkov se nachází asi 15 km od Šternberka. Tato kyselka je pitná, svou rezavou barvou již vykazuje větší obsah železa. GPS souřadnice pro tento zdroj jsou 49.7409339 N, 17.3807722 E. Nadmořská výška je 475 m.n.m.

Posledním, tedy pátým odběrovým místem byl zdroj přímo z města Šternberka. Toto místo, spíše ulice, Polní se nachází na okraji Šternberka. Vzorky byly opět odebírány ze studny soukromé na pozemku domu s číslem popisným 11. Nadmořská výška tohoto místa činí 268 m.n.m. GPS souřadnice pro toto odběrné místo jsou 49.7143078 N, 17.2808053 E.



Obrázek č.1.: Mapa vyznačených odběrných míst [21]

4.6 Měření pH

Měření pH bylo prováděno potenciometricky za použití pH-kombinované elektrody na pH metru inoLab pH level 2 od německé firmy WTW. K měření bylo také použito teplotní činidlo. Před samotným měřením byla pomocí standardních tlumivých roztoků s hodnotami pH 4 a 7 provedena kalibrace pH metru. Poté byla změřena hodnota pH kontrolního vzorku s referenční hodnotou pH = 6,865.

Do pěti skleněných kádinek byly odměřeny postupně všechny mé vzorky a v těchto kádinkách s vloženým magnetickým míchadlem byly změřeny hodnoty pH u všech vzorků. Po každém změření vzorku byla elektroda opláchnuta destilovanou vodou a vysušena papírovou utěrkou. Po dokončení měření byla kombinovaná elektroda opět opláchnuta destilovanou vodou a ponořena do roztoku o pH rovno 7, aby nedošlo k znehodnocení.

4.7 Měření konduktivity

Měření konduktivity probíhalo pomocí přístroje konduktometru inoLab Cond Level 2 od německé firmy WTW. Konduktometr byl opatřen vodivou celou. Jako první byl změřen kontrolní vzorek obsahující KCl ($c = 0,1 \text{ mol.l}^{-1}$), jehož hodnota vodivosti při 25°C činila 1290 mS.m^{-1} .

Do pěti skleněných kádinek byly opět odměřeny postupně všechny mé vzorky a v těchto kádinkách s vloženým magnetickým míchadlem, vloženou vodivostní celou byla po zmáčknutí tlačítka RUN ENTER aktivování funkce AR (AutoRead), a tak byla, po ustálení hodnoty, měřena konduktivita jednotlivých vzorků. Po každém měření, byla vodivostní cela opláchnuta destilovanou vodou a usušena papírovou utěrkou.

4.8 Stanovení vybraných aniontů iontovou chromatografií

Stanovení dusitanů, dusičnanů, síranů, fosforečnanů, fluoridů a chloridů bylo prováděno pomocí iontové chromatografie. K analýze byl použit iontový chromatograf 940 Professional IC Vario s vodivostní detekcí, ovládán pomocí softwaru MagIC Net 3.0. Stanovování probíhalo při konstantní teplotě 25 °C.

Do pěti 15 ml plastových zkumavek s kónickými dny byly nejdříve propláchnuty, následně naplněny mými pěti vzorky určenými k analýze vybraných iontů. Zkumavky byly uzavřeny plastovou zátkou a takto uzavřené byly vloženy do karuselu.

Poté byl spuštěn program MagIC Net 3.0 a z ikony „Pracoviště“ byla vybrána složka „Série stanovení“. Byly vyplněny údaje, jako název a jeho pozice v karuselu, pro každý vzorek zvlášť a hodnoty pro nástřik byly dány metodou. Nástřik měl objem 20 μl .

Po skončení celého zápisu, zkontrolování posloupnosti a pozice vložených vzorků v karuselu, byla spuštěna sekvence. Díky průchodu chromatografickou vanou došlo k rozdělení složek ve vzorcích. Po provedení analýzy byly v počítačové databázi zapsány výsledky pro každý vzorek.

5 Výsledky měření

Veškeré výsledné hodnoty všech měření jsou uvedeny v následujících tabulkách a pro lepší orientaci ve výsledcích samotných byla data zpracována do příslušných grafů.

V grafech jsou mezní hodnoty vyznačeny přerušovanou čarou na ose x, a to jen u vybraných analýz, u ostatních analýz jsou hodnoty mezních hodnot uvedeny vždy pod tabulkou a jejím popisem. Tučně jsou poté v tabulkách zvýrazněny nadlimitní hodnoty, které nesplňují hygienické požadavky.

Tabulka č.2.: Naměřené hodnoty kvality vody v závislosti na ročním období – Zdroj 1

	t [°C]	pH	κ [mS/m]	c _{Fe} [mg.l ⁻¹]	c _{Mn} [mg.l ⁻¹]	c _{NH₄⁺} [mg.l ⁻¹]	c _F [mg.l ⁻¹]	c _{Cl} [mg.l ⁻¹]	c _{NO₂} [mg.l ⁻¹]	c _{NO₃} [mg.l ⁻¹]	c _{PO₄} [mg.l ⁻¹]	c _{SO₄} [mg.l ⁻¹]	C _{Ca+Mg} [mmol.l ⁻¹]	CHSK _{Mn} [mg.l ⁻¹]
28.4.	12,5	6,650	63,300	0,002	0,024	0,008	0,056	34,803	0,002	63,170	0,151	53,620	2,670	0,287
26.5.	13,0	6,910	58,600	0,002	0,011	0,007	0,138	33,633	0,002	40,880	0,232	55,170	2,610	0,257
27.6.	13,0	6,690	57,900	0,002	0,007	0,009	0,148	33,471	0,008	42,050	0,189	54,690	2,460	0,255
25.7.	13,5	6,450	65,600	0,001	0,008	0,006	0,151	34,451	0,022	56,860	0,168	54,830	2,580	0,301
29.8.	13,5	6,580	63,800	0,002	0,014	0,005	0,149	34,581	0,013	57,070	0,188	53,630	2,520	0,358
22.9.	13,0	6,500	61,200	0,001	0,012	0,005	0,132	33,129	0,023	59,140	0,176	50,860	2,490	0,624
20.10.	12,5	6,510	56,200	0,003	0,014	0,003	0,132	33,361	0,010	41,920	0,131	54,230	2,390	0,322
24.11.	12,0	6,520	59,300	0,002	0,009	0,006	0,139	33,581	0,008	48,240	0,136	54,180	2,330	0,289
19.12.	12,0	6,630	62,100	0,003	0,016	0,008	0,132	34,082	0,012	53,290	0,148	52,360	2,590	0,302
26.1.	12,5	6,720	60,900	0,002	0,009	0,006	0,129	33,236	0,009	56,760	0,167	54,180	2,480	0,282
27.2.	12,5	6,740	59,600	0,001	0,018	0,009	0,128	32,989	0,011	59,830	0,139	53,890	2,610	0,259
27.3.	12,5	6,660	62,800	0,002	0,023	0,011	0,069	34,901	0,002	62,230	0,149	53,730	2,650	0,278

Tabulka č.3.: Naměřené hodnoty kvality vody v závislosti na ročním období – Zroj 2

	t [°C]	pH	κ [mS/m]	c _{Fe} [mg.l ⁻¹]	c _{Mn} [mg.l ⁻¹]	c _{NH₄⁺} [mg.l ⁻¹]	c _F [mg.l ⁻¹]	c _{Cl} [mg.l ⁻¹]	c _{NO₂} [mg.l ⁻¹]	c _{NO₃} [mg.l ⁻¹]	c _{PO₄} [mg.l ⁻¹]	c _{SO₄} [mg.l ⁻¹]	C _{Ca+Mg} [mmol.l ⁻¹]	CHSK _{Mn} [mg.l ⁻¹]
28.4.	12,5	7,050	43,000	0,017	0,017	0,011	0,049	47,183	0,001	73,882	0,038	36,650	1,540	0,332
26.5.	12,0	6,830	42,400	0,026	0,002	0,013	0,110	46,912	0,002	74,056	0,062	37,040	1,610	0,254
27.6.	13,0	6,920	42,400	0,011	0,036	0,001	0,120	45,851	0,013	70,882	0,049	37,420	1,460	0,267
25.7.	13,5	7,250	33,800	0,013	0,009	0,003	0,059	33,063	0,002	79,811	0,052	27,060	1,540	0,127
29.8.	13,5	7,030	34,900	0,021	0,013	0,006	0,083	32,164	0,011	62,231	0,061	32,130	1,480	0,233
22.9.	13,0	6,390	37,600	0,012	0,015	0,003	0,109	30,252	0,002	50,548	0,077	34,950	1,380	0,129
20.10.	11,5	6,730	37,700	0,036	0,008	0,011	0,110	31,163	0,004	51,712	0,061	37,120	1,360	0,421
24.11.	11,5	6,830	37,500	0,032	0,008	0,003	0,094	32,231	0,003	54,823	0,058	33,160	1,420	0,231
19.12.	10,5	7,010	38,400	0,028	0,009	0,006	0,101	38,123	0,002	56,234	0,052	32,660	1,390	0,222
26.1.	11,0	6,980	39,700	0,018	0,011	0,004	0,068	40,011	0,002	59,123	0,049	33,230	1,470	0,267
27.2.	11,0	6,730	40,800	0,024	0,016	0,009	0,091	45,934	0,011	70,623	0,041	34,810	1,500	0,293
27.3.	11,5	6,870	42,200	0,016	0,009	0,012	0,060	47,222	0,001	72,034	0,039	35,980	1,530	0,331

Tabulka č.4.: Naměřené hodnoty kvality vody v závislosti na ročním období – Zdroj 3

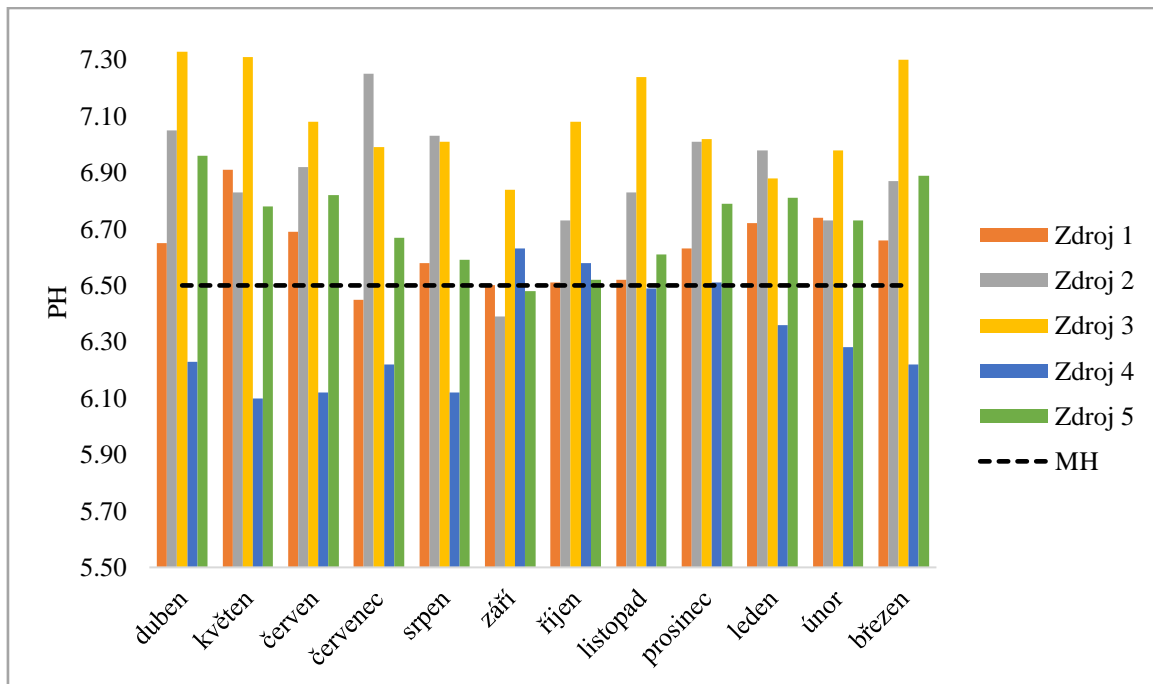
	t [°C]	pH	κ [mS/m]	c_{Fe} [mg.l ⁻¹]	c_{Mn} [mg.l ⁻¹]	c_{NH₄⁺} [mg.l ⁻¹]	c_F [mg.l ⁻¹]	c_{Cl} [mg.l ⁻¹]	c_{NO₂} [mg.l ⁻¹]	c_{NO₃} [mg.l ⁻¹]	c_{PO₄} [mg.l ⁻¹]	c_{SO₄} [mg.l ⁻¹]	C_{Ca+Mg} [mmol.l ⁻¹]	CHSK_{Mn} [mg.l ⁻¹]
28.4.	9,0	7,330	32,700	0,006	0,008	0,017	0,080	14,460		0,170		10,720	1,380	0,287
26.5.	9,0	7,310	33,400	0,070	0,011	0,029	0,180	17,230		0,380		11,490	1,520	0,422
27.6.	9,3	7,080	39,700	0,075	0,035	0,042	0,160	35,050		2,830		14,450	1,570	0,607
25.7.	9,5	6,990	41,300	0,017	0,013	0,041	0,030	44,020		3,110		14,830	1,110	0,581
29.8.	9,5	7,010	42,600	0,023	0,012	0,036	0,060	41,210		4,210		14,960	1,220	0,399
22.9.	9,0	6,840	43,400	0,041	0,015	0,028	0,110	40,570		5,260		15,750	1,680	0,589
20.10.	9,2	7,080	38,200	0,049	0,003	0,004	0,150	32,150		4,030		15,090	1,520	0,577
24.11.	8,9	7,240	36,800	0,066	0,008	0,014	0,130	30,990		3,860		15,160	1,490	0,257
19.12.	8,9	7,020	35,700	0,089	0,007	0,016	0,150	30,160		4,010		15,210	1,260	0,269
26.1.	9,0	6,880	34,800	0,101	0,002	0,022	0,120	23,440		5,090		14,590	1,530	0,463
27.2.	9,0	6,980	33,300	0,013	0,001	0,019	0,090	18,210		2,960		13,660	1,440	0,337
27.3.	9,2	7,300	32,800	0,009	0,009	0,016	0,080	15,020		0,840		11,230	1,360	0,301

Tabulka č.5.: Naměřené hodnoty kvality vody v závislosti na ročním období – Zdroj 4

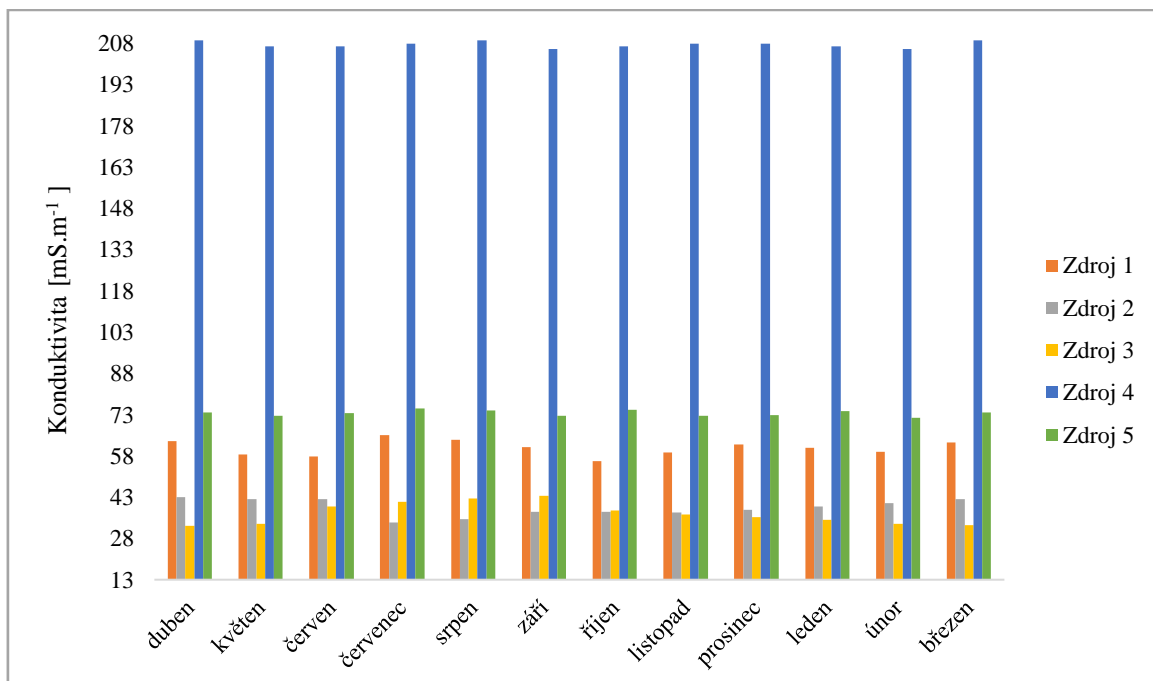
	t [°C]	pH	κ [mS/m]	c _{Fe} [mg.l ⁻¹]	c _{Mn} [mg.l ⁻¹]	c _{NH₄⁺} [mg.l ⁻¹]	c _F [mg.l ⁻¹]	c _{Cl} [mg.l ⁻¹]	c _{NO₂} [mg.l ⁻¹]	c _{NO₃} [mg.l ⁻¹]	c _{PO₄} [mg.l ⁻¹]	c _{SO₄} [mg.l ⁻¹]	C _{Ca+Mg} [mmol.l ⁻¹]	CHSK _{Mn} [mg.l ⁻¹]
28.4.	9,0	6,230	209,000	10,651	0,476	0,054	0,930			0,014		1,320	13,260	0,574
26.5.	9,0	6,100	207,000	10,733	0,014	0,011	0,990			0,005		1,310	11,948	1,253
27.6.	9,3	6,120	207,000	10,492	0,024	0,003	1,070			0,063		1,440	10,992	1,118
25.7.	9,5	6,220	208,000	10,661	0,176	0,007	1,069			0,064		1,470	11,850	1,434
29.8.	9,5	6,120	209,000	10,594	0,213	0,012	0,300			0,052		1,530	11,230	1,501
22.9.	9,4	6,630	206,000	10,582	0,169	0,011	0,590			0,048		1,510	10,980	1,389
20.10.	9,4	6,580	207,000	10,622	0,098	0,008	0,630			0,051		1,520	11,030	0,986
24.11.	9,2	6,490	208,000	10,641	0,196	0,032	0,980			0,064		1,490	12,010	0,994
19.12.	9,0	6,510	208,000	10,533	0,401	0,026	1,010			0,042		1,390	11,940	1,121
26.1.	9,0	6,360	207,000	10,605	0,389	0,009	1,080			0,034		1,420	10,890	0,872
27.2.	9,0	6,280	206,000	10,622	0,494	0,038	1,120			0,023		1,380	11,120	0,584
27.3.	9,3	6,220	209,000	10,592	0,501	0,049	0,970			0,012		1,310	12,920	0,742

Tabulka č.6.: Naměřené hodnoty kvality vody v závislosti na ročním období – Zdroj 5

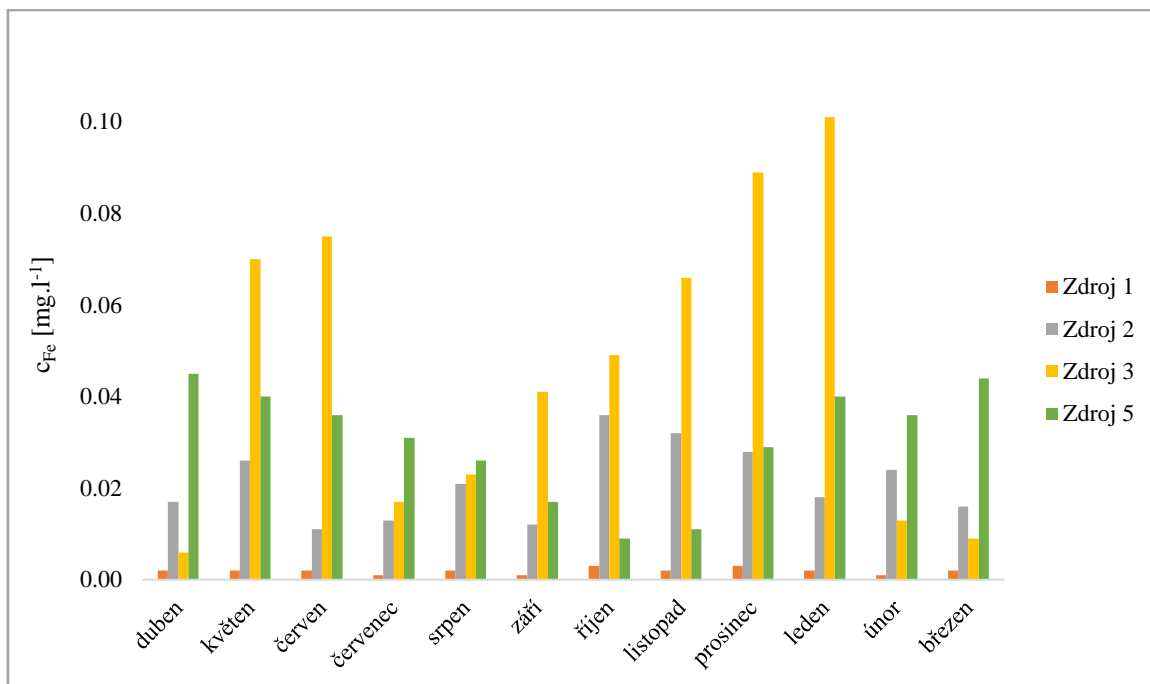
	t [°C]	pH	κ [mS/m]	c _{Fe} [mg.l ⁻¹]	c _{Mn} [mg.l ⁻¹]	c _{NH₄⁺} [mg.l ⁻¹]	c _F [mg.l ⁻¹]	c _{Cl} [mg.l ⁻¹]	c _{NO₂} [mg.l ⁻¹]	c _{NO₃} [mg.l ⁻¹]	c _{PO₄} [mg.l ⁻¹]	c _{SO₄} [mg.l ⁻¹]	C _{Ca+Mg} [mmol.l ⁻¹]	CHSK _{Mn} [mg.l ⁻¹]
28.4.	14,5	6,960	73,900	0,045	0,001	0,011	0,120	96,170		14,500		78,700	2,660	0,892
26.5.	14,5	6,780	72,700	0,040	0,003	0,017	0,240	99,690		15,810		70,800	2,660	0,964
27.6.	15,0	6,820	73,600	0,036	0,007	0,096	0,260	99,570		15,570		79,490	2,680	0,728
25.7.	15,3	6,670	75,200	0,031	0,004	0,061	0,270	97,450		12,920		94,850	2,670	0,627
29.8.	15,5	6,590	74,600	0,026	0,003	0,052	0,310	93,620		15,290		89,680	2,690	0,618
22.9.	15,0	6,480	72,600	0,017	0,001	0,013	0,230	86,440		16,820		85,930	2,550	0,327
20.10.	14,0	6,520	74,800	0,009	0,004	0,024	0,320	89,520		16,260		90,560	2,720	0,729
24.11.	13,5	6,610	72,600	0,011	0,007	0,015	0,270	91,430		17,210		93,180	2,660	0,741
19.12.	13,5	6,790	72,800	0,029	0,001	0,036	0,310	93,270		15,030		70,880	2,990	0,436
26.1.	13,0	6,810	74,300	0,040	0,002	0,082	0,240	95,830		16,210		79,430	3,010	0,099
27.2.	13,3	6,730	71,900	0,036	0,002	0,012	0,260	96,180		14,830		81,180	2,690	0,783
27.3.	14,5	6,890	73,800	0,044	0,001	0,009	0,120	97,010		15,030		79,210	2,680	0,829



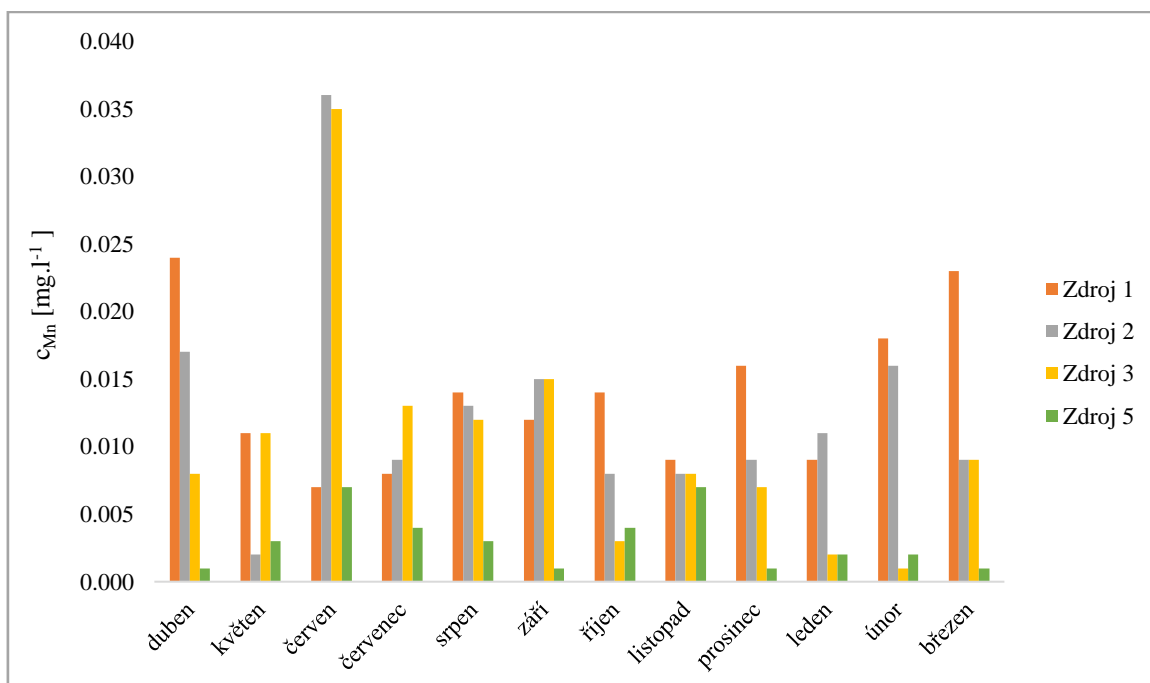
Obrázek č.2.: Naměřené hodnoty pH pro jednotlivé oblasti v závislosti na ročním měření, včetně vyznačené dolní hranice mezní hodnoty



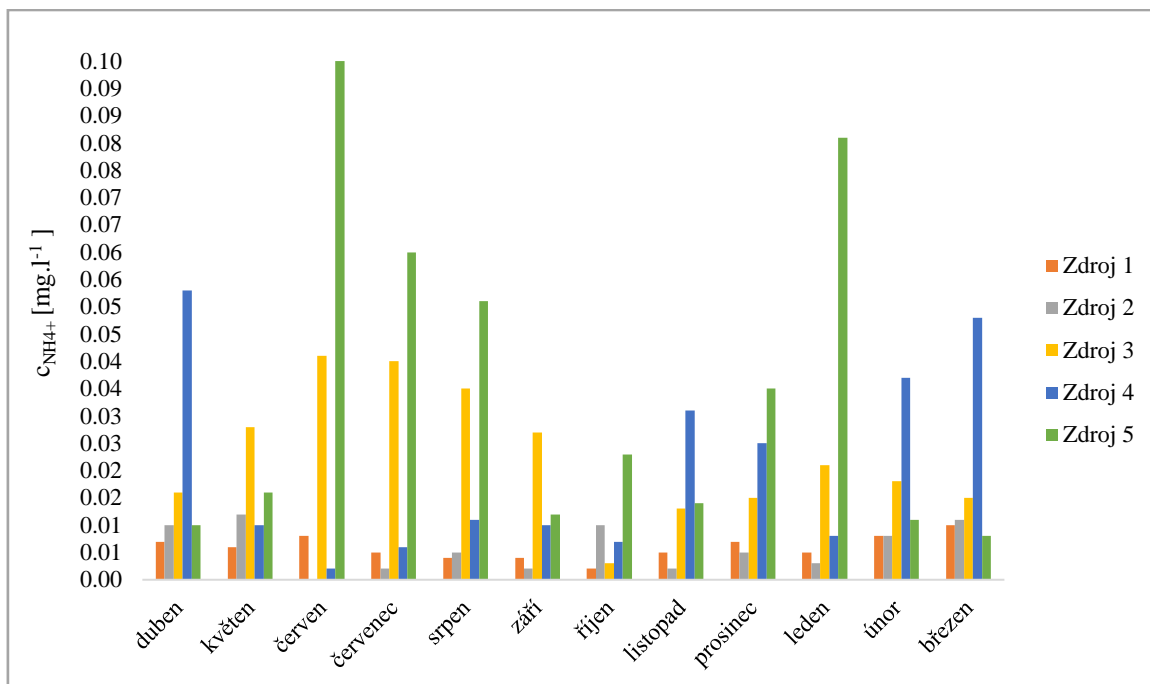
Obrázek č.3.: Naměřené hodnoty konduktivity pro jednotlivé oblasti v závislosti na ročním měření, (MH = 125 mS/m)



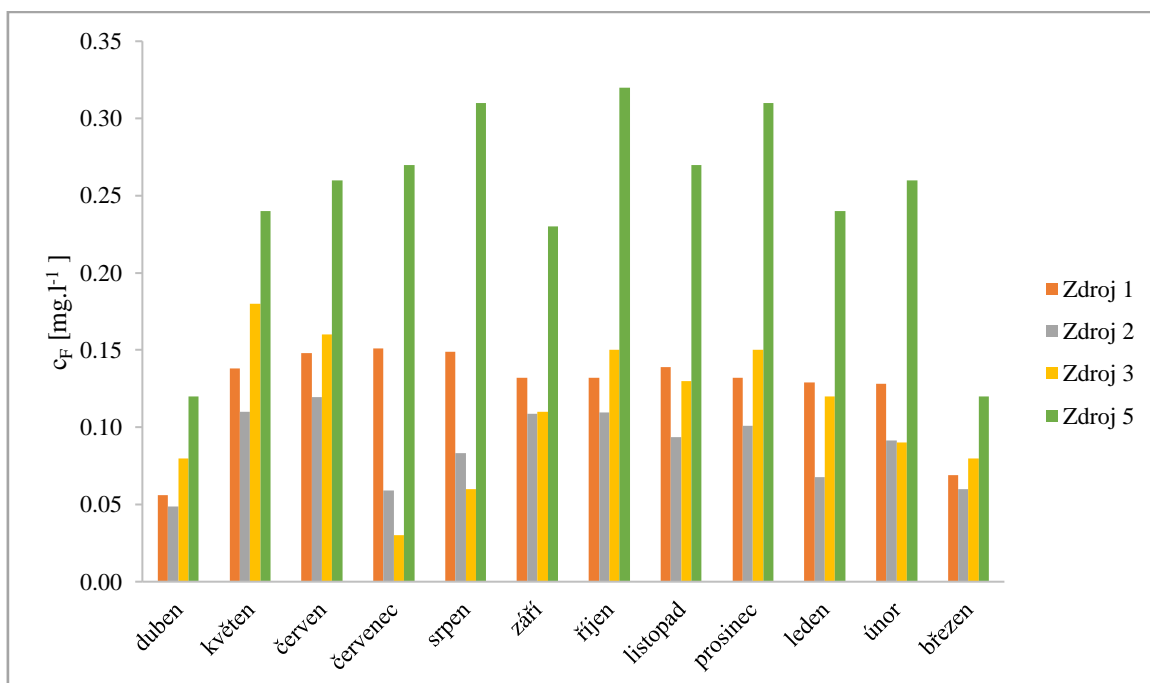
Obrázek č.4.: Naměřené hodnoty koncentrace železa pro jednotlivé oblasti v závislosti na ročním měření, (MH = 0,2 mg.l⁻¹)



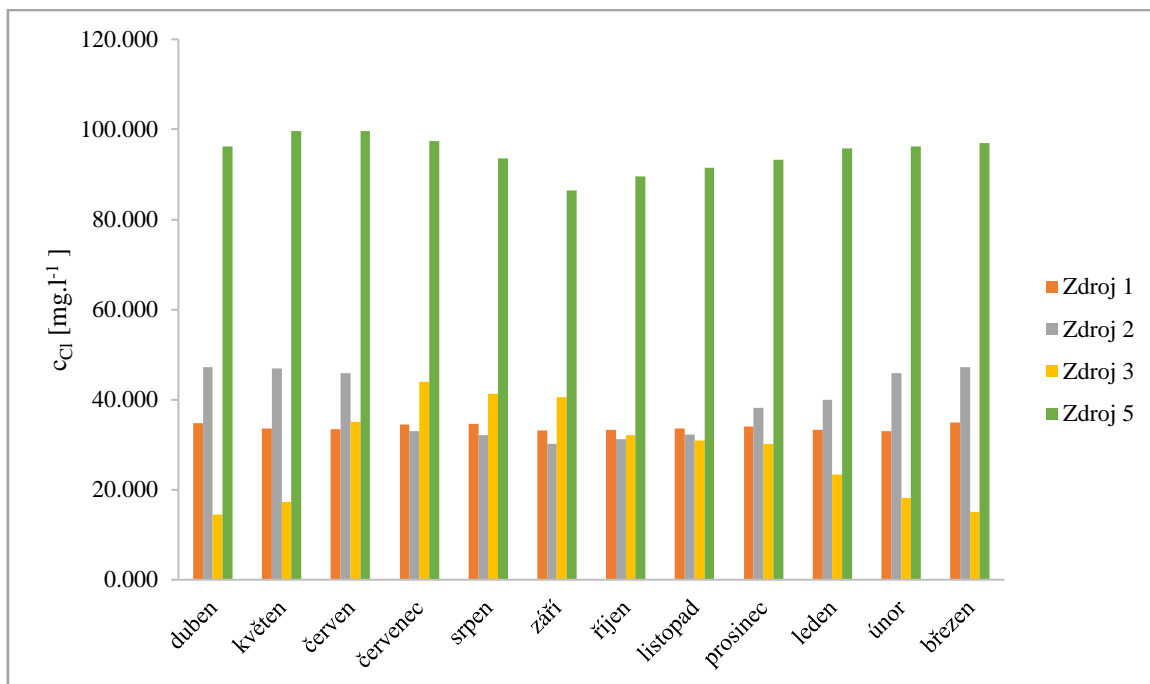
Obrázek č.5.: Naměřené hodnoty koncentrace manganu pro jednotlivé oblasti v závislosti na ročním měření, (MH = 0,05 mg.l⁻¹)



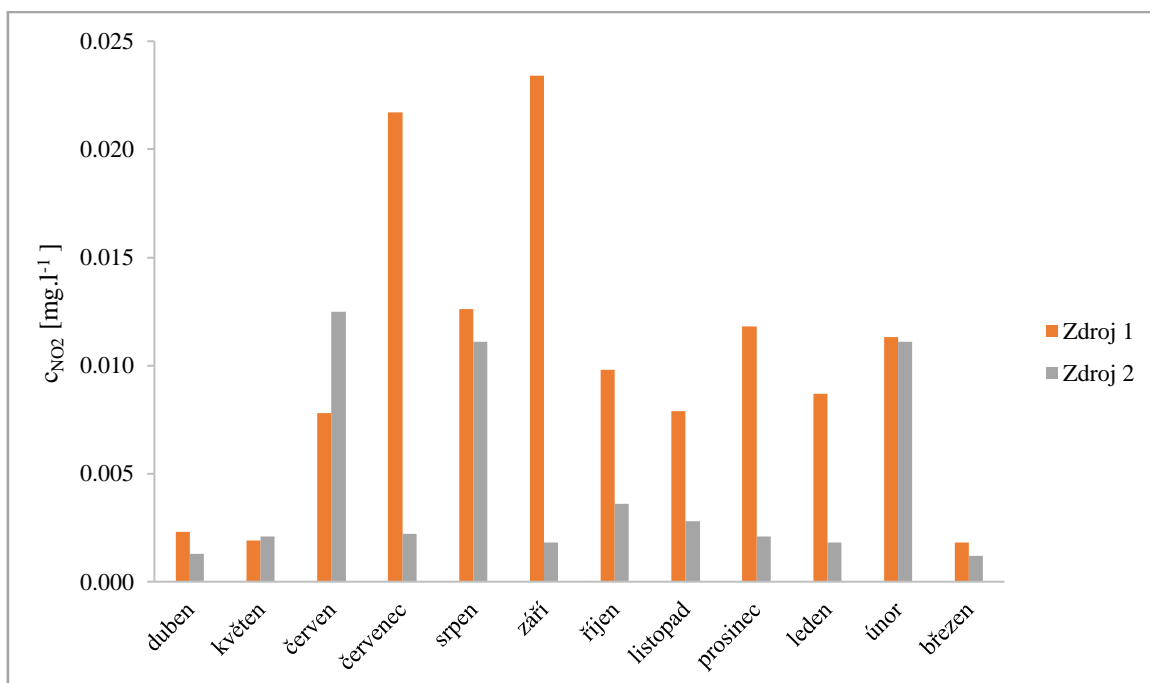
Obrázek č.6.: Naměřené hodnoty koncentrace NH_4^+ pro jednotlivé oblasti v závislosti na ročním měření, ($\text{MH} = 0,5 \text{ mg.l}^{-1}$)



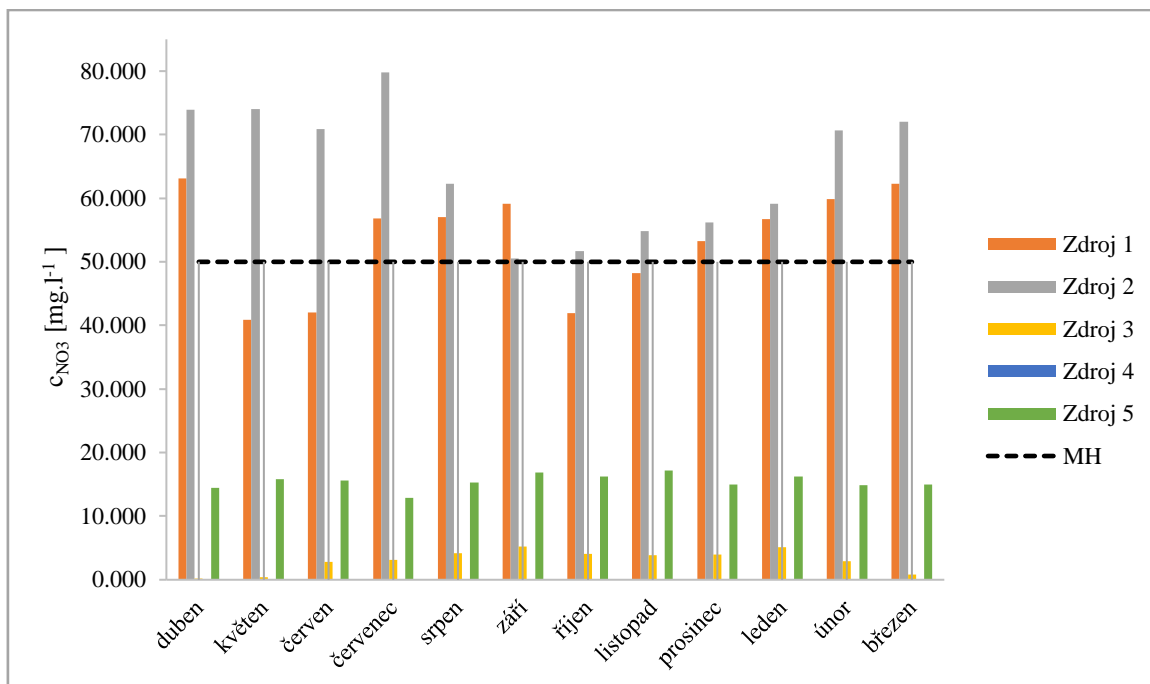
Obrázek č.7.: Naměřené hodnoty koncentrace fluoru pro jednotlivé oblasti v závislosti na ročním měření, ($\text{MH} = 1,5 \text{ mg.l}^{-1}$)



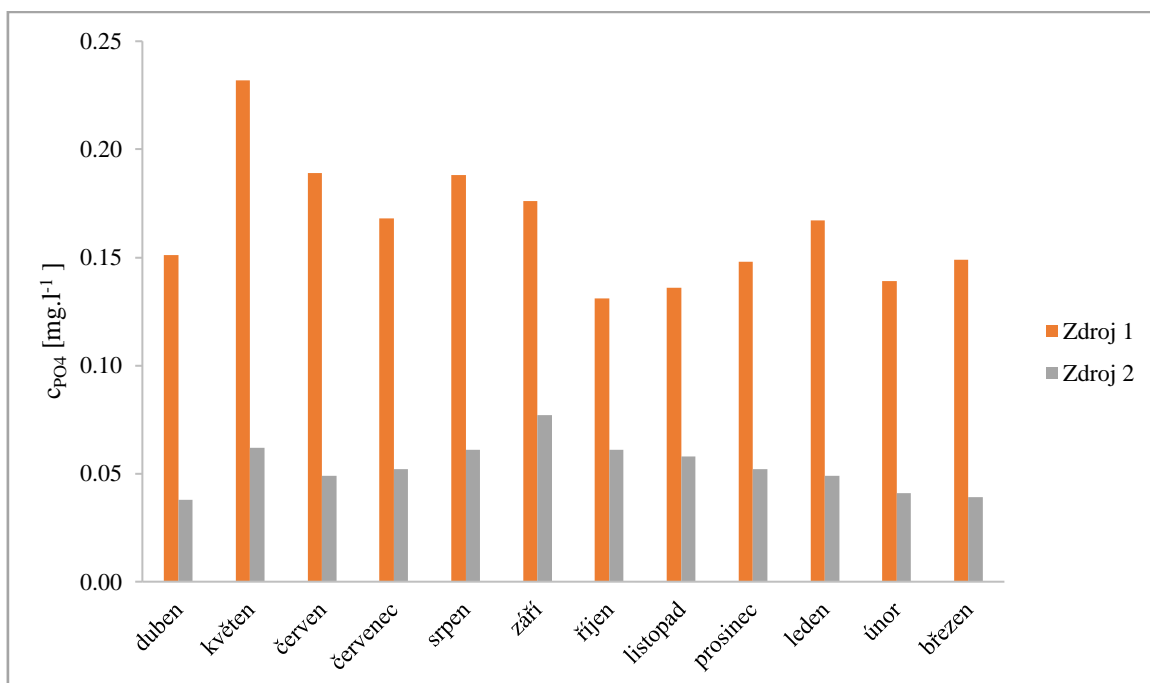
Obrázek č.8.: Naměřené hodnoty koncentrace chloru pro jednotlivé oblasti v závislosti na ročním měření, (MH = 100 mg.l⁻¹)



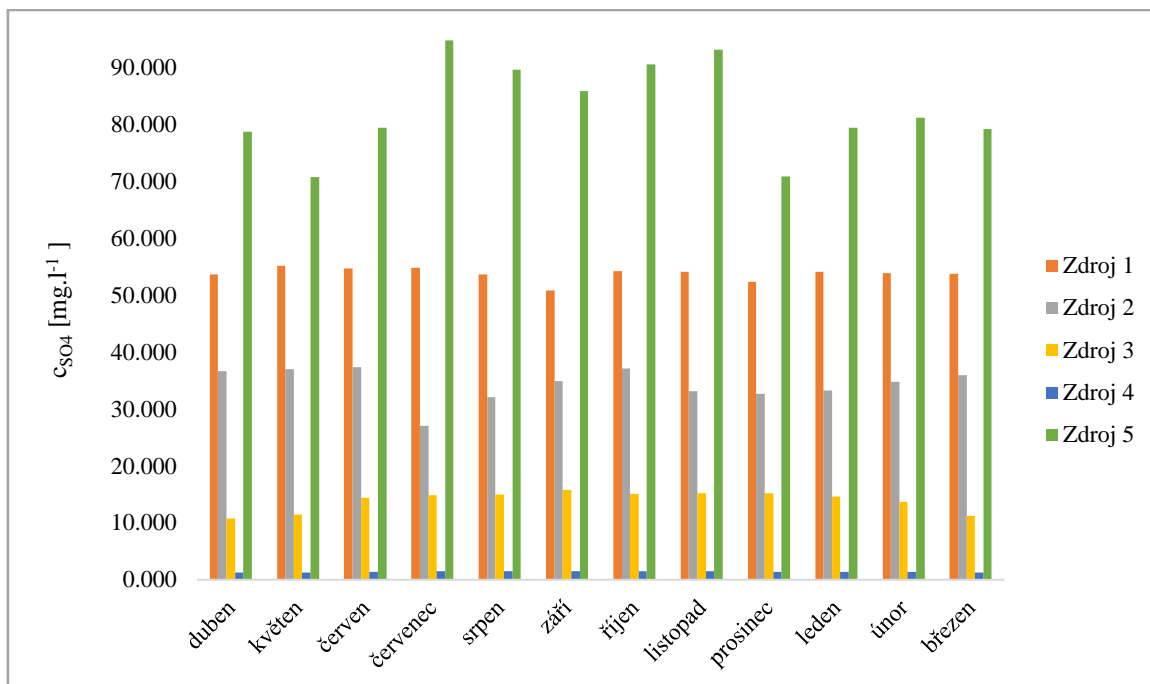
Obrázek č.9.: Naměřené hodnoty koncentrace dusitanů pro jednotlivé oblasti v závislosti na ročním měření, (MH = 0,5 mg.l⁻¹)



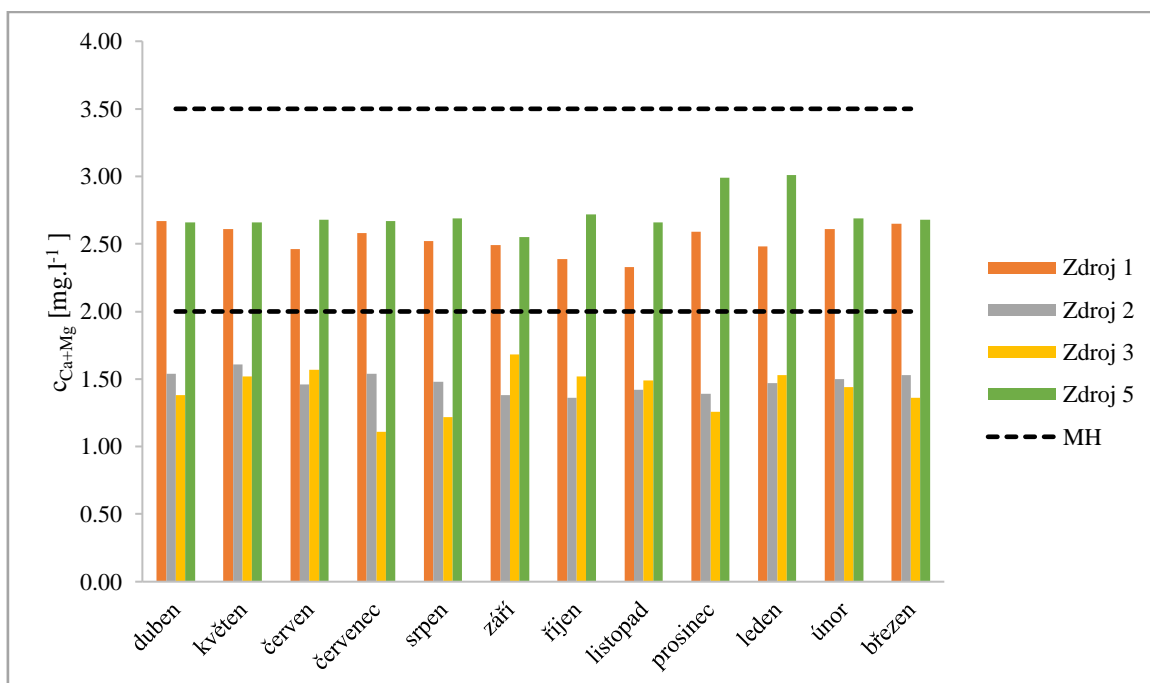
Obrázek č.10.: Naměřené hodnoty koncentrace dusičnanů pro jednotlivé oblasti v závislosti na ročním měření, včetně vyznačené mezní hodnoty



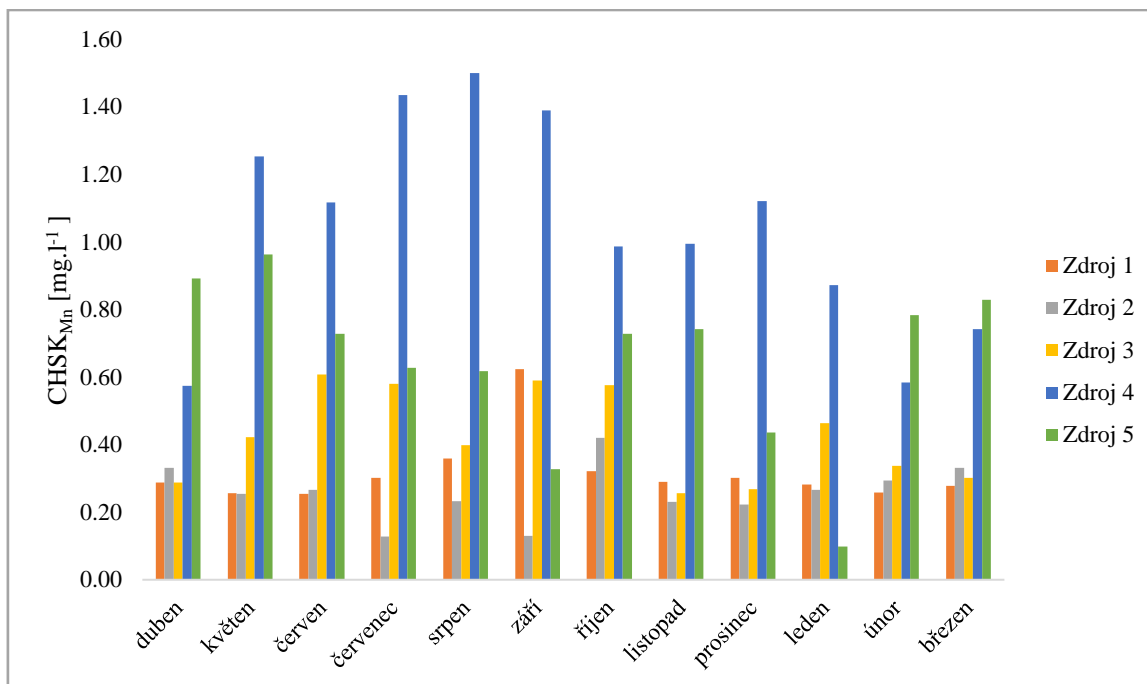
Obrázek č.11.: Naměřené hodnoty koncentrace fosforečnanů pro jednotlivé oblasti v závislosti na ročním měření, (MH = 3,5 mg.l⁻¹)



Obrázek č.12.: Naměřené hodnoty koncentrace síranů pro jednotlivé oblasti v závislosti na ročním měření, (MH = 250 mg.l⁻¹)



Obrázek č.13.: Naměřené hodnoty tvrdosti vody pro jednotlivé oblasti v závislosti na ročním měření, včetně vyznačeného rozpětí mezní hodnoty



Obrázek č.14.: Naměřené hodnoty $CHSK_{Mn}$ pro jednotlivé oblasti v závislosti na ročním měření, ($MH = 3,0 \text{ mg.l}^{-1}$)

Poznámka: Hodnoty koncentrace železa, manganu, fluoru a tvrdosti vody u vzorku č.4 nejsou v grafech zaznamenány, neboť tyto hodnoty jsou velmi vysoké a ruší tak přehlednost ostatních vzorků.

5.1 Diskuze

Výsledky naměřených hodnot stanovovaných parametrů všech pěti vzorků jsou přehledně uvedeny v tabulkách č. 2–6. Na základě těchto hodnot byly vytvořeny grafy (Obrázky č. 2–14) pro jednotlivé ukazatele, jež znázorňují znečištění podzemních vod v závislosti na roční změně počasí a pro srovnání mezi jednotlivými zdroji.

Zjištěné naměřené výsledky, které se během ročních období nějak výrazně neměnily ve skutečnosti ukázaly, že složení podzemních vod není změnou počasí nějak značně ovlivňováno.

Tabulka č. 7.: Hygienické požadavky pro pitnou vodu dle vyhlášky 252/2004 Sb. včetně typu jejich limitů [14]

Ukazatel	Jednotka	Hygienický limit	Typ limitu
pH	pH	6,5 – 9,5	MH
Konduktivita	mS.m ⁻¹	125	MH
Železo	mg.l ⁻¹	0,2	MH
Mangan	mg.l ⁻¹	0,05	MH
Amonné ionty	mg.l ⁻¹	0,5	MH
Fluoridy	mg.l ⁻¹	1,5	NMH
Chloridy	mg.l ⁻¹	100	MH
Dusitany	mg.l ⁻¹	0,5	NHM
Dusičnany	mg.l ⁻¹	50	NMH
Fosforečnany	mg.l ⁻¹	3,5	MH
Sírany	mg.l ⁻¹	250	MH
Vápník a hořčík	mmol.l ⁻¹	2 – 3,5	DH
CHSK _{Mn}	mg.l ⁻¹	3	MH

MH - Mezní hodnota , **NMH** - Nejvyšší mezní hodnota, **DH**- Doporučená hodnota

Tabulka č. 8.: Splnění hygienických požadavků vzorků v jednotlivých vzorcích pro **pH, konduktivitu a koncentraci železa** dle vyhlášky č. 252/2004 Sb

Zdroj	pH		Konduktivita		C _{Fe}	
	Splňuje	Nesplňuje v měsících	Splňuje	Nesplňuje v měsících	Splňuje	Nesplňuje v měsících
1	ano	-	ano	-	ano	-
2	ano	-	ano	-	ano	-
3	ano	-	ano	-	ano	-
4	-	1 – 8, 11	-	1 – 12	-	1 – 12
5	-	9	ano	-	ano	-

Tabulka č.9.: Splnění hygienických požadavků vzorků v jednotlivých vzorcích pro koncentraci **manganu, amonných iontů a fluoridů** dle vyhlášky č. 252/2004 Sb

Zdroj	C _{Mn}		C _{NH4+}		C _F	
	Splňuje	Nesplňuje v měsících	Splňuje	Nesplňuje v měsících	Splňuje	Nesplňuje v měsících
1	ano	-	ano	-	ano	-
2	ano	-	ano	-	ano	-
3	ano	-	ano	-	ano	-
4	-	1 – 4, 7 - 12	ano	-	ano	-
5	ano	-	ano	-	ano	-

Tabulka č.10.: Splnění hygienických požadavků vzorků v jednotlivých vzorcích pro koncentraci **chloridů, dusitanů a dusičnanů** dle vyhlášky č. 252/2004 Sb

Zdroj	C _{Cl}		C _{NO2}		C _{NO3}	
	Splňuje	Nesplňuje v měsících	Splňuje	Nesplňuje v měsících	Splňuje	Nesplňuje v měsících
1	ano	-	ano	-	-	1 – 4, 7 – 9, 12
2	ano	-	ano	-	-	1 – 12
3	ano	-			ano	-
4					ano	-
5			ano	-	ano	-

Tabulka č. 11.: Splnění hygienických požadavků vzorků v jednotlivých vzorcích pro koncentraci **fosforečnanů, síranů a tvrdosti vody** dle vyhlášky č. 252/2004 Sb

Zdroj	CPO ₄		CSO ₄		C(Ca + Mg)	
	Splňuje	Nesplňuje v měsících	Splňuje	Nesplňuje v měsících	Splňuje	Nesplňuje v měsících
1	ano	-	ano	-	ano	-
2	ano	-	ano	-	-	1 – 12
3			ano	-	-	1 – 12
4			ano	-	-	1 – 12
5			ano	-	ano	-

Tabulka č.12.: Splnění hygienických požadavků vzorků v jednotlivých vzorcích pro koncentraci **CHSK_{Mn}** dle vyhlášky č. 252/2004 Sb

Zdroj	CCHSK _{Mn}	
	Splňuje	Nesplňuje v měsících
1	ano	-
2	ano	-
3	ano	-
4	ano	-
5	ano	-

6 Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo především zjištění jakosti vybraných vod nacházejících se v okolí Šternberka. Byla sledována kvalita vod v průběhu jednoho roku v závislosti na ročním období. Všech pět zvolených vzorků bylo pravidelně každý měsíc od dubna 2016 do března 2017 odebíráno a analyzováno pro vybrané ukazatele kvality vod. Vzorky byly odebírány ze soukromých studen až na jeden vzorek, který byl odebírán z přírodního volně dostupného zdroje, a to z Těšíkovské kyselky. Všechny rozборы byly prováděny do 24 hodin následujícího dne pod vedením odborných laborantek v laboratoři společnosti Moravská vodárenská a.s. v Olomouci.

Všechny vzorky byly podrobeny stanovení na hodnotu pH, konduktivity, stanovení koncentrace železa [Fe], manganu [Mn], amonných iontů $[\text{NH}_4^+]$, fluoridů $[\text{F}^-]$, chloridů $[\text{Cl}^-]$, dusitanů $[\text{NO}_2^-]$, dusičnanů $[\text{NO}_3^-]$, síranů $[\text{PO}_4^{2-}]$, fosforečnanů $[\text{PO}_4^{2-}]$, chemickou spotřebu kyslíku $[\text{CHSK}_{\text{Mn}}]$ a stanovení celkové tvrdosti vody $[\text{Ca} + \text{Mg}]$. Všechna alternativní činidla pro stanovení vybraných parametrů byla připravována odborníky laboratoře podle platných norem ČSN.

Hodnoty, které byly během měření zjištěny, byly zapsány do laboratorního deníku, ze kterého pak byly hodnoty sepsány do tabulek, a z nichž byly následně vytvořeny grafy pro větší přehlednost. Z tabulek naměřených hodnot lze vyvodit, že během roku nedochází k výrazným změnám složení podzemních vod. Veškeré naměřené hodnoty byly porovnány s hygienickými limity dle vyhlášky č. 252/2004 Sb.

Díky práci na mém zvoleném bakalářském tématu, jsem byla schopna zaprvé provést veškeré analýzy samostatně, případně s menší pomocí a poté vybrané parametry jakosti vod porovnat. Své analýzy jsem prováděla pouze ze stránky chemické, avšak bylo by užitečné a zajímavé provést i analýzy biologické – mikrobiální, které by mohly ukázat, jaké bakterie a v jakých možných koncentracích se mohou ve vodě volně nacházet. Nejvíce mě zajímal parametr koncentrace dusitanů a poté dusičnanů ve vodách, jelikož tento ukazatel patří do ukazatelů kritických a případná vyšší koncentrace může člověka ohrozit na životě.

7 Summary

The aim of this bachelor thesis was primarily to find out the quality of the selected waters in the surroundings of Šternberk. The water quality was monitored over a one-year period, depending on the changing season. All five selected samples were every month, from April 2016 to March 2017, regularly taken and analysed for selected water quality indicators. The samples were collected from private wells, except one of the samples, which was taken from a natural free resource, from Těšíkovské kyselka. All analyses were proceeded within 24 hours of the following day, under the supervision of laboratory technicians, at the laboratory of Moravská vodárenská a.s. in Olomouc.

All samples were put to the test for determination of pH, conductivity, concentration of iron [Fe], manganese [Mn], ammonium ions [NH₄⁺], fluorides [F⁻], chlorides [Cl⁻], nitrites [NO₂⁻], nitrates [NO₃⁻], sulfates [PO₄²⁻], phosphates [PO₄²⁻], chemical oxygen demand [COD_{Mn}] and total water hardness [Ca + Mg]. All alternative reagents for the determination of selected parameters were prepared by the laboratory experts according to valid ČSN standards.

The values that were detected during the measurement, were recorded in the laboratory notebook, from which were the values then written into tables, and then charts were created for greater clarity. From the values shown in tables, it can be deduced that there are no significant changes in the composition of groundwater during the year. All measured values were compared with hygienic limits according to Decree No. 252/2004 Coll.

Thanks to the work on my Bachelor thesis, I could perform all the analyses independently or with a small help, and then compare the selected water quality parameters. I made my analysis only from the chemical site, but it would be useful and interesting to carry out biological - microbial analyses, that could indicate the bacteria and the possible concentrations of them occurring freely in the water. I was most interested in the concentration of nitrite and then the nitrate concentration in the water, as this indicator belongs to the critical indicators and the possible higher concentration can threaten the life of human.

8 Použitá literatura

- [1] Brezonik P.: Water Chemistry, Oxford university press, 2011.
- [2] Pitter P.: Hydrochemie, Praha: VŠCHT, 2009.
- [3] „saylor.org,“ 2010. [Online]
- [4] Horáková M.: Analytika vody, Praha: VŠCHT Praha, 2003.
- [5] Down R.: Environmental Instrumentation and Analysis Handbook, John Wiley & Sons, 2004.
- [6] Stanley M.: Environmental Science, Technology and Chemistry, CRC Press, 2000.
- [7] Pavelková R, Chmelová J.F.: Základy hydrologie, 2013.
- [8] Tourková R.: Geologie pro architekty, Praha, 2012.
- [9] Sb., Zákon č. 254/2001. O vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon), 2001.
- [10] Richter M.: Technologie ochrany životního prostředí, Ústí nad Labem, 2005.
- [11] Nováková D.: Minerální vody České Republiky, Brno: ČGS Brno, 2009.
- [12] Roubal J.: Obecná a anorganická chemie 2.díl.
- [13] Kameníček J.: Anorganická chemie, Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci Přírodovědecká fakulta, 2009.
- [14] Vyhláška č. 252/2004 Sb. kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody, 2004.
- [15] ČSN ISO 6332 (757433). Jakost vod. Stanovení železa. Fotometrická metoda s 1,10-fenantrolinem, 1995-02-01, 1995.
- [16] ČSN ISO 6333 (757447). Jakost vod. Stanovení manganu. Spektrofotometrická metoda s formaldoximem, 1996-02-01., 1996.
- [17] Wichterle K.: Chemická technologie, Ostrava: Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství VŠB, 2010.
- [18] Pavlovský J.: Metody monitorování životního prostředí, Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2013.
- [19] ČSN ISO 7150-1 (757451) Jakost vod. Stanovení amonných iontů. Část 1: Manuální spektrometrická metoda, 1994.

- [20] ČSN EN ISO 8467 (757519). Jakost vod. Stanovení chemické spotřeby kyslíku manganistanem (CHSKMn), 2006-11-01, 2006.
- [21] „www.mapy.cz“, [Online]