

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI

Přírodovědecká fakulta

Katedra fyzikální chemie

SLEDOVÁNÍ KVALITY VYBRANÝCH ZDROJŮ PODZEMNÍCH VOD V OKOLÍ HODONÍNA

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Autor práce:

Kamila Budovičová

Vedoucí práce:

doc. RNDr. Taťjana Nevěčná, CSc.

Studijní obor:

Aplikovaná chemie

Olomouc 2019

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto práci vypracovala samostatně, pod vedením doc. RNDr. Tat'jány Nevěčné, CSc. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využila, jsou v seznamu použité literatury. Souhlasím s tím, že práce je prezenčně zpřístupněna v knihovně Katedry fyzikální chemie, Přírodovědecké fakulty, Univerzity Palackého v Olomouci.

V Olomouci dne.....

.....

Poděkování

Chtěla bych poděkovat své vedoucí práce doc. RNDr. Taťjaně Nevěčné, CSc. za její cenné rady, čas a ochotu, které mi věnovala při vypracování této bakalářské práce. Také bych chtěla poděkovat RNDr. Martinu Halatovi a dalším pracovníkům Zdravotního ústavu se sídlem v Ostravě na oddělení anorganických analýz za ochotu a poskytnuté informace, které mi pomohli s vypracováním praktické části bakalářské práce. Dále bych chtěla poděkovat všem, kteří mi umožnili odběr vod z jejich studní.

Podpis

Bibliografické údaje:

Jméno a příjmení autora:	Kamila Budovičová
Název práce:	Sledování kvality vybraných zdrojů podzemních vod v okolí Hodonína
Typ práce:	Bakalářská
Pracoviště:	Katedra fyzikální chemie
Vedoucí práce:	doc.RNDr. Tatjana Nevěčná CSc.
Rok obhajoby práce:	2019
Abstrakt:	Po dobu 12 měsíců, od dubna 2018 do března 2019, byla sledována kvalita vybraných podzemních vod ve studnách v okolí Hodonína. V jednotlivých vzorcích vod se stanovovaly vybrané parametry a byly porovnávány s vyhláškou č.70/2018 Sb., kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou vodu. Sledovaly se změny vybraných parametrů v důsledku změn ročního období a pozorovaly se neobvyklé složky ve vzorcích vod. V každém vzorku vody se stanovil TOC (celkový organický uhlík), změřila se vodivost a pH. Dále byly stanoveny koncentrace anorganických látek jako jsou železo (Fe), mangan (Mn), vápník (Ca), hořčík (Mg), sodík (Na) a draslík (K), dále pak z aniontů se stanovovaly dusičnany (NO_3^-), dusitany (NO_2^-), chloridy (Cl^-), fluoridy (F^-), sírany (SO_4^{2-}). Ve 3 studnách byly objeveny neobvyklé složky. V jedné studně vzorky vod obsahovaly nadlimitní množství uranu a v druhé studně voda obsahovala nadlimitní

hodnoty selenu. Ve třetí studně jsem objevila arsen, který nepřesahoval limit pro pitnou vodu.

Klíčová slova:

Podzemní voda, studny, TOC, pH, vodivost, anorganické ionty

Počet stran

69

Jazyk:

Česky

Bibliographical identification:

Author's first name and surname:	Kamila Budovičová
Title:	Quality monitoring of selected groundwater resources in Hodonín area
Type of thesis:	Bachelor
Department:	Department of Physical chemistry
Supervisor:	doc.RNDr. Tatjana Nevěčná CSc.
The year of presentation:	2019
Abstract:	For 12 months, from April 2018 to March 2019, the quality of groundwater in wells around Hodonín was monitored. Selected parameters were determined in individual water samples and compared with the decree No. 70/2018 Sb. laying down hygienic requirements for drinking water. Changes in selected parameters were observed due to seasonal changes and unusual components were observed in water samples. TOC (total organic carbon) was determined in each water sample, conductivity and pH were measured. Furthermore, concentrations of inorganic ions such as iron (Fe), manganese (Mn), calcium (Ca), magnesium (Mg), sodium (Na) and potassium (K) cations were determined and nitrates were determined from anions (NO_3^-), nitrites (NO_2^-), chlorides (Cl^-), fluorides (F^-), sulphates (SO_4^{2-}). Unusual components were discovered in 3 wells. In one well, the samples of water contained an over-limit amount of uranium, and in the second one the water contained above-limit values of selenium. In the third well I discovered arsenic that did not exceed the drinking water limit.

Keywords:	Groundwater, wells, TOC, pH, conductivity, inorganic ions
Number of pages:	69
Language:	Czech

OBSAH

1. ÚVOD	1
2. TEORETICKÁ ČÁST	2
2.1. Voda	2
2.2. Druhy vod	2
2.2.1. Přírodní vody	2
2.2.2. Odpadní vody	5
2.2.3. Pitná voda	5
2.3. Organoleptické a fyzikální vlastnosti vod	6
2.3.1. Barva	6
2.3.2. Pach	7
2.3.3. Chut'	8
2.3.4. Teplota	9
2.3.5. Průhlednost	9
2.3.6. Zákal	9
2.3.7. Konduktivita	10
2.4. Anorganické látky ve vodách	11
2.4.1. Kovy a polokovy ve vodách	11
2.4.2. Nekovy ve vodách	15
2.4.3. Radioaktivní látky	19
2.5. Organické látky ve vodách	20
2.5.1. Celkový organický uhlík (TOC)	20
2.6. Metody obvykle používané pro stanovení jednotlivých polutantů	20
2.6.1. Hmotnostní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem ICP-MS	21
2.6.2. Iontová chromatografie	23
2.6.3. TOC analyzátor	23
3. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	25
3.1. Použité chemikálie	25
3.2. Použité přístroje	26
3.3. Odběr vzorků	26
3.3.1. Odběrná místa	26
3.4. Metody stanovení jednotlivých polutantů	28
3.4.1. Ca, Mg, Fe, Mn, Se, U, Na, K, As	28
3.4.2. F ⁻ , Cl ⁻ , NO ₃ ⁻ , NO ₂ ⁻ , SO ₄ ²⁻	29
3.4.3. Celkový organický uhlík	30
3.4.4. Stanovení pH	31
3.4.5. Stanovení konduktivity	31

4.	VÝSLEDKY A DISKUZE	32
4.1.	Výsledky stanovovaných hodnot podle jednotlivých parametrů	32
4.2.	Výsledky uranu, selenu a arsenu u vybraných studní	53
4.3.	Průměrné výsledky jednotlivých parametrů.....	56
5.	ZÁVĚR	62
6.	SUMMARY	64
7.	LITERATURA	66
8.	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ.....	69

1. ÚVOD

Voda je nenahraditelnou a zároveň nejrozšířenější látkou na světě. Patří mezi základní podmínky pro život na zemi, nejenom pro člověka, ale také pro faunu a floru. Již od počátku, se lidé usazovali v blízkosti, řek a jezer, protože věděli, že bez vody nepřežijí. Následně si lidé začali kopat vlastní studny a využívali podzemní vodu k denním potřebám. Dříve se voda ze studní běžně používala pro pití a vaří, avšak postupem času, se kvalita podzemních vod začala zhoršovat v důsledku znečišťování, na kterou má vliv řada faktorů. A právě na toto téma je vypracovaná tato bakalářská práce.

Práce byla zaměřená na sledování kvality podzemních vod v okolí Hodonína. Jednotlivé studny jsem vybírala tak, aby se každá studna nacházela v jiné části dané oblasti. První studna se nachází v centru města Hodonína na zahrádce rodinného domu. Druhá studna je vyvrtaná na pozemku v obci Lužice. Třetí studna se nachází v zahrádkářské oblasti zvané Kapřiska mezi Hodonínem a obcí Lužice. Čtvrtá studna je opět v zahrádkářské oblasti v části zvaná „Mutěnka“, jedná se o zahrádky mezi Hodonínem a obcí Mutěnice. Poslední pátá studna je součástí zahrádky u rodinného domu v obci Mikulčice.

Z fyzikálních vlastností se sledovalo pH a konduktivity. Z organických látek se stanovoval celkový organický uhlík, který slouží jako nespecifický ukazatel kvality vody.[1] Z anorganických látek se stanovovaly kovy, polokovy a nekovy. Mezi kovy patří železo, mangan, vápník, hořčík, sodík a draslík a mezi polokovy se řadí arsen a selen. Dále se stanovovaly nekovy ve vodách ve formě aniontů patří mezi ně dusičnany, dusitany, chloridy, fluoridy a sírany. Poslední sledovaným parametrem byl radioaktivní uran. Následně se stanovené parametry porovnaly s vyhláškou č.70/2018 Sb., kterou se stanoví hygienické požadavky pro pitnou vodu. A sledovala se závislost jednotlivých parametrů na ročním období.

V teoretické části jsem definovala vodu jako látku. Popsala druhy vod. Následně jsem se zaměřila na popis jednotlivých parametrů. Organoleptické a fyzikální vlastnosti vod a na jednotlivé anorganické a organické polutanty. V praktické části jsou popsány postupy stanovení všech výše zmíněných parametrů. Důsledky znečištění vod jednotlivými polutanty jsou popsány v části diskuze a závěr.

2. TEORETICKÁ ČÁST

2.1. Voda

Voda je nejrozšířenější látkou na zemi. Je zásadní pro život a tvoří hlavní část živé tkáně. Voda se vyskytuje ve velkém množství na zemském povrchu v hydrosféře, ale také ve formě páry v atmosféře. Je součástí rostlinných a živočišných organismů, a je obsažena v minerálech i horninách. Voda je nejdůležitější rozpouštědlo v chemii a uplatňuje se také v průmyslu, v zemědělství a v potravinářství.

Voda v přírodě se nikdy nevyskytuje chemicky čistá. Podle původu obsahuje rozpuštěné různé látky. Dle potřeby se voda čistí, sterilizuje nebo zbavuje tvrdosti.[2] Vedle znečištění vody způsobené kontaktem s přírodními materiály bývá voda často znečištěna rozpustnými i nerozpustnými anorganickými a organickými látkami v důsledku činnosti člověka. [3]

Chemický vzorec vody je H_2O . Voda obsahuje silné kovalentní vazby.[4] Molekula vody je lomená s hybridizací sp^3 na středovém atomu kyslíku. Je silně polární v důsledku lomeného tvaru molekuly a silné polaritě vazeb. Chemicky čistá voda je bezbarvá kapalina, bez zápachu. S teplotou varu 373,15K a s teplotou tání 273,15K.

Molekula vody má schopnost tvořit vodíkové vazby. Vodíková vazba je slabá vazba mezi polárními sloučeninami, kde je atom vodíku jedné molekuly přitahován k elektronegativnímu atomu další molekuly. Každá molekula vody může tvořit až 4 vodíkové vazby s jeho nejbližším sousedem. Každý atom vodíku může tvořit jednu vodíkovou vazbu a atom kyslíku může tvořit dvě.[4]

2.2. Druhy vod

Nejčastější se vody rozdělují podle původu, výskytu a použití. Podle původu se dále rozlišují vody přírodní a odpadní. Přírodní vody se dělí podle výskytu na atmosférické, povrchové a podzemní. Poslední typ dělení je podle použití, kde rozlišujeme vody pitné, provozní, vody ze zemědělství a rybářství a vody ze stavebnictví. [5][1][6]

2.2.1. Přírodní vody

Přírodní vody mohou být znečištěny látkami, které mohou ovlivňovat jakost přírodních vod. Mezi hlavní znečišťující látky patří například halogenované organické sloučeniny, organofosforové sloučeniny, kyanidy, kovy a jejich sloučeniny, nerozpuštěné látky a látky přispívající k eutrofizaci.[1]

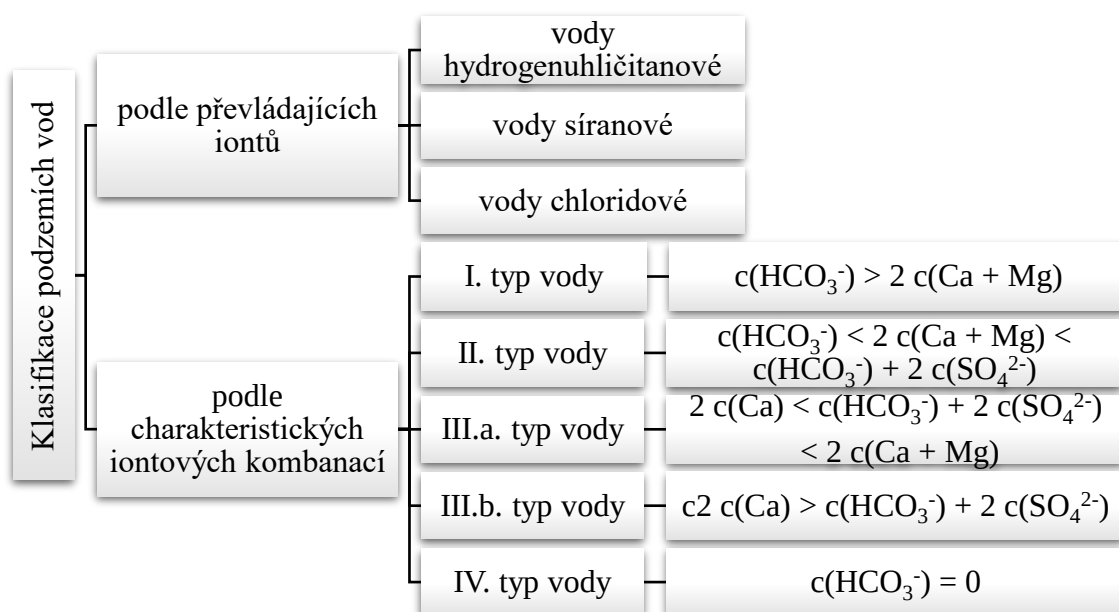
Atmosférické vody

Atmosférická voda je veškerá voda v ovzduší bez ohledu na skupenství. Vzniká při kondenzaci vodních par v ovzduší nebo na různých površích. Dělí se na srážky kapalné a tuhé. Mezi kapalné srážky patří déšť, mrholení či rosa a mezi tuhé srážky patří sníh, kroupy, námraza a jinovatka. [6]

Chemické složení srážek je závislé na množství znečišťujících látek v ovzduší atmosféry. [5] Dále pak na úhrnu srážek, jejich trvání a intenzitě. Nejvíce jsou znečištěny srážkové vody v okolí průmyslových oblastí a velkých měst a nejméně v horských oblastech. Z kvalitativního hlediska složení srážkových vod odpovídá složení podzemních a povrchových vod. Z kvantitativního hlediska jsou již rozdíly v poměrech mezi jednotlivými kationty a anionty.[1] Největší zastoupení v atmosférické vodě mají rozpustěné plyny z atmosféry (CO_2 , O_2 , N_2) Z kationtů většinou převládají kationty vápenaté, hořečnaté a sodné, z aniontů jsou to pak především sírany.[5]

Podzemní vody

Podzemní voda je každá přirozeně se vyskytující voda pod zemským. Za podzemní vodu se považují také vody v zemských dutinách, vody ve studních a vrtech. Podzemní vody jsou primárně určeny pro zásobování obyvatelstva pitnou vodou.[7] K doplňování zásob podzemní vody dochází v důsledku infiltrací srážkových a povrchových vod a kondenzací vodních par v půdě.[8] Klasifikace podzemních vod je na obr. č. 1.



Obrázek 1 Alekinova klasifikace podzemních vod [8]

Složení podzemních vod závisí na typu půdy a na obsahu podzemních a povrchových vod. Složení podzemních vod se dále mění v horizontálním i vertikálním směru. Vertikální zóna se dělí na zvětrávací, přechodnou a redukční zónu. Ve zvětrávací zóně převládají hydrogenuhličitan, sírany a vápenaté a hořečnaté kationty. V přechodné zóně jsou převážně chloridy a alkalické kovy. V poslední zóně se nacházejí chloridy v malé míře sírany a sodný kationt. [8]

Podle chemického složení dělíme podzemní vody na vody prosté a minerální. Prostá voda má nízký obsah rozpuštěných látek a nesplňuje žádné z kritérií pro minerální vodu. Minerální voda musí mít celkovou mineralizaci vyšší než $1000 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$. [5]

Podzemní vody prosté

Podzemní voda prostá je voda s obsahem rozpuštěných látek pod $1000 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$. [5] Jedná se o běžně vyskytující se vodu v podzemí. Na našem území se jedná v mnoha případech o velmi kvalitní zdroj pitné vody.

Prostá voda se rozlišuje do pěti kategorií v závislosti na jejich úpravě. Hlavní parametry, které se sledují je pH, neutralizační kapacita, agresivita, rozpuštěné látky, dále pak obsah železa, manganu, dusičnanů a dusitanů. Dále jde prosté vody rozdělit podle propustnosti nadloží na vody s hladinou volnou a s hladinou napjatou. V případě, že se voda musí čerpat se jedná o vody volné (studny, vrty), jestliže voda vyvěrá na povrch sama jedná se o vody s hladinou napjatou. [5]

Minerální voda

Minerální voda je přirozeně se vyskytující podzemní voda původní čistoty s obsahem rozpuštěných tuhých látek nejméně $1 \text{ g} \cdot \text{l}^{-1}$, nebo s obsahem jiného pro zdraví významného chemického prvku, anebo která má při vývěru přirozenou teplotu vyšší než 20°C . [1]

Přírodní minerální voda se hodnotí podle osmi kritérií. První kritérium je podle celkové mineralizace, dále pak podle obsahu rozpuštěných plynů a obsahu významných složek, podle hodnoty pH, radioaktivity, přirozené teploty u vývěru, osmotického tlaku, využitelnosti a v neposlední řadě podle dominujících aniontů a kationtů. [6]

Povrchové vody

Mezi povrchové vody se řadí všechny vody přirozeně se vyskytující na zemském povrchu. Patří sem vody protékající nebo zadržované v přírodních nebo umělých nádržích. [5] Povrchové vody se dělí na kontinentální vody a na mořskou vodu.

Mezi kontinentální povrchové vody patří jak tekoucí vodní toky, tak i stojaté jako jsou jezera, nádrže a rybníky. Mořskou vodou se rozumí voda v oceánech a v moři.[1][5]

V důsledku znečištění povrchových vod dochází k porušení jejich samočisticí schopnosti. Míra znečištění závisí na množství a složení odpadních vod a vod v recipientu (vodní útvar, do kterého stéká povrchová nebo odpadní voda) Znečištění se projevuje nánosy, změnou chemických a fyzikálních vlastností. Mezi znečišťující látky patří látky působící toxicky (kyanidy, amoniak, tenzidy), látky ovlivňující kyslíkovou bilanci (splaškové a odpadní vody, ropné látky) a netoxické látky (jíl)[5]

2.2.2. Odpadní vody

Odpadní vody jsou vody použité v obytných, průmyslových, zemědělských, zdravotnických a jiných stavbách, zařízeních nebo dopravních prostředcích, pokud mají po použití změněnou jakost (složení nebo teplotu), nebo i jiné vody z nich odtékají, pokud mohou ohrozit jakost povrchových nebo podzemních vod. [1]Odpadní vody se dělí na tři skupiny, na vody splaškové, městské a průmyslové. Splaškové odpadní vody pocházejí z domácností, hygienických stravování, ubytování apod. Městské odpadní vody jsou směsí splaškových a průmyslových odpadních vod. Průmyslové odpadní vody jsou použité a znečištěné při výrobním procesu. Řadí se sem i odpadní vody ze zemědělství.[6]

Hlavním zdrojem znečištění splaškových odpadních vod pochází z moči, fekálií a z kuchyňského odpadu.[6] Složení městských odpadních vod může být ovlivněno průmyslovým znečištěním. Průmyslové odpadní vody mohou být znečištěny jak anorganickými, tak organickými polutanty. Jejich složení se posuzuje jednak z hlediska jejich vypouštění do povrchových vod také z hlediska výpočtu poplatků za vypouštění odpadních vod, ale i z hlediska možnosti jejich chemického nebo biologického čištění.[1]

2.2.3. Pitná voda

Pitná voda je veškerá zdravotně nezávadná voda v původním stavu nebo po úpravě, která nezpůsobuje žádné chronické ani akutní zdravotní potíže přítomnými mikroorganismy nebo jinými látkami. Voda je určena k pití, vaření, přípravě jídel a nápojů a k osobní hygieně. [6]Mezi pitnou vodu neřadíme přírodní léčivý zdroj a přírodní minerální vodu.[1] Zdrojem pitné vody jsou převážně podzemní a povrchové vody.

Hygienické požadavky na zdravotní nezávislost a čistotu pitné vody se stanoví hygienickými limity mikrobiologických, biologických, fyzikálních, chemických a organoleptických ukazatelů. Hygienické limity se stanovují jako nejvyšší mezní hodnota (hodnota ukazatele jakosti pitné vody, jejíž překročení vylučuje používat vodu jako pitnou), mezní hodnota (je hodnota organoleptického ukazatele jakosti pitné vody, jejíž překročení většinou nepředstavuje akutní zdravotní riziko, není-li uvedeno jinak, jedná se o horní přípustnou hranici), doporučená hodnota (Je nezávazná hodnota ukazatele jakosti pitné vody, která stanoví optimální rozmezí koncentrací dané látky)[1]

2.3.Organoleptické a fyzikální vlastnosti vod

Jedná se o vlastnosti vody, které ovlivňují smyslový vjem. Mezi organoleptické vlastnosti vod patří teplota, barva, pach, chuť, průhlednost a zákal. Některé organoleptické vlastnosti můžeme stanovit instrumentální analýzou, patří mezi ně teplota, barva a zákal. Pach a chuť lze stanovit pouze senzorickou analýzou. [9]

Mezi fyzikální vlastnosti vod patří konduktivita, pH, oxidačně redukční potenciál, neutralizační kapacita a celková mineralizace.

2.3.1. Barva

Barva vody může být přírodního nebo antropogenního původu. Přírodní barva vod je způsobena huminovými látkami.[1] Při hodnocení barvy se rozlišuje barva zdánlivá a skutečná. Zdánlivá barva vody je barva vyvolaná rozpuštěnými a nerozpuštěnými suspendovanými látkami, stanovovaná v původním nefiltrovaném a neodstředěvaném vzorku. Skutečná barva vody je způsobená jen rozpuštěnými látkami, stanovená ve vzorku vody zfiltrovaném filtrem s průměrnou velikostí pórů 0,45μm.[9]

Barva vody je optická vlastnost vyvolávající změnu spektrálního složení procházejícího viditelného světla.[9] Barva vody a její intenzita je závislá na pH, oxidačně-redukčním potenciálu a relativní stálosti (hnilobnosti vody)[1].

Barva vody se stanovuje čtyřmi metodami. První metoda zahrnuje stanovení zdánlivé barvy vizuálním pozorováním vzorku vody v láhvi. Poskytuje pouze předběžnou informaci. Používá se v terénní praxi. Druhá metoda zahrnuje stanovení skutečné barvy vzorku vody měřené optickým přístrojem. Metoda je vhodná pro surovou a pitnou vodu, dále pak pro méně zbarvenou průmyslovou vodu. Třetí metoda zahrnuje stanovení skutečné barvy vzorku s použitím optického přístroje porovnáváním s koncentrací

hexachloroplatičitanu při vlnové délce 410 nm. Poslední metoda je založena na stanovení barvy vizuálním porovnáváním se standardními roztoky hexachloroplatičitanu, která je použitelná pro surovou a pitnou vodu.[10]

2.3.2. Pach

Páchnoucí voda je indikací pro podrobnější chemický rozbor. Zápach mohou způsobovat i stopové množství látek. Pach vody má znehodnocující účinky pro využití vody jako pitné. Proto má důležitý význam při hodnocení jakosti pitné vody.[1]

Pach přírodních vod může být způsobem látkami, přirozeně se vyskytující ve vodě. Mezi tyto látky patří sulfan nebo jod, který je obsažen v minerálních vodách. Dále pak látkami biologického původu nebo látkami obsaženými ve splaškových a průmyslových odpadních vodách.[1]

Druh pachu se vyhodnocuje slovně například zemitý, fekální, hnilobný, rašelinový apod. Dále se rozlišuje intenzita pachu, která je vyjádřena ve stupních (Tabulka 1).[1] V případě pochybností se za přijatelná prahová čísla pachu považují 1 a 2 TON při stanovení podle ČSN EN 1622 jakost vod.[11] TON-je prahové číslo pachu, které vyjadřuje koncentraci pachu jednotlivých sloučenin, kdy je jejich vliv ještě postřehnutelný.[9] V normě jsou popsány dvě kvantitativní metody, kdy první je zkrácená a používá se v případě, kdy vzorek nevykazuje žádný pach, nebo má být porovnán se specifickým prahovým číslem. Druhá metoda je úplná a používá se v případě, kdy je zapotřebí stanovit prahové číslo vzorku.[12]

Tabulka 1 Stupnice intenzity pachu

Stupnice	Slovní charakterizace
0	Žádný
1	Velmi slabý
2	Slabý
3	Znatelný
4	Zřetelný
5	Velmi silný

2.3.3. Chut'

Chut' je ovlivňována stejnými látky jako pach. Jsou však i anorganické látky, které ovlivňují chut', ale nikoli pach. Některé minerální složky vod mohou způsobovat nepříjemnou chut'. Avšak pro příjemnou chut' pitné vody jsou anorganické složky v určitých koncentracích důležité.

Chut' vody je výrazně ovlivňována koncentrací vápníku, hořčíku, železa, manganu, zinku, mědi, chloridů, síranu či oxidu uhličitého. Mezi faktory ovlivňující chut' vody dále patří vzájemná kombinace jednotlivých složek a pH, kdy nejvhodnější je pH=6 – 7.[9] Mezi anorganické složky, které ovlivňují chut' vody pozitivně patří vápník, hořčík, hydrogenuhličitany a draslík. A mezi složky, které ovlivňují chut' vody negativně patří měď, železo, mangan, zinek a sírany.[1]

Chut' vody se hodnotí kvalitativně (slovně) i kvantitativně (stupnice) Slovně nestačí rozeznávat vodu sladkou, slanou, kyselou a hořkou. Rozlišuje se i podle příchuti na vodu kovovou, zemitou, plísňovou, louhovitou, železitou a svíravou. V praxi se nejčastěji využívá k hodnocení chuti šestibodová stupnice (Tabulka 2). Kdy stupeň 0- 2 znamenají přijatelnou chut' vody a; 3-5 nepřijatelnou.[1] V případě pochybností senzorické zkoušky se stanovuje prahové číslo chuti kdy TFN 1 a 2 jsou brána za přijatelná při stanovení podle ČSN EN 1622 jakost vod.[11] TFN-je prahové číslo chuti, které vyjadřuje koncentraci chuti jednotlivých sloučenin, kdy je jejich vliv ještě postřehnutelný.[9] Stejně jako u pachu i zde jsou dvě kvantitativní metody (zkrácená metoda, úplná metoda)

Tabulka 2 Stupnice intenzity chuti

Stupnice	Slovní charakterizace
0	Žádná intenzita
1	Sotva znatelná intenzita na jazyce po vyprázdnění úst
2	Znatelná intenzita bez doznívání po vyprázdnění úst
3	Dobře znatelná intenzita s krátkým i dlouhým dozníváním po vyprázdnění úst
4	Silná intenzita v celé ústní dutině se silným a dlouhým dozníváním po vyprázdnění úst
5	Extrémní intenzita v celé ústní dutině s velmi silným až bolestivým vjemem, který okamžitě otupí schopnost receptorů

2.3.4. Teplota

Teplota je nezbytný parametr pro měření kvality vod pro život a pro výskyt ryb. Významně ovlivňuje chemické i biochemické procesy. Teplota se používá pro výpočet např. rozpustnosti tuhých látek a plynů. [1]

Teplota podzemních vod není závislá na ročním období a je konstantní, s výjimkou podzemních vod s mělkým oběhem. Teplota podzemních vod roste s hloubkou formování jejich chemického složení. Pohybuje se nejčastěji okolo 10 °C v hloubce 10 m. Teplota povrchových vod je závislá na ročním období a ovlivňuje rozpustnost kyslíku či rychlost biochemických pochodů. Teplota povrchových vod může být ovlivněna vypouštěním odpadních vod do povrchových vod. Termální voda, je přírodní voda jejíž teplota při vývěru přesahuje 20 °C. Dále se podle teploty vody rozlišuje termální voda vlažná (do 35 °C), teplá (do 42 °C) a voda horká (nad 42 °C).[1]

Pro některé typy vod je doporučena vhodná teplota. Například pro pitnou vodu je doporučená hodnota 8-12 °C.[11] Voda s teplotou nad 15 °C již neosvěžuje a pod 5 °C může poškozovat trávicí trakt. Teplota závlahové vody by měla být vyšší než teplota půdy. Minimálně 10 °C v jarních měsících a maximálně 25 °C v letních měsících.[1]

2.3.5. Průhlednost

Průhlednost vody je způsobena barvou a zákalem vody. Mezi hlavní zdroje patří převážně nerozpuštěné soli nebo koloidní rozpuštěné látky organického i anorganického původu. [9]

Stanovení se provádí semikvantitativními způsoby. V terénu se používá bílá deska, která se spouští po provaze do vody a pozoruje se výška sloupce vody. Při laboratorním stanovení se používá skleněný válec, pod který se položí bílý papír s nápisem a pozoruje se při jaké výšce vody ve válci je písmo nečitelné. Stanovení průhlednosti se doplňuje informací o barvě a zákalu vody.[9]

2.3.6. Zákal

Průhlednost vody bývá snížena zákalem, který je způsoben nerozpuštěnými látkami. Zdrojem nerozpuštěných látek mohou být anorganické i organické látky, které mohou být způsobeny přírodního nebo antropogenního původu. Jedná se především o jílové minerály, bakterie, planktony, detrit (zbytky těl rostlin a živočišných organismů).[1]

Podzemní vody jsou zakalené převážně anorganickými látky. Zatím co organické látky jsou hlavní složkou zákalu splaškové vody. Zákal povrchové vody bývá způsoben splachem půdní vrstev, planktonem a dnovými sedimenty. [1]

Zákal ve vodě se stanovuje čtyřmi metodami. Mezi dvě kvantitativní metody se řadí měření optickými turbidimetry. U pitné vody se měření nefelometricky zářivý tok rozptýlený kapalinou a u velmi zakalených vod jako jsou odpadní a znečištěné vody se měří turbidimetricky útlum zářivého toku procházející kapalinou. Výsledky se porovnávají s kalibračním standardem, kterým je suspenze formazinu. Dále jsou dvě semikvantitativní metody, které se používají v terénu. Pro málo znečištěné vody se používá měření průhlednosti zkušební trubicí a pro povrchové vody se využívá měření průhlednosti zkušební deskou. [13]

Mezní hodnota pro pitnou vodu je 5 ZF (t,n),[11] pro balené pramenité a kojenecké vody je mezní hodnota 2 ZF(t,n). Kdy ZF(t) znamená turbidimetrická formazinová jednotka a ZF (n) znamená nefelometrická formazinová jednotka. Obě jednotky jsou bezrozměrné.[1]

2.3.7. Konduktivita

Konduktivita se řadí mezi základní vlastnosti elektrolytů. Umožňuje odhadnout koncentraci iontově rozpuštěných látek a celkové mineralizace ve vodách. Ve zředěných vzorcích vod je konduktivita lineární funkcí koncentrace iontů. [1]

Konduktivita je převrácenou hodnotou odporu. Jednotkou konduktivity je S/m. Vzhledem k tomu, že hodnoty konduktivity u vod bývají nízké používá se jednotka mS/m.[1]

Důležitou částí při stanovení konduktivity je temperování vzorku, neboť teplota zásadně ovlivňuje výslednou hodnotu konduktivity. V případě, že se roztok vzorku netemperuje na teplotu 25 °C tak se naměřená hodnota podle tabulky přepočítává. Mezi další faktory, které ovlivňují výsledek patří koncentrace iontů, jejich náboj a pohyblivost.[9]

Měření konduktivity může být ovlivněno řadou faktorů, mezi které patří nerozpuštěné látky, např tuky, dehty nebo kovové částice. Dále pak vzduchové bubliny, které mohou vznikat při temperování vzorku na stanovenou teplotu. A v případě velmi

nízké hodnoty konduktivity, kterou vykazují málo mineralizované vody, může být stanovení ovlivněnou atmosférickým oxidem uhličitým a amoniakem.[9]

2.4. Anorganické látky ve vodách

Anorganické látky ve vodách se dělí na kovy a polokovy, nekovy a radioaktivní látky. Kovy se dělí na alkalické kovy (Li, Na, K, Rb, Cs a Fr), kovy alkalických zemin (Be, Mg, Ca, Sr, Ba a Ra) a ostatní kovy (Fe, Mn, Co, Cu). Mezi polokovy patří As a Se. Nekovy se dají rozdělit na halogeny (F, Cl) a ostatní nekovy (N, S, P). Mezi radioaktivní látky, které se stanovují ve vodách se řadí U.

2.4.1. Kovy a polokovy ve vodách

Sodík a draslík

Sodík i draslík se vyskytují v zemské kůře zhruba ve stejném zastoupením (2,5 %). Do vody se dostávají zvětráváním hlinitokřemičitanů (albitu $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$, ortoklasu KAlSi_3O_8 a slíd), dále pak ze sodných ložisek halitu, z minerálů sylvinu a sylvinitu. Mezi další zdroje patří průmyslové odpadní vody z výroby sodných solí. V městských odpadních vodách se hromadí sodík v zimním období v důsledku sypání komunikací chloridem sodným.[1] Sodík i draslík se ve vodách nacházejí převážně ve formách jednoduchých kationtů Na^+ a K^+ . [14]

Sodík v povrchových a v podzemních vodách nemá příliš velký význam, a proto neexistují jejich limity. Jedná se však o esenciální prvek, který se velmi snadno vstřebává do lidského organismu. [1] Vysoké koncentrace sodíku nepříznivě působí na zdraví osob trpící hypertenzí a srdečními chorobami.[15] Limit pro pitnou vodu je $200 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ M(H).[11] Pro kojeneckou vodu je limit $20 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ (MH) a pro balenou pramenitou vodu je limit 100 mg/l (MH).[1]

Vody, obsahující draslík jsou slabě radioaktivní, protože draslík obsahuje 0,011 % radioaktivního izotopu ^{40}K , který emituje záření β a γ . Vytvořená radioaktivita je příčinou přírodního radioaktivního pozadí vod. Proto se draslík stanovuje při posuzování radioaktivity vod, aby se dala přepočítat celková β -aktivita. Limit pro draslík není stanovený pro žádný typ vody.[1]

Vápník a hořčík

Vápník i hořčík se ve vodě vyskytují ve vysokých koncentracích převážně ve formě jednoduchého kationtu Ca^+ a Mg^+ . Do vod se dostávají rozkladem hlinitokřemičitanů vápenatých a hořečnatých např. anortitu $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ a chloritu $\text{Mg}_5\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_8$ dále pak rozpouštěním vápence CaCO_3 , dolomitu $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$, sádrovce $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ a dalších minerálů.[16][1] Koncentrace vápníku i hořčíku závisí na typu podloží. Nejvyšší koncentrace jsou pozorovány u podloží, které tvoří sedimentární horniny nebo kvartérní usazeniny. Z antropogenního hlediska se jako zdroje vápníku uvádějí průmyslové odpadní vody z důlních činností nebo z chemického průmyslu.[17] Zastoupení hořčíku bývá ve většině případů nižší než vápníku. Záleží však na typu vody.[9]

Nejnižší koncentrace vápníku se vyskytují v atmosférických vodách jedná se o hodnoty pod $1 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$, zatímco v minerálních vodách se běžně koncentrace pohybuje okolo $100 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ v některých případech až okolo 500 mg/l . [1] Mezní hodnota pro pitnou vodu je $30 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ a doporučená hodnota se pohybuje v rozmezí mezi $40\text{-}80 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$. [11]

Stejně jako u vápníku i hořčík má nejnižší koncentraci v atmosférických vodách, kde se hořčík nevyskytuje ve vyšších koncentracích než $1 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ stejně jako vápník. V minerálních vodách se koncentrace hořčíku může pohybovat až okolo 200 mg/l . Mezní hodnota pro pitnou vodu je $10 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ a doporučená hodnota je $20\text{-}30 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$. [11]

Vápník společně s hořčíkem se podílí na tvrdosti vody. Dočasná tvrdost vody je způsobena hydrogenuhličitanem vápenatým a hořečnatým. A lze odstranit povařením.[16] Trvalá tvrdost vody je způsobena chloridy, sírany, dusičnany a křemičitany vápenatými a hořečnatými.[17]

Železo

Železo se vyskytuje ve vodách v oxidačních stupních II a III. Jednotlivé formy závisí na pH, oxidačně-redukčním potenciálu a komplexotvorných látkách. Železo v oxidačním stupni II se vyskytuje v bezkyslíkatém prostředí, zatímco ve vodách, kde je obsažen rozpuštěný kyslík se železo nachází v oxidačním stupni III. [18]

Zdrojem železa ve vodách jsou převážně železné rudy jako je pyrit FeS_2 , krevet Fe_2O_3 , siderit FeCO_3 a další. V malém množství se železo dostává do vod výluhem

přírodních hlinitokřemičitanů. Antropogenním zdrojem železa jsou průmyslové odpadní vody a vodovodní potrubí, ve kterých probíhá koroze. [1]

V podzemních vodách koncentrace železa v oxidačním stupni II dosahuje až desítek $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$. Vody v blízkosti kamencových ložisek mohou obsahovat železo v koncentracích až $1000 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$. Minerální voda s obsahem železa nad $10 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ se nazývá železnatá a využívá se v lázeňství. Mezní hodnota pro pitnou vodu je $0,20 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$. [11]

Železo ovlivňuje nepříznivě organoleptické vlastnosti vod (barvu, chuť a zákal). A způsobuje technické závady, tím že zbarvuje materiály jako jsou papíry, textilie a keramiku do žluto-hněda. [1]

Mangan

Mangan doprovází v přírodních vodách velmi často železo a vyskytuje ve vodách v mnoha formách. Především však v oxidačních stupních II, III a IV. A jedná se buď o rozpuštěné nebo nerozpuštěné formy. V anaerobním prostředí je nejstabilnější Mn^{II} , zatím co v aerobním prostředí je nestabilní a oxiduje na Mn^{III} nebo Mn^{IV} . Mangan s oxidačním stupněm VII má malý význam v technologii vod. [1]

Mezi hlavní zdroje manganu ve vodách patří manganové rudy zejména burel MnO_2 , braunit Mn_2O_3 a další. Dále pak výluhem půdy a sedimentů. Antropogenním zdrojem manganu může být průmyslová odpadní voda a z chemických provozů. [1]

Koncentrace manganu bývá nižší než koncentrace železa. Nejběžnější koncentrace se pohybují pod hranici $1 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$. Vyšší koncentrace manganu se nacházejí pouze v kyselých vodách v okolí nalezišť rud, a v odpadních vodách z metalurgických výroben, kde se mangan využívá jako oxidační činidlo. [1] Mezní hodnota pro pitnou vodu je $0,05 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$. [11]

Stejně jako železo i mangan negativně ovlivňuje organoleptické vlastnosti jako je barva, chuť a zákal. [7] Avšak mangan je závadnější než železo, a proto má nižší povolený limit pro pitnou i provozní vodu. Dále pak nadměrné množství manganových bakterií může způsobovat zarůstání vodovodního potrubí. [1]

Selen

Selen se nejčastěji vyskytuje ve vodách v oxidačních stupních IV, VI a-II dále pak v elementární formě. Jednotlivé formy závisí na hodnotě pH a oxidačně redukčním potenciálu. [1]

Hlavním zdrojem selenu jsou sulfidické rudy různých kovů, protože selen doprovází síru. Velké množství je v pyritu FeS_2 a v ropě. Malá množství jsou obsažena taková v půdě, převážně ve formě selenidů. Do podzemních a povrchových vod se selen dostává v důsledky spalování fosilních paliv s obsahem síry.[1]

Selen není součástí běžných rozborů vod, neboť jeho koncentrace nedosahuje dostatečně vysokých koncentrací. Nejvyšší mezní hodnota pro pitnou vodu je $10 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$. [11]

Arsen

Dominantními formami výskytu arsenu ve vodě jsou oxidační čísla III a V. Vyskytuje se také v menší míře organicky vázaný. $[\text{As}^{\text{III}}]$ se oxiduje na As^{V} buď to chemicky nebo biochemicky. [1]

Arsen můžeme najít převážně v sulfidických rudách např. v arsenopyritu FeAsS . Do vod se dále dostává zvětráváním hornin a půdy. Mezi antropogenní zdroje arsenu patří spalovny fosilních paliv, rozkladem uhynulých těl živočichů.[20] Určité množství arsenu se nachází také v elektrárenském popílku.[1]

Arsen je běžnou součástí podzemních a povrchových vod, kde jeho koncentrace dosahují rozmezí jednotek až desítek $\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$. [1] Nejvyšší mezní hodnota pro pitnou vodu je $10 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$. [11]

Arsen je jedovatý a při dlouhodobém užívání v nižších koncentracích způsobuje chronické onemocnění zvané arsenikóza. As^{V} je několikanásobně méně toxický než As^{III} . Dále byly u arsenu prokázány karcinogenní a teratogenní účinky. Arsen má schopnost kumulovat v plaveninách a říčních sedimentech. Jeho adsorpce a následné uvolňování ze sedimentů může být důležitým faktorem ovlivňující koncentraci arsenu ve vodách.[1]

2.4.2. Nekovy ve vodách

Mezi nekovy, které se stanovují ve vodách patří sloučeniny fluoru, chloru, dusíku a síra.

Fluor

V přírodních vodách se fluor nachází ve formě fluoridů. V kyselém prostředí se protonizuje na kyselinu fluorovodíkovou. Nejstabilnější komplexy vytváří s Al^{II} a Fe^{III} . S hliníkem vytváří komplexy fluorohlinitanů a s železem vytváří fluoroželezitany. Tvorba komplexů závisí na pH a na koncentraci fluoridů. [1]

Fluor se do vody dostává vyluhováním minerálů např. fluoritu CaF_2 nebo apatitu Na_3AlF_6 . Z antropogenního hlediska mezi zdroje fluoru se řadí odpady z chemického průmyslu, atmosférická depozice, spalováním fosilních paliv. [17]

V povrchových a podzemních vodách se fluoridy nacházejí v relativně nízkých rozmezích setin až desetin $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$. Hodnota je ovlivňována geologickým podložím. [1] Maximální mezní hodnota fluoridů pro pitnou vodu je $1,5 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$. [11]

Fluor se řadí mezi esenciální prvky. Jeho doporučená dávka pro dospělého člověka je 1,5 až 4 mg. Lepším zdrojem fluoru pro člověka je pitná voda, dále pak potraviny jako jsou mořské ryby a některé druhy zelenin. Z důvodu zjištění pozitivního vlivu fluoridů na zubní kazy, se zavádí fluoridy uměle do vody. Na druhou stranu vyšší koncentrace fluoridů způsobují chronická onemocnění. Jedná se o koncentrace nad $4 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$. [1]

Chlor

Ve vodách se chlor nachází ve formě chloridů, chlornanu, kyseliny chlorné, elementárního chloru, chloraminu, chloristanu a chlorečnanu. Přičemž chloridy patří mezi nejrozšířenější formu výskytu. Naopak celkový aktivní chlor nepatří mezi základní složky, které se stanovují. [9]

Hlavním zdrojem chloridů je halit (NaCl) a sylvín (KCl). Mezi další významné zdroje patří lidská moč, kdy lidské tělo vyloučí až 9 g chloridů za den, dále pak komunální odpadní vody a chemický průmysl. V zimním období se velké množství chloridů do vod dostává z posypové soli. [17]

Mezi aktivní chlor patří veškeré formy chloru, které oxidují jodidy na jod v kyselém prostředí. Celkovým aktivním chlor se dělí na volný chlor, vázaný chlor

a celkový chlor. Volným chlorem se rozumí kyselina chlorná, chlornanový iont nebo elementární chlor. Vázaný chlor je veškerý chlor ve formě chloraminu a organického chloraminu. Celkový chlor je volný chlor nebo vázaný chlor. [1]

Chloridy jsou ve vodách stabilní jak po chemické stránce, tak po biochemické. K oxidaci dochází pouze v případě vysokých hodnot oxidačně-redukčního potenciálu, který se v přírodních vodách za normálních podmínek nevyskytuje.[1]

V úpravě pitné vody se chlor využívá k dezinfekci vody, aby se zajistila baktericidní nezávadnost vod. Jeho výše závisí na množství přítomných organických látek ve vodě. Ve vyšších koncentracích ovlivňuje pach a chuť. Minimální množství chloru ve vodě z hygienických důvodů je stanovena na $0,05 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$. [1] Nejvyšší mezní hodnota chloridů pro pitnou vodu je $100 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$. [11]

Síra

Síra se ve vodách vyskytuje nejčastěji ve formě síranů, sulfanů a sulfidů. Z organických sloučenin obsahující síru se nejčastěji vyskytují bílkoviny, thiole a sulfosloučeniny. V aerobním prostředí jsou stabilní sírany, na sulfidy se redukují až v anaerobním prostředí a při velmi záporných hodnotách oxidačně-redukčního potenciálu jsou stabilní sulfidy.[9]

Hlavní zdrojem síranů je sádrovec $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ a anhydrid CaSO_4 . [1] Z antropogenních hledisek se sírany do vod dostávají z průmyslových odpadních vod a spalováním fosilních paliv. [17]

Sírany, chloridy a hydrogenuhličitanů patří mezi hlavní anionty přírodních vod. Avšak za určitých podmínek může být koncentrace síranů velmi malá, kdy v aerobním prostředí ve fosilních ropných vodách dochází k biochemické redukci síranů na sulfidy. V podzemních vodách se koncentrace pohybuje v rozmezí desítek až stovek mg/l . Mezní hodnota pro pitnou vodu je $250 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$. [1]

Obsah síranů v podzemní vodě nemá hygienický význam. Ve vysokých koncentracích ovlivňuje negativně chuť, která je však ovlivněna přítomnými kationty a společně s vysokou koncentrací sodíku a hořčíku má laxativní účinky.[1]

Dusík

Dusík se ve vodě vyskytuje v různých formách a oxidačních stupních. Stanovuje se i celkový dusík, který se skládá z anorganicky vázaného dusíku a organicky vázaného dusíku. Z hlediska kvality vody mezi nejdůležitější anorganické sloučeniny patří amoniakální dusík, dusičnany a dusitany.[17]

Dusík stejně jako fosfor je nezbytný pro vývoj mikroorganismů. Využívá se při biologických procesech v povrchových, podzemních i v odpadních vodách. Mezi zdroje znečištění převažují přírodní zdroje před antropogenními. A jednotlivé formy dusíku mají charakteristické zdroje znečištění.[1]

Amoniakální dusík

Amoniakální dusík se vyskytuje ve všech typech vod. Nachází se ve dvou formách buď jako disociovaný iont NH_4^+ nebo jako nedisociovaný NH_3 . Jednotlivé formy závisí na hodnotě pH a na teplotě vody.[17]

Přírodní zdroj amoniakálního dusíku se běžně ve vodách nevyskytuje. Hlavním zdrojem znečištění jsou odpadní vody, odpady ze zemědělství a z chemického průmyslu. Dále pak z dusíkatých hnojiv, kde dochází ke splachu a prosakování do povrchových a podzemních vod.[17]

V podzemních vodách se obsah amoniakálního dusíku pohybuje ve velmi nízkých hodnotách. Výjimku tvoří podzemní vody znečištěné hnojivy s obsahem dusíku a fekáliemi.[1]

Amoniakální dusík způsobuje korozi mědi a jejích slitin. Nedisociovaná forma je toxická pro ryby. Toxicita závisí na hodnotě pH. Z hygienického hlediska je velmi důležitý, neboť slouží jako indikátor znečištění podzemních vod. [1] Nejvyšší mezní hodnota pro NH_4^+ je $0,5 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ a pro NH_3 je $0,01 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$. [17]

Dusičnany

Stejně jako amoniakální dusík tak i dusičnany se nacházejí ve všech druzích vod. Avšak v různých hodnotách koncentrace. Nejnížší koncentrace dusičnanů jsou ve srážkových vodách nejvyšší koncentrace v povrchových a v podzemních vodách.[17]

Nejvýznamnějším zdrojem dusičnanů jsou hnojiva obsahující dusičnany, které se do vod dostávají splachem polí a luk.[21] Díky vysoké retenci dusíku, se dusičnany

uvolňují do podzemních vod i po odstranění příčiny znečištění. Dále dusičnany vznikají při nitrifikaci amoniakálního dusíku. V minerálech se dusičnany vyskytují jen ojediněle. [17]

V podzemních vodách koncentrace dusičnanů je proměnná. Závisí na typu podloží. Typickým příkladem jsou písčité oblasti s borovými lesy nebo [1]

V období vegetace (jaro, léto) je koncentrace dusičnanů v přírodních vodách nejnižší, neboť jsou dusičnany využívány jako zdroj živin pro vegetaci. Naopak nejvyšší koncentrace jsou v mimovegetačním období (podzim, zima), protože dochází ke splachu z půdy. [1]

Dusičnany způsobují methemoglobinemii. Z tohoto důvodu je množství dusičnanů v pitné vodě limitován a řadí se mezi základní stanovení ukazatelů pitné vody. Kojenecká voda nesmí obsahovat více než $15 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$. [9] Pro dospělého člověka je nejvyšší mezní hodnota $50 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$. [11]

Dusitany

Dusitany se v přírodních vodách nevykytují. Objevují se tam pouze v případě znečištění antropogenními zdroji. Kde hlavním zdrojem jsou odpadní vody z chemického průmyslu. [1] Dále dusitany se ve vodách vytvářejí díky nitrifikaci amoniakálního dusíku, kdy vzniká jako meziprodukt. Nebo denitrifikací dusičnanů. [17]

Stejně jako dusičnany i dusitany slouží jako indikátor fekálního znečištění. Neboť patří mezi produkty rozkladu organického dusíku obsaženého v živočišných odpadech. Jsou toxické pro ryby a vodní organismy i ve velmi malých koncentracích. [17]

Koncentrace vodíkových iontů-pH

pH je definováno jako záporný dekadický logaritmus aktivity vodíkových iontů. Vlivem interakce iontů je koncentrace vodíkových iontů větší než jejich aktivita. Pouze u velmi zředěných roztoků se aktivita blíží hodnotě koncentrace. [11]

Hodnota pH má výrazný vliv na chemické biochemické a fyzikální procesy probíhající ve vodách. Slouží k rozlišení jednotlivých forem prvků a jedná se o jeden z parametrů, podle kterých se posuzuje agresivita vody. [5]

K měření pH se používají indikátorové papírky, barevné indikátory a elektrochemické metody, kde mezi nejčastěji používané metody patří potenciometrické

stanovení pH. Výsledek měření může být ovlivněn teplotou, obsahem některých plynů a organických látek. [6]

2.4.3. Radioaktivní látky

Radioaktivní látky ve vodách jsou přítomné především ve stopových koncentracích v rozpuštěné nebo nerozpuštěné formě. Vyskytují se tam ve třech formách (iontové, neiontové a koloidní). Jednotlivé formy závisí na pH, oxidačně-redukčním potenciálu a na složení vody. [1]

Mezi případné zdroje znečištění patří se řadí jaderné elektrárny, sklady jaderného paliva, dále také doly, kde se těží uranová ruda. Největším rizikem úniku radioaktivních látek představuje havárie jaderné elektrárny.[17]

Nebezpečí radioaktivního znečištění spočívá převážně v tom, že nelze odhalit smyslovými orgány a v jeho schopnosti kumulace v biomase. [1]

Uran

Uran se nejčastěji vyskytuje v oxidačním stupni IV a VI, závisí na hodnotě pH a na oxidačně-redukčním potenciálu. Uran v oxidačním stupni V je nestabilní. Vody obsahující nízkou koncentraci CO_2 obsahují U^{VI} ve formě hydroxokomplexů, mononukleární nebo polynukleární. Naopak v hydrogenuhličitanových vodách při pH nad 5 karbonátokomplexy.[1]

Rozpuštěný uran ve velmi nízkých koncentracích se běžně vyskytuje ve většině přírodních vodách. Typické koncentrace uranu ve vodách je v jednotkách $\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$. Přestože podzemní vody kontaminované uranem je způsobena antropogenními zdroji, jako je těžba uranu, zpracování uranových rud, výroba a likvidace radioaktivních materiálů. Mezi Další možné zdroje uranu patří výroba i samotné používání fosfátových hnojiv.[22] Uran v podzemní vodě se často vyskytuje v důsledku přírodních geochemických procesů.[23]

Uran má radiologické a toxikologické účinky na člověka. A byly také prokázány renální účinky na buňky ledvinových tubulů. Byl prokázán vliv uranu na rakovinu plic a spekuluje se, zda nemá nepříznivé účinky na rakovinu kůže. [22]

2.5.Organické látky ve vodách

Organické látky v přírodních vodách jsou buď přírodního nebo antropogenního původu. Mezi přírodní zdroje patří výluhy z půdy a sedimentů a produkty rozkladů rostlinných a živočišných organismů a bakterií. [17]Mezi antropogenní zdroje patří splaškové a průmyslové odpadní vody. Dále z odpadů ze zemědělství a ze skládek.[17][1]

Z hygienického hlediska je důležitou vlastností organických látek jejich míra biochemického rozkladu. Rozlišují se látky, které podléhají biochemickému rozkladu a látky rezistentní, které se mohou usazovat v hydrosféře a v půdě. Mezi rezistentní látky patří polyhalogenované organické látky a polyaromatické uhlovodíky. [17]

Organické látky ovlivňují chemické i biologické vlastnosti vod. Mohou být karcinogenní, mutagení nebo teratogenní. Mohou ovlivňovat organoleptické vlastnosti vod jako je barva vody, pach a chuť. V povrchových vodách mohou vytvářet vrstvu na hladině vody, a tím omezovat přístup kyslíku do vody.[1]

2.5.1. Celkový organický uhlík (TOC)

Celkový organický uhlík je parametr ukazující celkové množství organických látek přítomných v analyzovaném vzorku vody. Slouží jako nespecifický ukazatel kvality vody.[17] Celkový organický uhlík se skládá z rozpuštěného a z nerozpuštěného organického uhlíku. Celkový uhlík se skládá z celkového anorganického uhlíku a celkového organického uhlíku. TOC se vyjadřuje v miligramech uhlíku na jeden litr vody.[24]

Mezi přírodní antropogenní zdroje TOC patří rozklad odumřelých organismů a produktů jejich metabolických pochodů. Mezi antropogenní zdroje patří splaškové odpadní vody, odtoky ze siláží ze zemědělsky využívaných ploch a odpadní vody z produkce ryb a z potravinářského průmyslu.[25]

2.6.Metody obvykle používané pro stanovení jednotlivých polutantů

Pro stanovení jednotlivých polutantů byly využity následující metody. Pro stanovení kovů a polokovů byla využita metoda hmotnostní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem. Pro stanovení aniontů byla použita iontová chromatografie. A celkový organický uhlík se stanovil pomocí TOC analyzátoru.

2.6.1. Hmotnostní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem

ICP-MS

ICP-MS je analytická metoda používaná ke stanovení obsahu stopových prvků ve stanovovaném vzorku. Tato analytická technika umožňuje současné stanovení více prvků. Mezi hlavní výhody patří nízká mez detekce, rychlost, citlivost a možnost stanovení izotopových poměrů. Mezi hlavní nevýhody patří vyšší pořizovací a provozní náklady. [26] ICP-MS kombinuje vysokoteplotní zdroj ICP (inductively Coupled Plasma) s hmotnostním spektrometrem. Zdroj ICP konvertuje atomy prvků ve vzorku na ionty. Ionty jsou následně odděleny a detekovány hmotnostním spektrometrem.[27]

Vzorek ve formě roztoku je nasáván pomocí peristaltické pumpy do zmlžovače, který převede kapalný vzorek na aerosol. Následně je aerosol unášen proudem argonu do mlžné komory, kde dochází k odstranění nežádoucích částic aerosolu s vysokým průměrem. Přečištěný aerosol je unášen do plazmového výboje, kde se vytvářejí ionty. Následuje přechod z atmosférického tlaku do vakuové části hmotnostního spektrometru. K přechodu se využívají dva kónusy, kde v meziprostoru za prvním kónusem je tlak v řádech stovek pascalů a po průchodu druhým kónusem se vzorek dostane do oblasti s tlakem 10^{-4} Pa. Po vstupu do vakuové části je proud iontů naváděn pomocí iontové optiky do kvadrupólového analyzátoru. Kvadrupólový analyzátor slouží k separaci jednotlivých iontů podle poměru m/z . Separované ionty následně dopadají na detektor.[28][29][26]

Spektrální interference

Spektrální interference vznikají v důsledku překrytí atomových hmotností různých prvků. Mezi spektrální interference patří izobarický překryv, tvorba polyatomických iontů, tvorba dvojnásobně nabitých iontů a tvorba oxidovaných a hydroxidovaných iontů. [28]

Izobarický překryv nastává v případě, kdy dva různé izotopy mají téměř stejnou hmotnost. Izobarický překryv není příliš významný, protože je snadno odstranitelný. Buď použitím vhodného izotopu nebo matematickou korekcí. [28]

Mezi významnější interference patří tvorba polyatomických iontů. Vznikají reakcí dvou či více druhů iontů. Zvýšený počet těchto iontů je pozorován v oblasti do 82 m/z . Množství vzniklých iontů závisí na koncentraci analytů, zmlžovači, nastavení plazmatu a vstupních kónusů. Mezi hlavní složky polyatomických iontů patří vodík, kyslík, argon

a dusík. Další typy interferencí vznikají v závislosti na obsahu vzorku. Mohou vznikat interference s chlorem, fosforem, s atomy síry, sodíku i draslíku. Mezi důležité prvky, které vytvářejí interference patří také uhlík. V Tabulka 3 je výčet nejčastěji vytvářených polyatomických interferencí.[29][28]

Tabulka 3 Polyatomické interference v ICP-MS

Izotop	Interference
⁷⁵ As	⁴⁰ Ar ³⁵ Cl
⁵² Cr	³⁷ Cl ¹⁶ O
⁵⁶ Fe	⁴⁰ Ar ¹⁶ O
⁴⁰ Ca	⁴⁰ Ar
⁶³ Cu	²³ Na ⁴⁰ Ar
⁷⁷ Se	³⁷ Cl ⁴⁰ Ar

Dvojnásobně nabité ionty se vytvářejí při ionizaci do druhého stupně u prvků s nízkým ionizačním potenciálem (do 14 eV). Mezi tyto prvky patří především kovy vzácných zemin, alkalických zemin a některé přechodné kovy (skandium, titan a zirkonium). Dvojnásobně nabitý iont se jeví jako jednonásobně nabitý iont s poloviční hmotností. Tvorba těchto iontů závisí na průtoku argonu zmlžovačem a na radiofrekvenčním příkonu do plazmatu.[29]

Tvorba oxidovaných a hydroxidovaných kovů převážně ve formě monooxidů a monohydroxidů MeO⁺ a MeOH⁺ vznikají nedokonalou atomizací vzorku nebo reakcí atomů kovů se vzdušným kyslíkem. Mezi účinné metody omezení oxidovaných iontů patří desolvace aerosolu, přidavek dusíku do plazmatu a velikost průtoku argonu zmlžovačem.[28]

Nespektrální interference

Nespektrální interference jsou způsobeny velkým množstvím matričních prvků ve vzorku. Vznik těchto interferencí je způsoben vlivem rozpuštěných tuhých látek ve vzorku nebo ionizačních rovnováhou vlivem matričních prvků. Vysoký podíl matričních prvků ve vzorku lze omezit ředěním vzorku, volbou vhodného vnitřního standardu, měřením metodou standardního přídatku nebo kombinací těchto postupů. [28]

2.6.2. Iontová chromatografie

Iontová chromatografie je analytická metoda používaná pro separaci a stanovení anorganických iontů nebo slabých organických kyselin v roztoku. Iontová chromatografie se řadí do podskupiny metody HPLC. Iontová chromatografie se využívá k analýze aniontů v pitné a průmyslové vodě, dusičnanů v zelenině, fluoridů v zubní pastě nebo organických kyselin v nápojích. Mezi hlavní výhody patří rychlost, nízká mez detekce a dobrá reprodukovatelnost výsledků. [30][31]

Iontovou chromatografie se rozděluje podle náboje analytu na kationtovou a aniontovou. K separaci iontů dochází působením elektrostatických interakcí mezi ionty. Separace probíhá v koloně, kde dochází k zachytávání stanovovaných analytu do stacionární fáze, která je ukotvena v chromatografické koloně a na svém povrchu má funkční skupiny nesoucí opačný náboj jak analyt. Mezi mobilní fází a stacionární fází dochází ustanovení dynamické rovnováhy. Složky vzorku, které interagují více, vyjdou z kolony jako poslední. Nejpoužívanějším detektorem je vodivostní detektor. [31][32]

Obsah mobilní fáze se vybírá podle typu analýzy. Pro kationtovou analýzu se nejvíce používají mobilní fáze obsahující vodu a silné minerální kyseliny. Pro aniontovou analýzu se používají mobilní fáze na bázi vody a solí nebo směsí solí. U aniontové analýzy je zapotřebí potlačit vodivost pozadí. Ke snížení vodivosti pozadí a zvýšení citlivosti detekce se používá supresor. Suprese je buď chemická nebo elektronická, popřípadě elektrochemická. U kationtové analýzy není zapotřebí upravovat vodivost pozadí. [32]

Stacionární fáze je tvořena buď anorganickými nebo organickými materiály. Nejvíce jsou využívány mobilní fáze ze silikagelu nebo z modifikovaných organických polymerů na jejím povrchu jsou zakotveny funkční skupiny. [32]

2.6.3. TOC analyzátor

Stanovení obsahu TOC ve vzorku vod se provádí dvěma způsoby, a to buď metodou vytěšňovací nebo diferenční. Metody jsou založeny na termické nebo mokré chemické oxidaci organického uhlíku na CO_2 . Oxid uhlíčitý se následně detekuje a vyhodnotí. [33]

Vytěšňovací metoda je vhodná pro vzorky, které obsahují TIC (celkový anorganický uhlík) vyšší než TOC. Nebo s velmi nízkým obsahem TIC. Stanovení probíhá jedním měřením, kdy se nejprve odstraní anorganický uhlík okyselením

a následným vytěsněním. Pro okyselení se nejčastěji používá kyselina trihydrogenfosforečná nebo kyselina chlorovodíková.[33]

Diferenční metoda je vhodná pro vzorky, které obsahují těkavé organické sloučeniny nebo obsah TOC je roven nebo vyšší jak TIC. Stanovení se provádí dvojím měřením, kdy se nejprve změří celkový uhlík TC a následně celkový anorganický uhlík TIC. Hodnota TOC se následně vypočítá jako rozdíl TC a TIC. [33]

Termická oxidace je založena na spalování organického uhlíku ve vysokých teplotách v přítomnosti katalyzátoru. Jako katalyzátor se nejčastěji používá platina nebo kobalt.[34]

Oxidace na mokré cestě je založena na chemické nebo fotochemické reakci. Provádí se například oxidací peroxodisíranem za vyšší teploty (cca 95 °C) nebo působením UV záření. Následně se CO₂ stanoví fotometricky v IR oblasti spektra, konduktometricky nebo coulometrickou titrací. Popsaná metoda je citlivější jak termická oxidace, avšak některé organické látky se neoxidují úplně. Patří mezi ně například močovina nebo kyselina octová.[34]

3. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

3.1. Použité chemikálie

Použity byly chemikálie v požadované analytické kvalitě a demineralizovaná voda.

ICP-MS

- Kyselina dusičná konc. 65%, Suprapur Nitric acid, Merck
- ICP-MS-200.8-CAL-1R, AccuStandard
- AN9091MN ASTASOL, Analytica
 - Analyty: Ca, K, Mg, Na, koncentrace: 1000 mg·l⁻¹
- Multielement Standard Solution 3 for ICP, Sigma-Aldrich
- TMDA 51,5 A trace element fortified sample, NWRI Kanada

IC

- Sodium carbonate, p.a., Sigma - Aldrich
- Anion multi-element standard I, Merck
 - 1000 mg·l⁻¹ F⁻, PO₄³⁻, Br⁻
- Anion multi-element standard II, Merck
 - 1000 mg·l⁻¹ Cl⁻, NO₃⁻, SO₄²⁻
- Dusitany standardní roztok, Merck
 - 1000 mg·l⁻¹ NO₂⁻
- Sulfate standard solution 1000 mg/l SO₄²⁻, Merck
 - 1000 mg·l⁻¹ SO₄²⁻
- AN9072(1H) ASTASOL, Analytica
 - 1000 mg·l⁻¹ Cl⁻
- Nitrate standard solution, Merck
 - 1000 mg·l⁻¹ NO₃⁻
- AN9073(1H) ASTASOL, Analytica
 - 1000 mg·l⁻¹ F⁻
- Nitrite standard solution, Merck
 - 1000 mg·l⁻¹ NO₂⁻

TOC analyzer

- TOC calibration/verification standard 2000 mg·l⁻¹, Carson ERA

pH

- Potassium dihydrogen phosphate, Fluka Chemika

- Di-Sodium hydrogen phosphate dihydrate, Merck
- pH 4 Buffer Solution, Hamilton
- pH 7 Buffer Solution, Hamilton

Conduktometr

- kalciumchlorid 0,01 mol·l⁻¹, Marck
- vodivostní standard 1413 µS ·cm⁻¹ (25 °C), Chromservis

3.2. Použité přístroje

- Conductivity meter LF 538
- pH meter pH 540 GLP WTW
- ICP-MS 7500 series, Agilent Technologies
- Auto sampler CETAX ASX – 520
- 930 Compact IC Flex, Metrohm
- 858 Professional Sample Processor, Metrohm
- TORCH Combustion TOC/TN Analyzer, Teledyne Tekmar

3.3. Odběr vzorků

Jednotlivé parametry byly sledovány v pěti vzorcích podzemních vod. Odběry jsem prováděla 1krát měsíčně v období od dubna 2018 do března 2019. Měření probíhalo rok, aby se dalo vyhodnotit, zda má roční období vliv na znečištění podzemních vod, popřípadě zjistit příčinu znečištění.

Vzorky vod jsem odebírala do plastových lahvích o objemu 500 ml. Každá láhev byla popsána, aby nedošlo k záměně. Odběry jsem prováděla vždy den před stanovením. Při odběru jsem změřila teplotu vzorku a označené láhve umístila do lednice. Následující den, jsem vzorky zpracovávány ve zdravotním ústavu na oddělení anorganických analýz.

3.3.1. Odběrná místa

Vzorky podzemních vod jsem odebírala ze studní. Jednotlivé studny jsem vybírala tak, aby se každá nacházela v jiné části dané oblasti (okres Hodonín), popřípadě v jiném typu půdy.

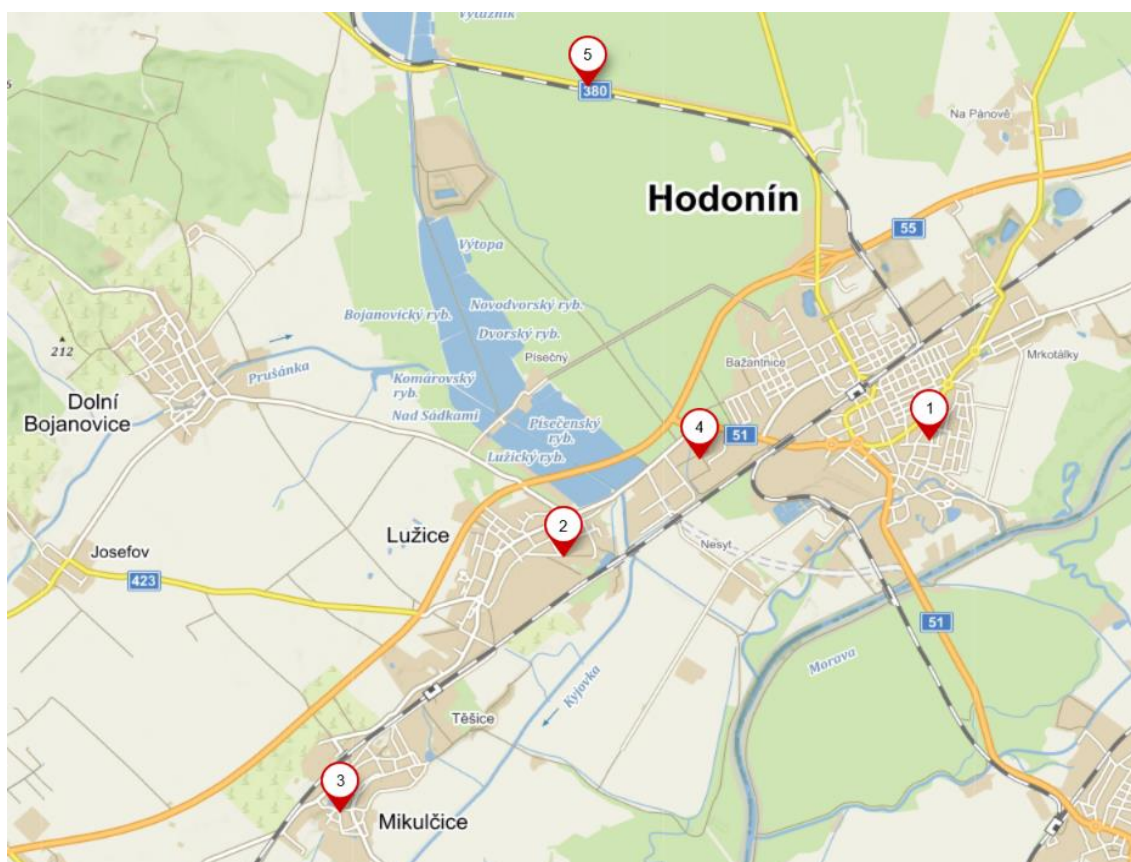
První studna značená písmenem A se nachází v centru města Hodonína. Studna byla vykopaná okolo roku 1920. Hloubka studny je 8 metrů. Studna se nachází v půdě zvaná antropozem. Půda se vyznačuje tím, že byla vytvořena člověkem z těžební a stavební činnosti.

Druhá studna značená písmenem B se nachází v obci Lužice ležící 4 km od města Hodonína. Studna byla vykopána v roce 2001 a je hluboká 4 metry. Půda v ní, je studna vyvrtána se nazývá regozem arenická. Půda vyvinutá ze sypkých sedimentů, převážně z křemenných písků.

Třetí studna značená písmenem C se nachází v zahrádkářské oblasti mezi Hodonínem a obcí Lužice. Studna vznikla v roce 1998 a je hluboká 5 metrů. Studna je v oblasti, kde převažuje černozem arenická. Jedná se o hlubokohumózní půdu, jež se vyvinula z karbonátových sedimentů.

Čtvrtá studna značená písmenem D se nachází taky v zahrádkářské oblasti tentokrát mezi Hodonínem a obcí Mutěnice. Studna byla vyvrtána v roce 2004 a je hluboká 6 metrů. Studna se nachází v půdě zvaná kambizem arenická. Půda vzniklá z magmatických, metamorfických a zpevněných sedimentárních hornin.

Pátá studna značená písmenem E se nachází v obci Mikulčice. Studna vznikla v roce 1984 a je hluboká 7 metrů. Studna se nachází ve stejném typu půdy jako studna C zvané černozem arenická. [35]



1- Studna A 2- Studna B 3- Studna C 4- Studna D 5- Studna E

Obrázek 2 Mapa s body jednotlivých studní

3.4. Metody stanovení jednotlivých polutantů

3.4.1. Ca, Mg, Fe, Mn, Se, U, Na, K, As

Pro stanovení kationtů ve vzorkách vod byla použita metoda ICP-MS využívající vícekanálový elektronásobič jako detektor. Pro eliminaci interferencí byla použita kolizní cela a helium jako kolizní plyn. Pouze u U^{238} byla použita jen kolizní cela pro odstranění rušivých vlivů. A u Fe^{56} , As^{75} , Se^{78} byl použit pouze kolizní plyn.

Jako interní standard byl použit ICP-MS-200.8-CAL1R-1 a ASTASOL AN9091MN. V Tabulka 4 je přehled kalibračních schémat a použité mody pro jednotlivé prvky. Kontrolní standardy jsou připraveny z jiných standardů, než je připravena kalibrační sada. V tabulce č.5 je přehled použitých kalibračních a kontrolních standardů pro jednotlivé prvky. Kyselina dusičná se používá ke stabilizaci vzorků a stejné množství se přidává i do všech kontrolních i vnitřních standardů včetně blanku.

Tabulka 4 Kalibrační schéma, měřené izotopy a použité mody pro jednotlivé prvky

Hmota	Prvek	Mod	Jednotky	STD1	STD2	STD3	STD4	STD5	STD6
23	Na	N, He	ppm	-	-	-	1,000	20,00	100,0
24	Mg	N, He	ppm	-	-	-	1,000	20,00	100,0
39	K	N, He	ppb	-	-	-	1,000	20,00	100,0
44	Ca	N, He	ppm	-	-	-	1,000	20,00	100,0
55	Mn	N, He	ppb	-	10,00	-	50,00	250,0	1000
56	Fe	He	ppb	-	-	-	100,0	500,0	2000
75	As	He	ppb	1,000	10,00	100,0	-	-	-
78	Se	He	ppb	5,000	50,00	500,0	-	-	-
238	U	N	ppb	1,000	10,00	100,0	-	-	-

Poznámka:

N – normal (kolizní cela)

He – kolizní plyn helium

Tabulka 5 kalibrační standardy a kontrolní standardy pro jednotlivé prvky

Prvek	Kalibrace	Kontrolní standard
Na	Astasol	MULTI-3
Mg	Astasol	MULTI-3
K	Astasol	MULTI-3
Ca	Astasol	MULTI-3
Mn	ICP-MS-200.8	TMDA
Fe	Astasol	TMDA
As	ICP-MS-200.8	TMDA
Se	ICP-MS-200.8	TMDA
U	ICP-MS-200.8	TMDA

Příprava kalibračních a kontrolních standardů včetně manipulace s přístrojem byla prováděna zaměstnancem laboratoře dle normy ČSN EN ISO 17294-1, ČSN EN ISO 17294-2.

Ke vzorkům vod se odpipetovalo 0,5 ml kyseliny dusičné ke konzervaci. Před zahájením měření se nejdříve zapnulo chlazení. Zkontrolovaly se hadičky na peristaltické pumpě. Následně se zažehnula plazma, které se nechala 15 min. stabilizovat. Současně se stabilizací plazmy se promývalo dávkovací zařízení. Dále se vzorky vod přelily do nádobek určené k dávkovači. Kalibrační standardy, kontrolní standardy a vzorky se vložily ve správném pořadí do dávkovače. V PC se zapsala sequence (pořadí vzorků, název, metoda měření). Následně proběhlo samotné měření, kdy mezi jednotlivými kroky docházelo k promývání dávkovacího zařízení blankem nebo destilovanou vodou. Výsledky byly vyhodnoceny automaticky softwarem podle změřené kalibrační křivky.

3.4.2. F⁻, Cl⁻, NO₃⁻, NO₂⁻, SO₄²⁻

Pro stanovení aniontů (F⁻, Cl⁻, NO₃⁻, NO₂⁻, SO₄²⁻) ve vzorkách vod byla využita iontová chromatografie s vodivostním detektorem. Jako stacionární fáze byl využit měnič aniontů. Mobilní fáze obsahovala vodný roztok uhličitanu sodného. K potlačení vodivosti pozadí byl využit tříkanálový chemický supresor na bázi katexu s následnou CO₂ supresí. Před hlavní kolonou byla umístěna předkolona RP2 guard column následovala kolona typu Metrosep A Supp 7–250/4 mm.

Kalibrace přístroje se provádí 1krát za 6 měsíců nebo podle potřeby. Pro kontrolu správnosti kalibrační křivky se využívají kontrolní standardy, které musí být připravené z jiných zásobních roztoků, než byly připraveny roztoky ke kalibraci. Tabulka č. 6 obsahuje seznam chemikálií používaných ke kalibraci a pro kontrolu správnosti kalibrace. Sada kalibračních roztoků byla připravena manuálním ředěním podle tabulky č.7.

Tabulka 6 Kalibrační standardy a kontrolní standardy pro jednotlivé anionty

Anionty	Kalibrace	Kontrolní standard
F⁻	AN9073(1H) ASTASOL	Anion multi-element standard I
Cl⁻	AN9072(1H) ASTASOL	Anion multi-element standard II
NO₃⁻	Nitrate standard solution	Anion multi-element standard II
NO₂⁻	Nitrite standard solution	Dusitany standardní roztok
SO₄²⁻	Sulfate standard solution	Anion multi-element standard II

Tabulka 7 Koncentrační schéma v jednotkách mg·l⁻¹

Anionty	ST1	ST2	ST3	ST4	ST5	ST6	ST7	ST8	ST9	ST10
Cl⁻	200	100	50	40	20	10	5	4	2	1
SO₄²⁻	200	100	50	40	20	10	5	4	2	1
NO₃	200	100	50	40	20	10	5	4	2	1
F⁻	10	5	2,5	2	1	0,5	0,25	0,2	0,1	0,05
NO₂	4	2	1	0,8	0,4	0,2	0,1	0,08	0,04	0,02

Stejně jako u ICP-MS i zde byly připraveny jednotlivé roztoky a manipulace s přístrojem prováděny zaměstnanci laboratoře v souladu s platnými normami ČSN ISO EN 10304-1 a ČSN ISO EN 10304-4.

Iontový chromatograf se nastavil dle pokynů. Kalibrační standardy, kontrolní standardy a vzorky se vložily ve správném pořadí do dávkovače. V PC se zapsala sequence. Jako první se změřil blank a kontrolní standardy pro ověření platnosti kalibrační křivky. Následně se proměřily jednotlivé vzorky, na závěr se opět změřily kontrolní standardy. Výsledky byly vyhodnoceny softwarem podle kalibrační křivky.

3.4.3. Celkový organický uhlík

Celkový organický uhlík byl stanoven metodou vysokoteplotního spalování. Pro kalibraci přístroje byl použit TOC kalibrační standard, ze kterého se manuálním ředěním připravily standardní roztoky ke kalibraci. K odstranění nežádoucích vlivů jako je chlor byl vzorek

unášen přes trubičku, která obsahovala měď a cín. K odstranění vody byla využita sušící trubice (polopropustná membrána, před kterou prochází pouze molekuly vody) Jako detektor byl využit nedisperzní monochromatický IČ detektor měřící absorbancí.

Příprava kalibračních roztoků a manipulace s přístrojem byla prováděna za mé přítomnosti zaměstnanci laboratoře podle normy ČSN EN 1484.

Vzorek byl převeden do nádobek určených k dávkovači. Vzorek se okyselil přídavkem H_3PO_4 . Dále byl vzorek unášen proudem uměle vytvořeného vzduchu do trubice, kde docházelo k odstranění anorganického uhlíku. Takto upravený vzorek byl dávkován přímo do spalovací trubice, která byla vyhřátá na $750\text{ }^{\circ}\text{C}$ a obsahovala Pt katalyzátor. Organický uhlík byl spálen na CO_2 a detekován. Stejně jako v předešlých metodách i zde byly výsledky vyhodnoceny softwarem podle kalibrační křivky.

3.4.4. Stanovení pH

Pro měření pH byl využit pH metr pH 540 GLP využívající kombinovanou skleněnou pH elektrodu Hamilton. Ke kalibraci byly využity pufrы o hodnotě pH 4 a 7. Jako kontrolní standard byl připraven roztok obsahující hydrogenfosforečnan disodný a dihydrogenfosforečnan draselný o pH 6,865. Kalibrace se prováděla dle potřeby, kontrolní standard se používal každý den, před zahájením prvního měření.

Vzorky vod jsem si přelila do označených kádinek. Elektrodu jsem před měřením omyla destilovanou vodou. Elektrodu jsem ponořila do kádinky s vodou a chvíli vyčkala do ustálení hodnoty pH. Následně jsem hodnotu zapsala. Celý postup jsem opakovala se všemi vzorky.

3.4.5. Stanovení konduktivity

Pro měření vodivosti byl využit konduktometr Conductivity meter LF 538 s konduktometrickou celou 325. Přístroj se nekalibruje, pouze se ověřuje spolehlivost pomocí kontrolních standardů. Každý den se ověřuje spolehlivost pomocí kontrolního standardu připraveného z $0,1\text{ mol}\cdot\text{l}^{-1}$ KCl a 1krát měsíčně se používá pro kontrolu vodivostní standard $1413\text{ }\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. Konduktometr si automaticky přepočítává teploty na teplotu $25\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Vzorky vod jsem přelila do označených kádinek. Vodivostní celu jsem omyla destilovanou vodou. Následně jsem vodivostní celu vložila do kádinky s vodou a změřila a zapsala vodivost. Postup jsem zopakovala se všemi vzorky.

4. VÝSLEDKY A DISKUZE

Výsledky jsem zaznamenala do přehledných tabulek a zobrazila v grafech. Jednotlivé výsledky jsem rozdělila na výsledky hodnot podle jednotlivých sledovaných parametrů, dále pak na výsledky selenu, uranu a arsenu, které jsem sledovala pouze ve vybraných studních. V poslední části jsem porovnávala průměrné výsledky všech stanovovaných parametrů s limity pro pitnou vodu dle vyhlášky č.70/2018 Sb.

Červené hodnoty v tabulkách zobrazují nadlimitní hodnoty a černé a červené vodorovné čáry v grafech zobrazují limity pro pitnou vodu. Grafy, které nemají zobrazený limit pomocí vodorovné čáry, jej mají v popisu bod grafem.

U studny z Mikulčic (studna E) chybí výsledky v období od července do září z důvodu vyschnutí studny vlivem velmi teplého období s minimálním množstvím srážek.

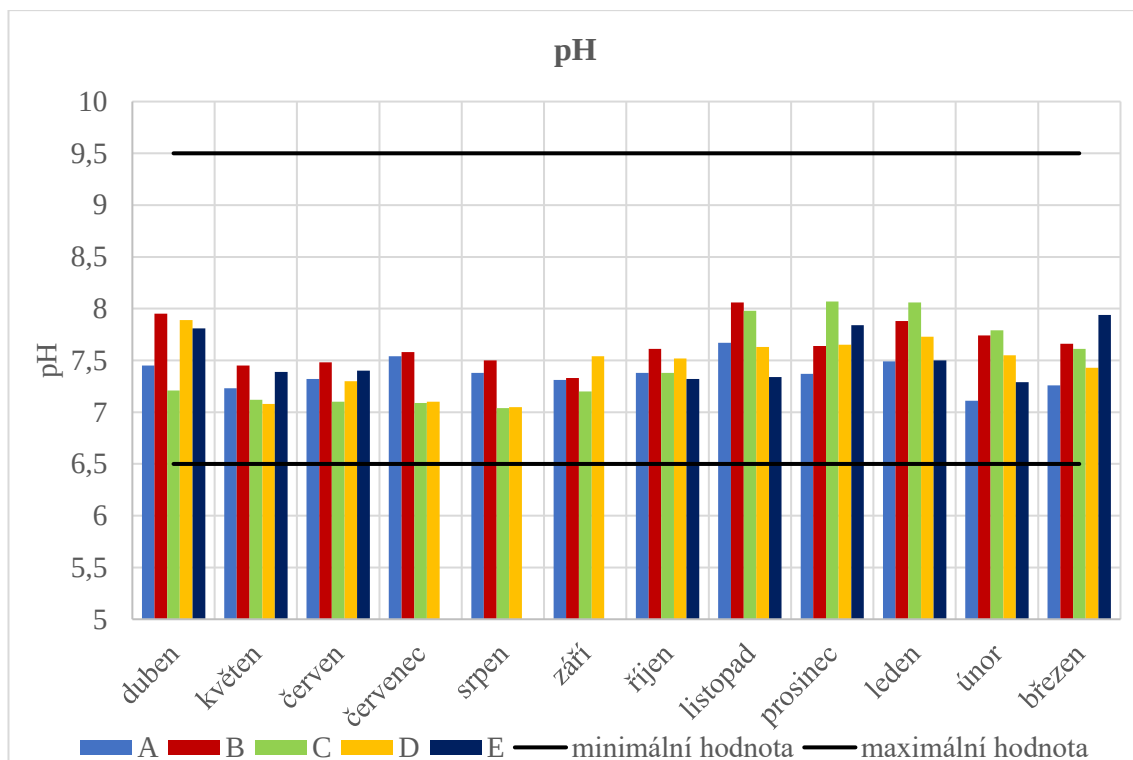
4.1. Výsledky stanovovaných hodnot podle jednotlivých parametrů

pH

V tabulce č. 8 jsou výsledky pH. Všechny vody splňují limit pro pitnou vodu, která je stanovena v rozmezí pH 6,5 – 9,5. Na obr. č. 3 je graf zobrazující závislost pH jednotlivých studních na ročním období.

Tabulka 8 Výsledky pH pro studny A-E

pH					
Datum	A	B	C	D	E
16.04.2018	7,45	7,95	7,21	7,89	7,81
16.05.2018	7,23	7,45	7,12	7,08	7,39
15.06.2018	7,32	7,48	7,10	7,30	7,40
17.07.2018	7,54	7,58	7,09	7,10	-
15.08.2018	7,38	7,50	7,04	7,05	-
14.09.2018	7,31	7,33	7,20	7,54	-
15.10.2018	7,38	7,61	7,38	7,52	7,32
15.11.2018	7,67	8,06	7,98	7,63	7,34
17.12.2018	7,37	7,64	8,07	7,65	7,84
15.01.2019	7,49	7,88	8,06	7,73	7,50
18.02.2019	7,11	7,74	7,79	7,55	7,29
14.03.2019	7,45	7,66	7,61	7,43	7,94



Obrázek 3 Graf závislosti pH na ročním období pro vzorky A-E

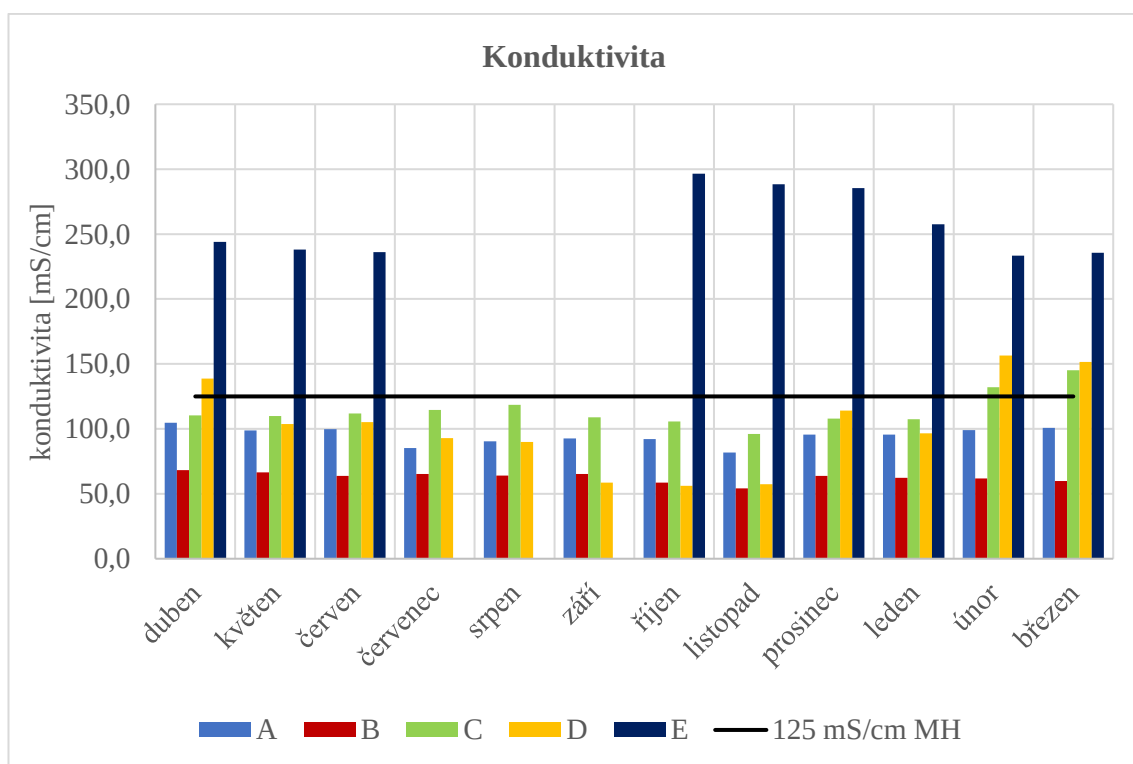
Z grafu je patrné, že v letních měsících můžeme vidět lehký pokles pH u všech studní. Jedná se však o mírný pokles a dalo by se tak říct, že roční období nemá vliv na pH podzemních vod.

Konduktivita

Dalším sledovaným parametrem byla konduktivita. V následující tabulce č. 9 jsou shrnuty naměřené hodnoty v jednotkách $\text{mS} \cdot \text{m}^{-1}$. Mezní hodnota pro pitnou vodu je $125 \text{ mS} \cdot \text{m}^{-1}$. Tento limit nesplňuje pouze voda ze studny E. Na obr. č. 4 je graf znázorňující závislost konduktivity na ročním období.

Tabulka 9 Výsledky konduktivity pro studny A-E

Konduktivita [$\text{mS} \cdot \text{m}^{-1}$]					
Datum	A	B	C	D	E
16.04.2018	104,6	68,2	110,4	138,8	244,0
16.05.2018	98,8	66,4	109,8	103,7	238,0
15.06.2018	99,8	63,8	111,8	105,3	236,0
17.07.2018	85,2	65,3	114,5	93,0	-
15.08.2018	90,3	64,1	118,4	89,9	-
14.09.2018	92,7	65,2	108,8	58,5	-
15.10.2018	92,2	58,5	105,8	56,1	296,4
15.11.2018	81,7	54,2	96,0	57,5	288,3
17.12.2018	95,5	63,7	107,9	114,2	285,3
15.01.2019	95,6	62,3	107,4	96,7	257,5
18.02.2019	99,0	61,7	132,1	156,4	233,4
14.03.2019	100,8	59,7	145,2	151,6	235,6



Obrázek 4 Graf závislosti konduktivity na ročním období pro studny A-E

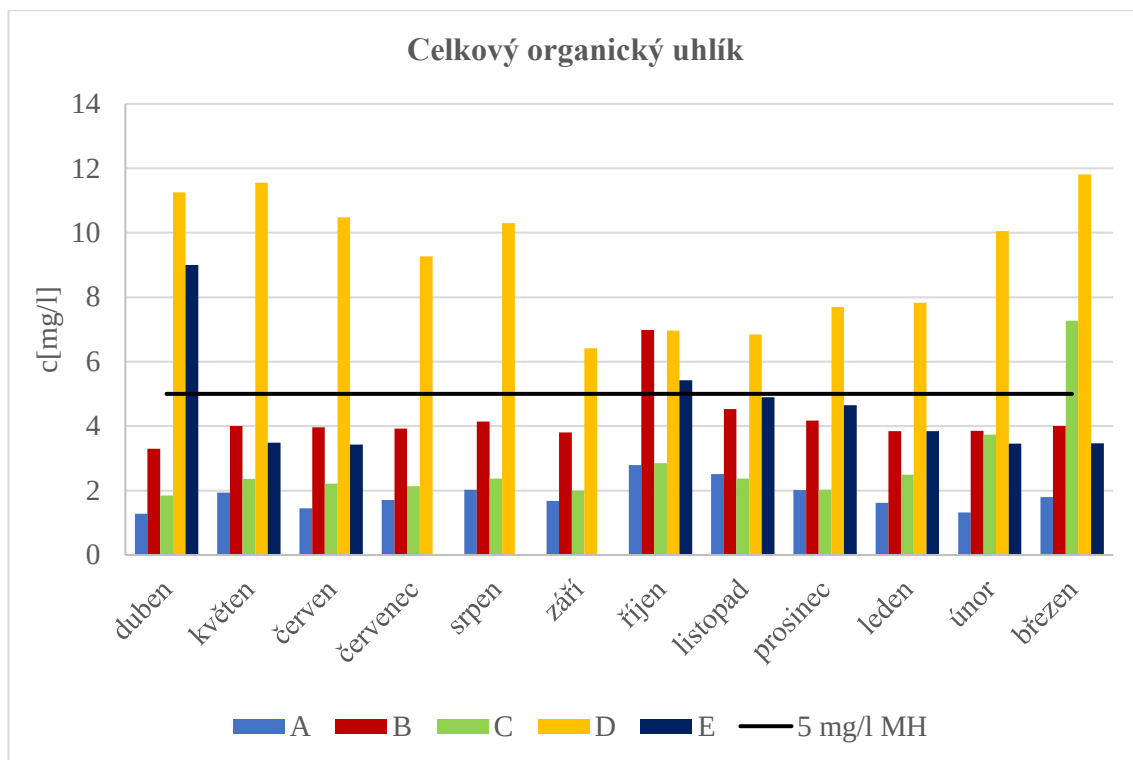
Z grafu je patrné, že studny A a B po celou dobu měly nižší hodnotu konduktivity, než je mezní hodnota pro pitnou vodu. Konduktivita u studny C vyrostla nad mezní hodnotu až v posledních dvou měsících. Více jak 2,5násobek limitního množství konduktivity bylo změřeno ve studni E, kdy nejvyšší hodnota byla změřena v říjnu 2018, nárůst byl pravděpodobně způsoben obnovením vody ve studni. Vyšší hodnota konduktivita je způsobena vysokým obsah minerálních látek v podzemní vodě.

Celkový organický uhlík TOC

V tabulce č.10 jsou výsledky stanovení celkového organického uhlíku. Mezní hodnota pro pitnou vodu je $5,0 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$. Nadlimitní hodnoty po celou dobu sledování vykazovala pouze studna D. Na obr. č. 5 je graf závislosti TOC na ročním období.

Tabulka 10 Výsledky celkového organického uhlíku pro studny A-E

Koncentrace TOC [$\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$]					
Datum	A	B	C	D	E
16.04.2018	1,28	3,29	1,85	11,25	3,18
16.05.2018	1,94	4,00	2,36	11,55	3,48
15.06.2018	1,45	3,96	2,22	10,48	3,43
17.07.2018	1,70	3,92	2,13	9,27	-
15.08.2018	2,02	4,14	2,38	10,30	-
14.09.2018	1,68	3,80	1,99	6,41	-
15.10.2018	2,79	6,98	2,85	6,97	5,43
15.11.2018	2,51	4,53	2,38	6,84	4,89
17.12.2018	2,02	4,17	2,02	7,70	4,64
15.01.2019	1,61	3,85	2,49	7,83	3,84
18.02.2019	1,28	3,85	3,73	10,05	3,46
14.03.2019	1,94	4,01	7,27	11,81	3,47



Obrázek 5 Graf závislosti celkového organického uhlíku na ročním období pro vzorky A-E

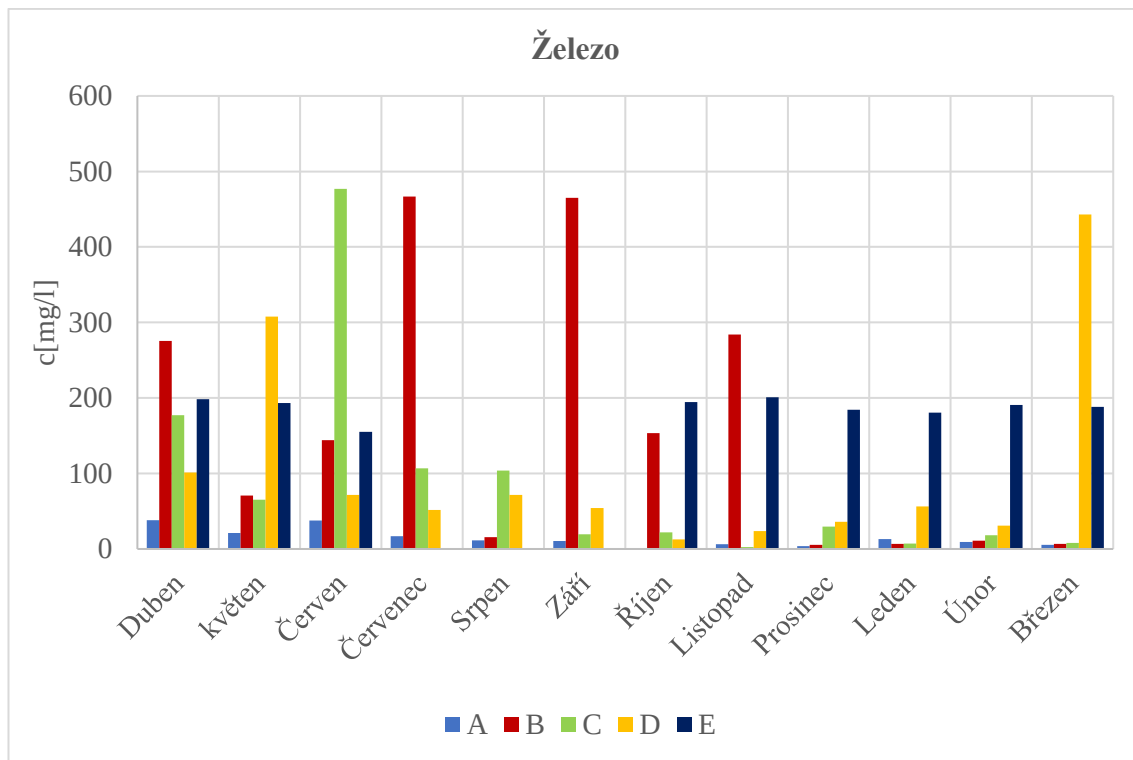
Z grafu můžeme vyčíst, že pouze ve studni A byly po celou dobu nižší koncentrace TOC než je 5 mg/l. U studní B, C a E došlo k jednorázovému zvýšení koncentrace nad mezní hodnotu. Studna D obsahuje nejvyšší koncentrace TOC, který je způsoben přírodním antropogenním znečištěním z odumřelých těl živočichů.[25] V září došlo k poklesu koncentrace o 1/3 z důvodu zředění studniční vody dešťovou vodou.

Železo

V tabulce č. 11 jsou výsledky koncentrace železa. Mezní hodnota pro pitnou vodu je $0,2 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$. Všechny vody vykazují vysoké koncentrace železa. Na obr. č. 6 je graf závislosti koncentrace železa na ročním období.

Tabulka 11 Výsledky koncentrace železa pro studny A-E

Koncentrace železa [$\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$]					
Datum	A	B	C	D	E
16.04.2018	38,10	275,50	26,40	101,20	198,50
16.05.2018	20,97	70,75	32,20	307,60	193,20
15.06.2018	37,72	144,30	35,31	71,47	155,00
17.07.2018	17,13	466,70	35,61	51,69	-
15.08.2018	11,51	15,76	32,77	71,49	-
14.09.2018	10,50	465,10	32,82	54,36	-
15.10.2018	1,02	153,30	28,02	12,61	194,52
15.11.2018	6,28	284,20	32,37	23,63	200,89
17.12.2018	3,83	5,69	31,48	36,22	184,24
15.01.2019	13,23	1,82	33,68	56,42	180,49
18.02.2019	9,36	2,35	48,12	30,96	190,94
14.03.2019	5,61	3,06	37,74	443,00	188,06



Obrázek 6 Graf závislosti koncentrace železa na ročním období pro vzorky A-E, limit pro pitnou vodu je $0,2 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ MH

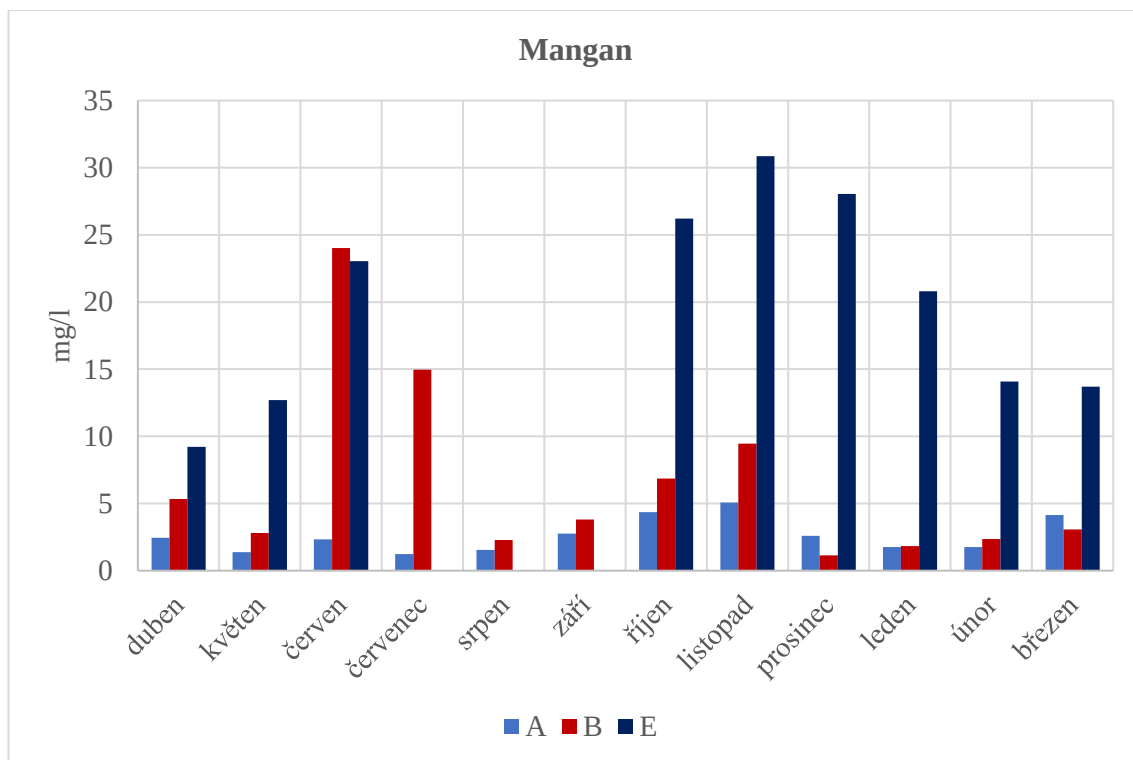
V grafu není naznačen limit pro pitnou vodu, jelikož je příliš nízký a zkresloval by grafické znázornění koncentrace železa. Všechny studny vykazují vyšší koncentrace železa, než je limit pro pitnou vodu. U studny B, C a D došlo k prudkému navýšení koncentrace železa z důvodu velkého poklesu hladiny vody ve studni.

Mangan

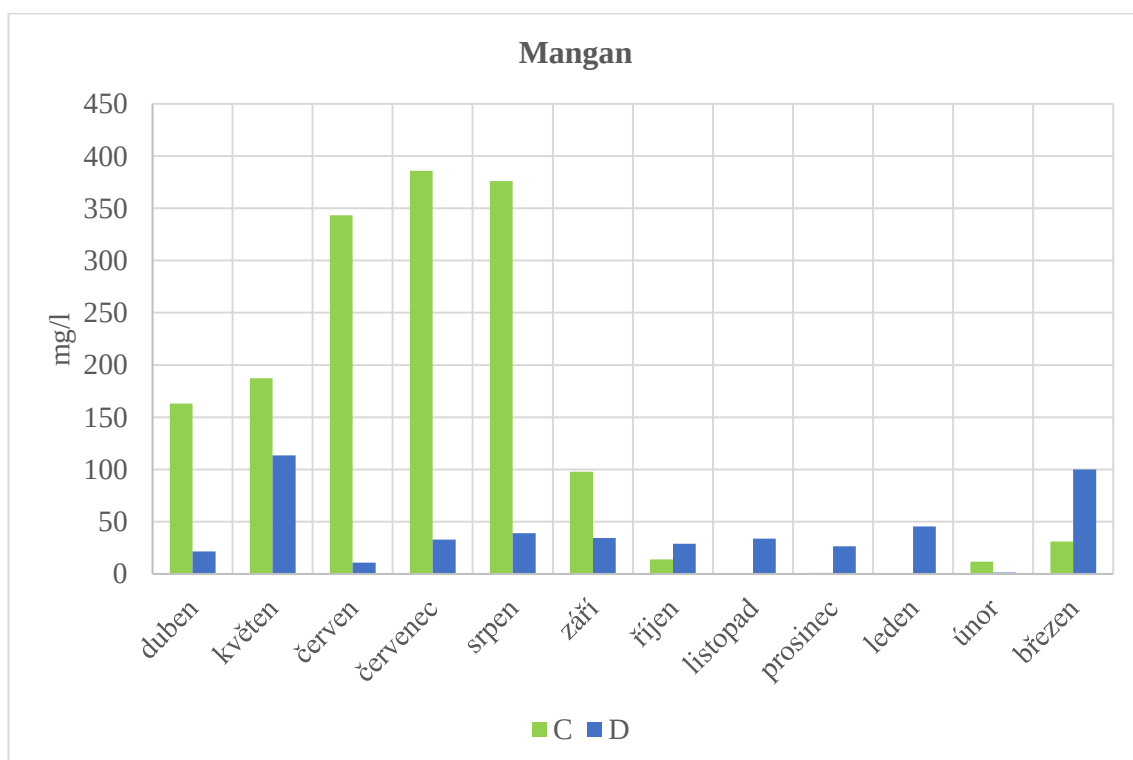
V tabulce č. 12 jsou výsledky koncentrace manganu. Mezní hodnota pro mangan je 0,05 mg·l⁻¹. Stejně jako u železa i u mangan vykazují všechny vody nadlimitní hodnoty. Na obr. č. 7 a č. 8 jsou grafy závislosti koncentrace manganu.

Tabulka 12 Výsledky koncentrace manganu pro studny A-E

Koncentrace manganu [mg·l ⁻¹]					
Datum	A	B	C	D	E
16.4.2018	2,46	5,33	163,00	21,61	9,21
16.5.2018	1,39	2,82	187,20	113,40	12,71
15.6.2018	2,34	24,02	343,20	10,85	23,05
17.7.2018	1,23	14,96	385,90	32,97	-
15.8.2018	1,55	2,28	376,20	39,17	-
14.9.2018	2,77	3,80	97,93	34,57	-
15.10.2018	4,35	6,87	13,93	28,89	26,22
15.11.2018	5,07	9,46	0,51	33,80	30,85
17.12.2018	2,59	1,14	0,97	26,44	28,04
15.1.2019	1,77	1,82	0,44	45,48	20,80
18.2.2019	1,76	2,35	11,76	1,19	14,09
14.3.2019	4,14	3,06	31,11	99,94	13,70



Obrázek 7 Graf závislosti manganu na ročním období pro studny A, B a E, limit pro pitnou vodu je $0,05 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1} \text{ MH}$.



Obrázek 8 Graf závislosti manganu na ročním období pro studny C a D, limit pro vodu je $0,05 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1} \text{ MH}$.

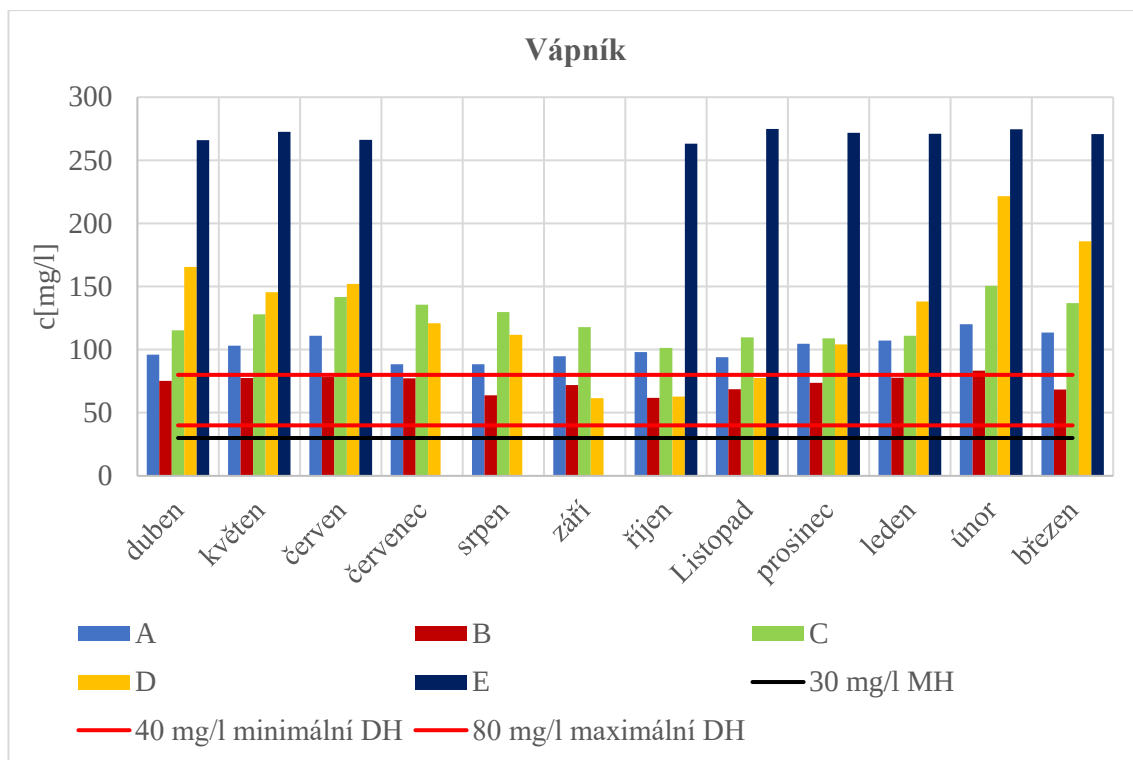
Koncentrace manganu v jednotlivých studních se velmi lišily a z důvodu přehlednosti jsem vytvořila dva grafy. V průběhu roku koncentrace kolísala, avšak nejspíš to nebylo zapříčiněno ročním obdobím. Nejvyšší koncentrace byly stanoveny ve studni C, kde došlo k velkému poklesu v září z důvodu vyčištění studny.

Vápník

V tabulce č.13 jsou výsledky koncentrace vápníku. Mezní hodnota pro pitnou vodu je $30 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ a doporučená hodnota je $40\text{-}80 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$. Všechny vody kromě vody ze studně B nesplňují mezní ani doporučené hodnoty pro pitnou vodu. Na obr. č. 8 je graf závislosti koncentrace vápníku na ročním období.

Tabulka 13 Výsledky koncentrace vápníku pro studny A-E

Koncentrace vápníku [$\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$]					
Datum	A	B	C	D	E
16.4.2018	96,13	75,18	115,30	165,40	266,00
16.5.2018	103,05	77,64	128,00	145,60	272,45
15.6.2018	110,90	78,28	141,75	151,95	266,25
17.7.2018	88,38	77,29	135,65	120,85	-
15.8.2018	88,40	63,72	129,70	11,85	-
14.9.2018	94,87	72,00	117,95	61,60	-
15.10.2018	98,08	61,76	101,35	62,70	263,25
15.11.2018	94,08	68,51	109,70	77,58	274,94
17.12.2018	104,70	73,78	108,89	104,09	271,79
15.1.2019	107,10	77,75	111,00	138,20	271,06
18.2.2019	120,00	83,27	150,65	221,60	274,68
14.3.2019	113,45	68,45	136,90	185,70	270,87



Obrázek 9 Graf závislosti koncentrace vápníku na očním období pro vzorky A-E.

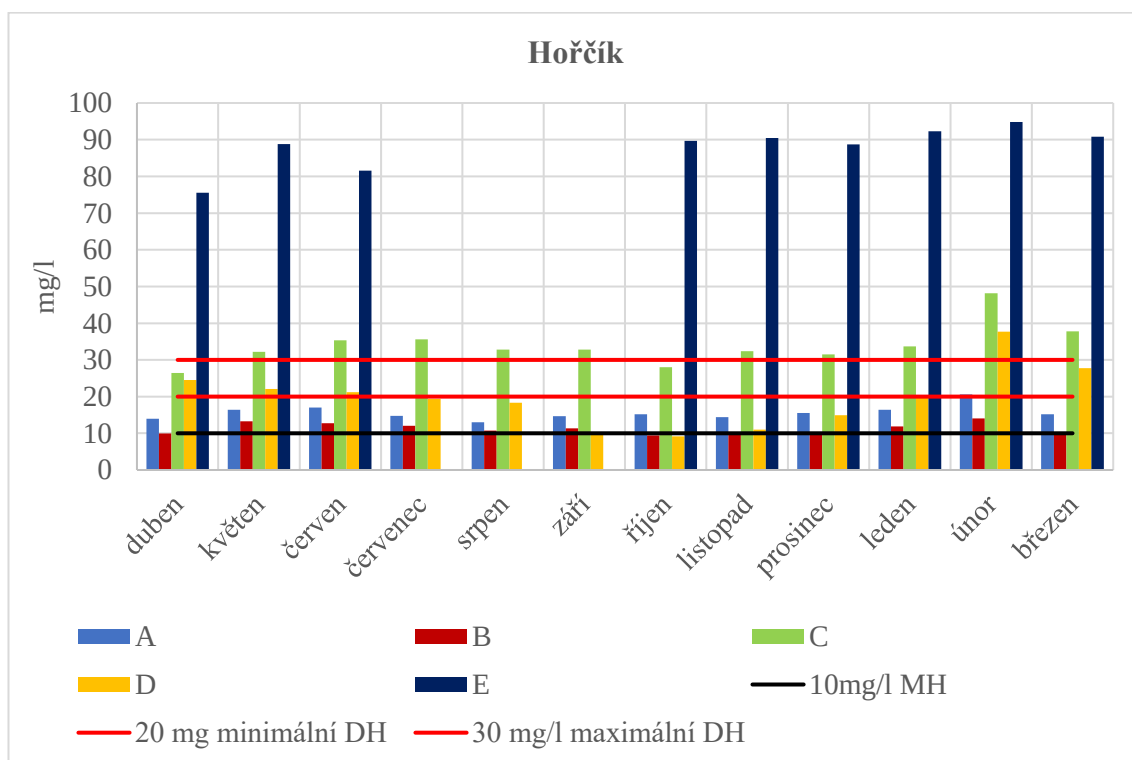
U studny A, B a D se pohybují koncentrace lehce nad doporučenou hodnotou. Studna E obsahuje více jak trojnásobek doporučené hodnoty. Největší vliv ročního období na koncentraci vápníku je pozorovatelný u vody ze studny D, kde nejnižší koncentrace byly stanoveny na podzim.

Hořčík

Tabulka č. 14 zobrazí výsledky koncentrace hořčíku. Voda C a E obsahuje vyšší koncentrace hořčíku, než je nejvyšší doporučená hodnota ($30 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$). Na obr. č. 10 je graf závislosti hořčíku na ročním období.

Tabulka 14 Výsledky koncentrace hořčíku pro studny A-E

Koncentrace hořčíku [mg·l ⁻¹]					
Datum	A	B	C	D	E
16.4.2018	13,98	9,96	26,40	24,56	75,53
16.5.2018	16,42	13,27	32,20	22,05	88,83
15.6.2018	17,01	12,76	35,31	21,23	81,59
17.7.2018	14,73	12,05	35,61	19,36	-
15.8.2018	12,98	10,76	32,77	18,32	-
14.9.2018	14,63	11,32	32,82	9,72	-
15.10.2018	15,15	9,41	28,02	9,18	89,65
15.11.2018	14,39	9,82	32,37	11,03	90,42
17.12.2018	15,54	10,22	31,48	14,91	88,68
15.1.2019	16,39	11,84	33,68	20,26	92,27
18.2.2019	20,60	14,02	48,12	37,70	94,82
14.3.2019	15,15	9,69	37,74	27,74	90,83



Obrázek 10 Graf závislosti koncentrace hořčíku na ročním období pro vzorky A-E

Z grafu vyplývá, že studny A a B obsahují nižší koncentraci vápníku, než je doporučená hodnota, ale jsou vyšší, než je mezní hodnota. Nejvyšší koncentrace vápníku

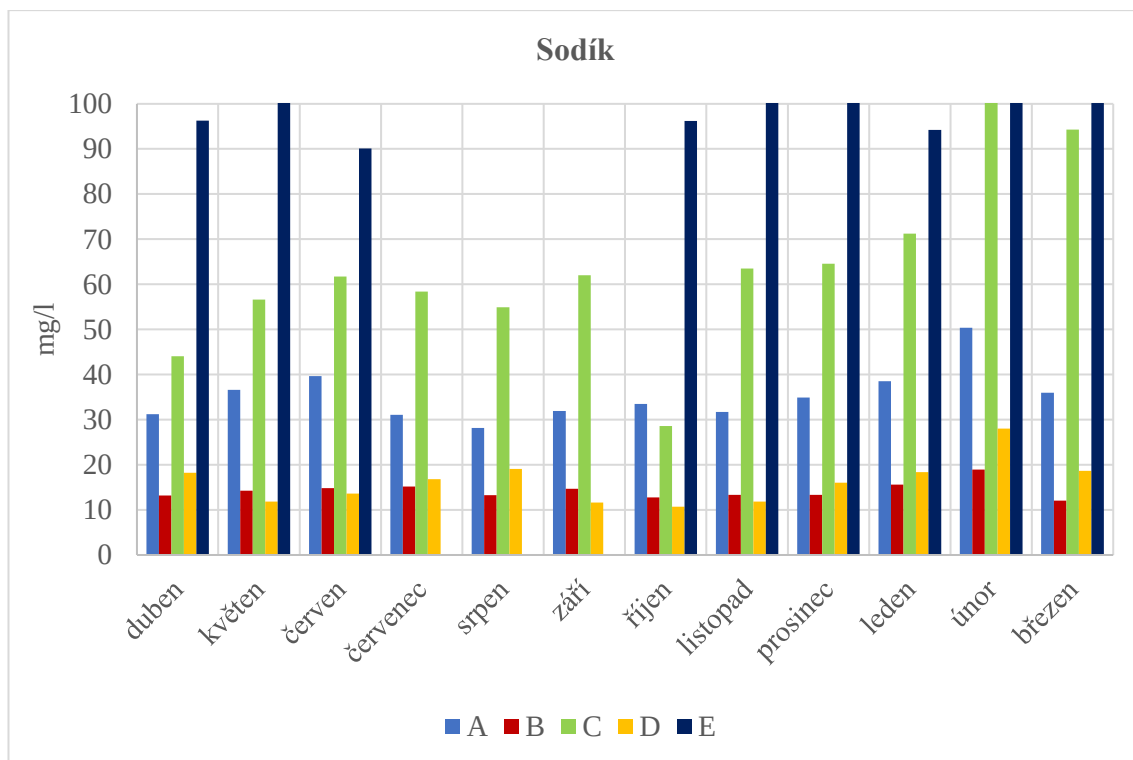
byla stanovena ve vzorku E. V průběhu celého sledování byly koncentrace vápníku v jednotlivých studnách stabilní.

Sodík

V tabulce č. 16 jsou shrnuty výsledky koncentrace sodíku. Ani jedna ze studní po celou sledovanou dobu nepřekročila hranici mezní hodnoty, která má hodnotu 200 mg·l⁻¹. Na obr. č. 11 je graf závislosti koncentrace sodíku na ročním období.

Tabulka 15 Výsledky koncentrace sodíku pro studny A-E

Koncentrace sodíku [mg·l⁻¹]					
Datum	A	B	C	D	E
16.4.2018	31,24	13,22	44,06	18,24	96,28
16.5.2018	36,60	14,25	56,62	11,85	100,50
15.6.2018	39,63	14,84	61,69	13,60	90,08
17.7.2018	31,07	15,16	58,42	16,83	-
15.8.2018	28,14	13,29	54,89	19,10	-
14.9.2018	31,94	14,67	62,02	11,66	-
15.10.2018	33,50	12,76	28,57	10,69	96,21
15.11.2018	31,70	13,35	63,53	11,83	111,89
17.12.2018	34,88	13,36	64,53	15,99	102,47
15.1.2019	38,55	15,58	71,25	18,37	94,24
18.2.2019	50,37	18,91	119,00	28,05	101,05
14.3.2019	35,94	12,07	94,27	18,68	100,20



Obrázek 11 Graf závislosti koncentrace sodíku na ročním období pro vzorky A-E. Limit pro pitnou vodu je $200 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1} \text{MH}$.

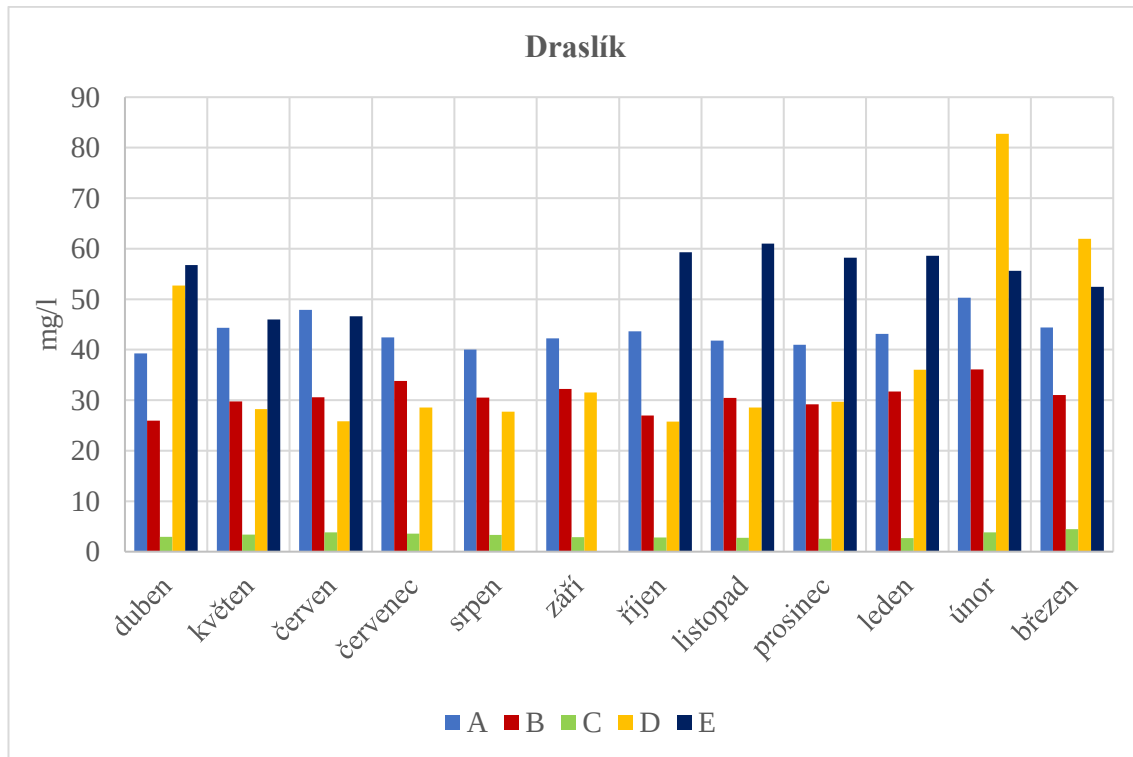
Z grafu je patrné, že nejnižší koncentrace sodíku obsahovaly studny B a D. Zatímco nejvyšší byly zaznamenány u studny E. V průběhu roku nejvíce kolísala koncentrace sodíku ve studni C. Vzhledem k tomu, že v únoru a březnu je u studny C zvýšený obsah i chloridů nabízelo by se jako vysvětlení průsak solí ze zimní údržby, ale studna není blízko silnice, tak není jednoznačné vysvětlení. U ostatních studní nemá roční období vliv na obsah sodíku ve vodě.

Draslík

Tabulka č. 17 zobrazuje výsledky koncentrace draslíku. Draslík nemá stanovené hygienické požadavky pro pitnou vodu. Na obr. č. 12 je znázorněn graf závislosti koncentrace draslíku na ročním období.

Tabulka 16 Výsledky koncentrace draslíku pro studny A-E

Koncentrace draslíku [mg·l ⁻¹]					
Datum	A	B	C	D	E
16.4.2018	39,25	25,94	2,94	52,73	56,78
16.5.2018	44,34	29,77	3,38	28,24	45,96
15.6.2018	47,9	30,60	3,84	25,84	46,61
17.7.2018	42,46	33,81	3,55	28,53	-
15.8.2018	40,04	30,53	3,31	27,72	-
14.9.2018	42,26	32,24	2,87	31,50	-
15.10.2018	43,64	26,96	2,78	25,78	59,32
15.11.2018	41,82	30,44	2,76	28,53	60,98
17.12.2018	40,98	29,20	2,53	29,70	58,24
15.1.2019	43,14	31,71	2,67	36,02	58,62
18.2.2019	50,29	36,08	3,81	82,77	55,63
14.3.2019	44,41	30,99	4,47	61,94	52,47



Obrázek 12 Graf závislosti koncentrace draslíku na ročním období pro vzorky A-E

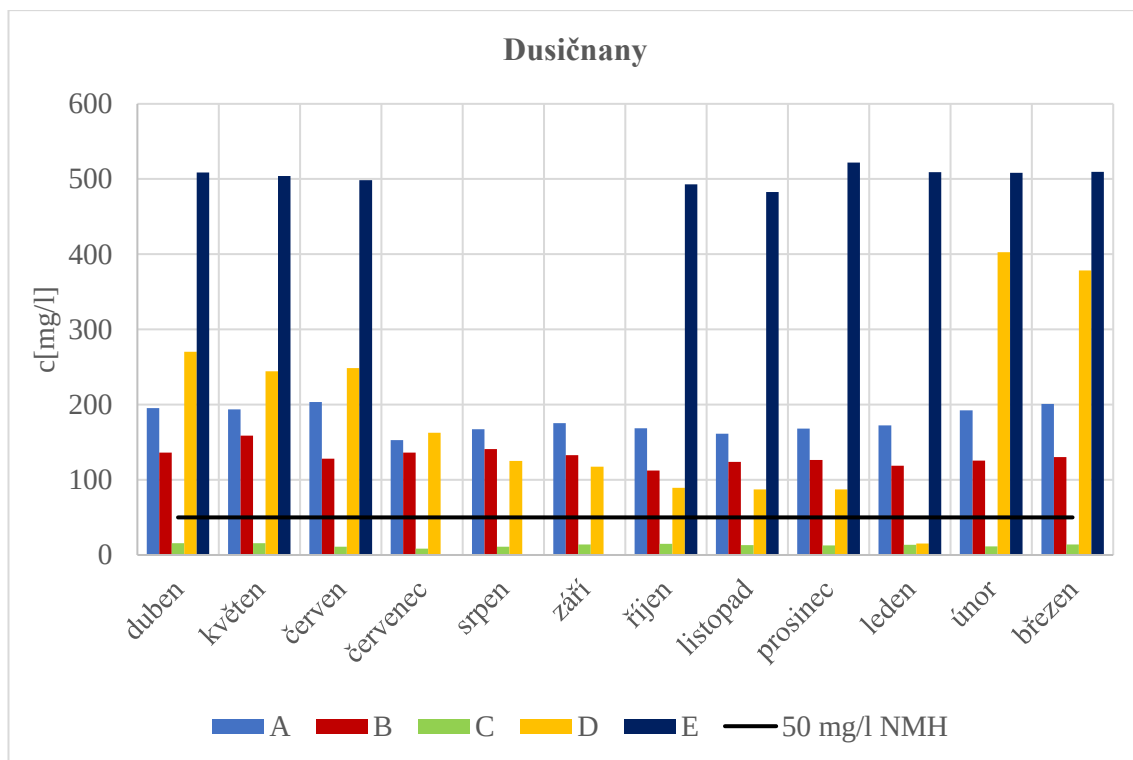
Jak můžeme z grafu vidět, na studny A, B, C, a E nemá roční období téměř žádný vliv. Ale u studny D můžeme pozorovat nárůst koncentrace v únoru, březnu a v dubnu. Tento nárůst může být způsoben solením silnic v zimním období, a následným průsakem do podzemních vod.

Dusičnany

Dusičnany patří mezi základní parametr, který se sleduje v závislosti na hygienické požadavky na pitné vody. Z tabulky č. 18 je patrné, že pouze studna C splňuje nejvyšší mezní hodnotu, která činí $50 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$. Nejvyšší koncentrace dusičnanů by měla být v zimním, mimovegetačním období, to lze pozorovat pouze u studny D.[1] Nejlépe je to patrné na obr. č. 13, který znázorňuje graf závislosti dusičnanů na ročním období.

Tabulka 17 Výsledky koncentrací dusičnanů pro studny A-E

Koncentrace dusičnanů [$\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$]					
Datum	A	B	C	D	E
16.4.2018	195,25	136,17	15,58	270,34	508,82
16.5.2018	193,49	158,69	15,89	244,41	503,91
15.6.2018	203,29	128,00	11,08	248,40	498,34
17.7.2018	152,95	136,25	8,32	162,73	-
15.8.2018	167,42	140,69	10,85	124,92	-
14.9.2018	175,49	132,84	13,86	117,54	-
15.10.2018	168,65	112,45	14,68	89,55	492,85
15.11.2018	161,50	123,97	13,01	87,39	482,52
17.12.2018	168,00	126,32	12,88	87,20	521,85
15.1.2019	172,15	118,76	13,51	15,12	509,24
18.2.2019	192,32	125,33	11,62	402,80	508,45
14.3.2019	200,83	130,04	13,96	378,37	509,60



Obrázek 13 Graf závislosti koncentrace dusičnanů na ročním období pro vzorky A-E

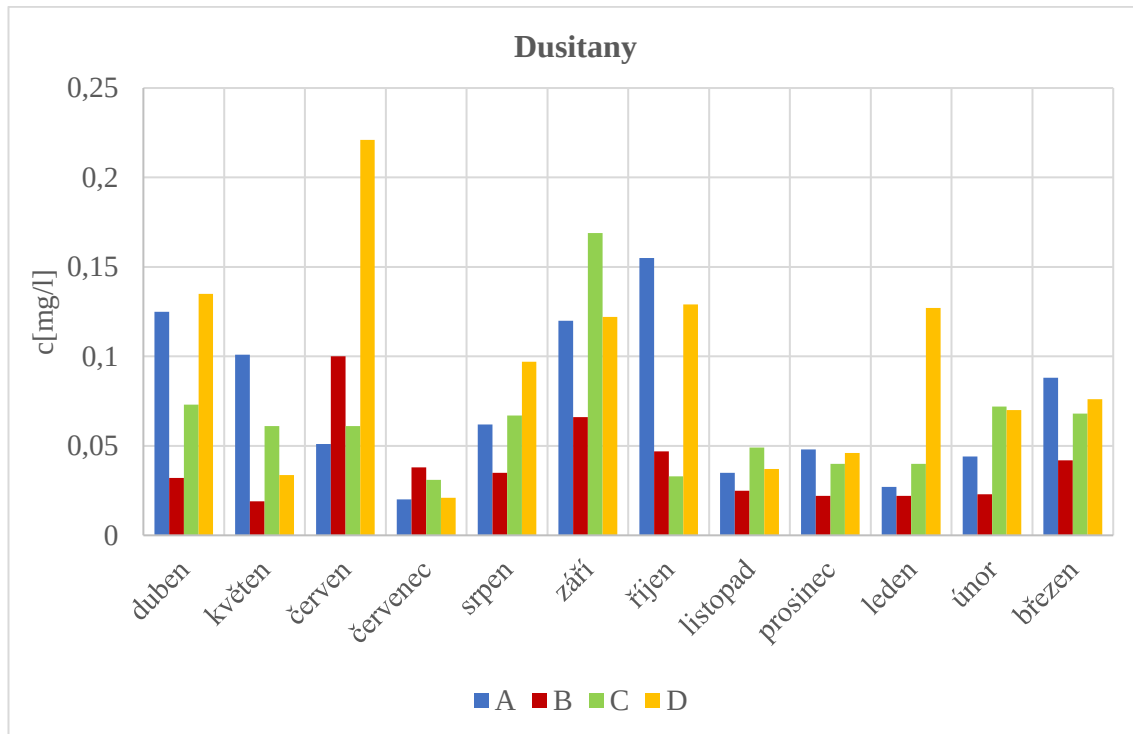
Z grafu je patrné, že koncentrace dusičnanů v jednotlivých studnách nekolísala, až na studnu D, kde došlo k nárůstu koncentrace v měsících únor a březen.

Dusitany

Z tabulky č. 19 je patrné, že všechny studny nepřesahují nejvyšší mezní hodnotu $0,5 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$. Studna E obsahovala tak nízké koncentrace dusitanu, že nebyly stanoveny. Na obr. č. 14 je graf závislosti koncentrace dusitanů na ročním období.

Tabulka 18 Výsledky koncentrace dusitanů pro studny A-E

Koncentrace dusitanů [mg·l ⁻¹]					
Datum	A	B	C	D	E
16.4.2018	0,125	0,032	0,073	0,135	-
16.5.2018	0,101	0,019	0,061	0,033	-
15.6.2018	0,051	0,100	0,061	0,221	-
17.7.2018	0,020	0,038	0,031	0,021	-
15.8.2018	0,062	0,035	0,067	0,097	-
14.9.2018	0,120	0,066	0,169	0,122	-
15.10.2018	0,155	0,047	0,033	0,129	-
15.11.2018	0,035	0,025	0,049	0,037	-
17.12.2018	0,048	0,022	0,040	0,046	-
15.1.2019	0,027	0,022	0,040	0,127	-
18.2.2019	0,044	0,023	0,072	0,070	-
14.3.2019	0,088	0,042	0,068	0,076	-



Obrázek 14 Graf závislosti dusitanů na ročním období pro vzorky A-D, limit pro pitnou vodu je 0,5 mg/l NMH.

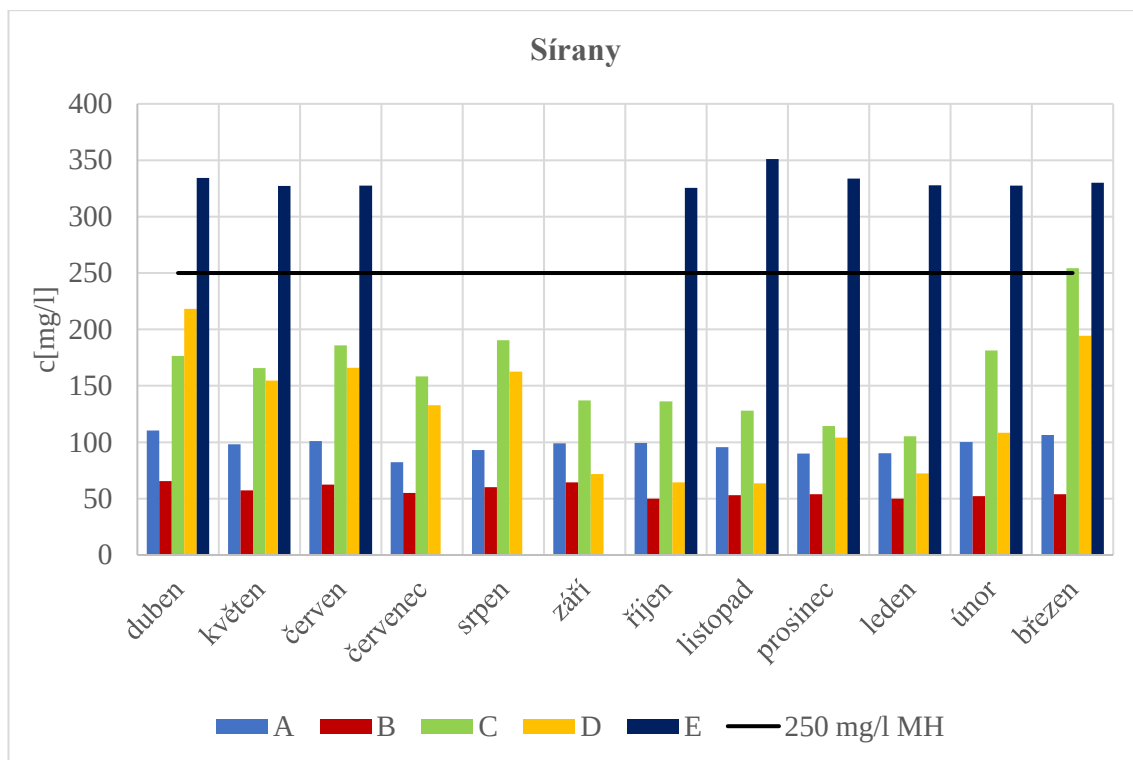
Všechny studny vykazují značné výkyvy koncentrace v jednotlivých měsících. V srpnu, září a v říjnu můžeme vidět zvýšený obsah koncentrace ve všech studnách.

Sírany

Z tabulky č. 20 zobrazující souhrnné výsledky koncentrace síranů vidíme, že pouze studna E má vyšší koncentraci, než je mezní hodnota pro pitnou vodu, která je stanovena na $250 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$. Na obr. č. 15 je graf závislosti koncentrace síranu na ročním období.

Tabulka 19 Výsledky koncentrace síranů pro studny A-E

Koncentrace síranů [$\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$]					
Datum	A	B	C	D	E
16.4.2018	110,38	65,60	176,51	218,24	334,24
16.5.2018	98,04	57,18	165,62	154,53	327,24
15.6.2018	101,12	62,34	185,94	166,00	327,51
17.7.2018	82,16	54,89	158,43	132,83	-
15.8.2018	93,17	60,18	190,31	162,62	-
14.9.2018	99,12	64,36	137,15	71,75	-
15.10.2018	99,39	49,92	136,18	64,37	325,64
15.11.2018	95,61	53,06	127,96	63,55	350,98
17.12.2018	90,04	53,82	114,24	104,20	333,72
15.1.2019	90,20	49,83	105,29	72,20	327,73
18.2.2019	100,24	52,21	181,22	108,36	327,39
14.3.2019	106,32	53,79	254,22	194,24	330,05



Obrázek 15 Graf závislosti koncentrace síranů na ročním období pro vzorky A-E

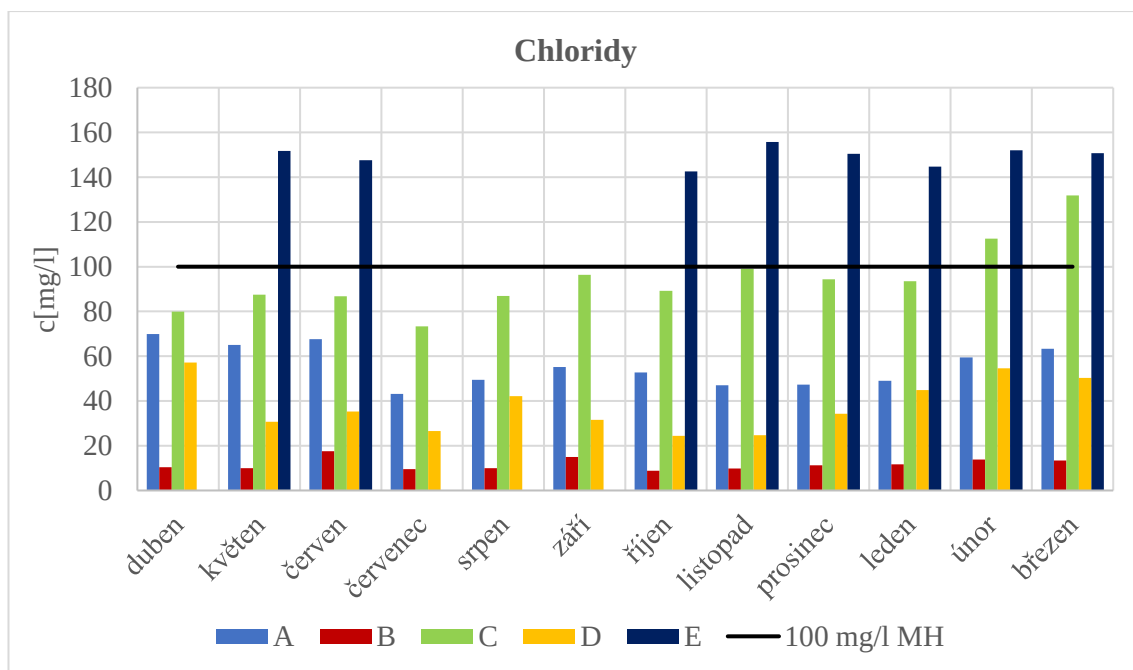
V grafu si můžeme všimnout sníženého obsahu síranů v měsících září až leden u studní C a D. U studní A, B a E je koncentrace síranů nezávislá na ročním období.

Chloridy

Tabulka č. 21 zobrazuje výsledky koncentrace chloridů. Mezní hodnota pro chloridy je $100 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$. Nadlimitní množství chloridů byly po celou dobu měření stanoveny pouze ve studni E a ve studni C byly změřeny v únoru a v březnu. Na obr. č. 16 je graf závislosti koncentrace chloridů na ročním období.

Tabulka 20 Výsledky koncentrace chloridů pro studny A-E

Koncentrace chloridů [mg/l]					
Datum	A	B	C	D	E
16.4.2018	69,93	10,44	79,94	57,22	140,57
16.5.2018	65,08	9,96	87,44	30,72	151,79
15.6.2018	67,58	17,55	86,72	35,24	147,65
17.7.2018	43,11	9,61	73,35	26,58	-
15.8.2018	49,41	9,96	86,96	42,22	-
14.9.2018	55,15	15,02	96,44	31,63	-
15.10.2018	52,70	8,76	89,18	24,38	142,63
15.11.2018	47,02	9,80	99,03	24,64	155,73
17.12.2018	47,26	11,27	94,32	34,22	150,38
15.1.2019	49,02	11,69	93,44	44,92	144,73
18.2.2019	59,48	13,86	112,60	54,60	151,98
14.3.2019	63,36	13,44	131,88	50,36	150,79



Obrázek 16 Graf závislosti chloridů na ročním období pro vzorky A-E

Z grafu je patrný vyšší obsah chloridů v zimních měsících u studní C a D. K nárůstu v případě studny D došlo pravděpodobně ze solení silnic v zimních měsících,

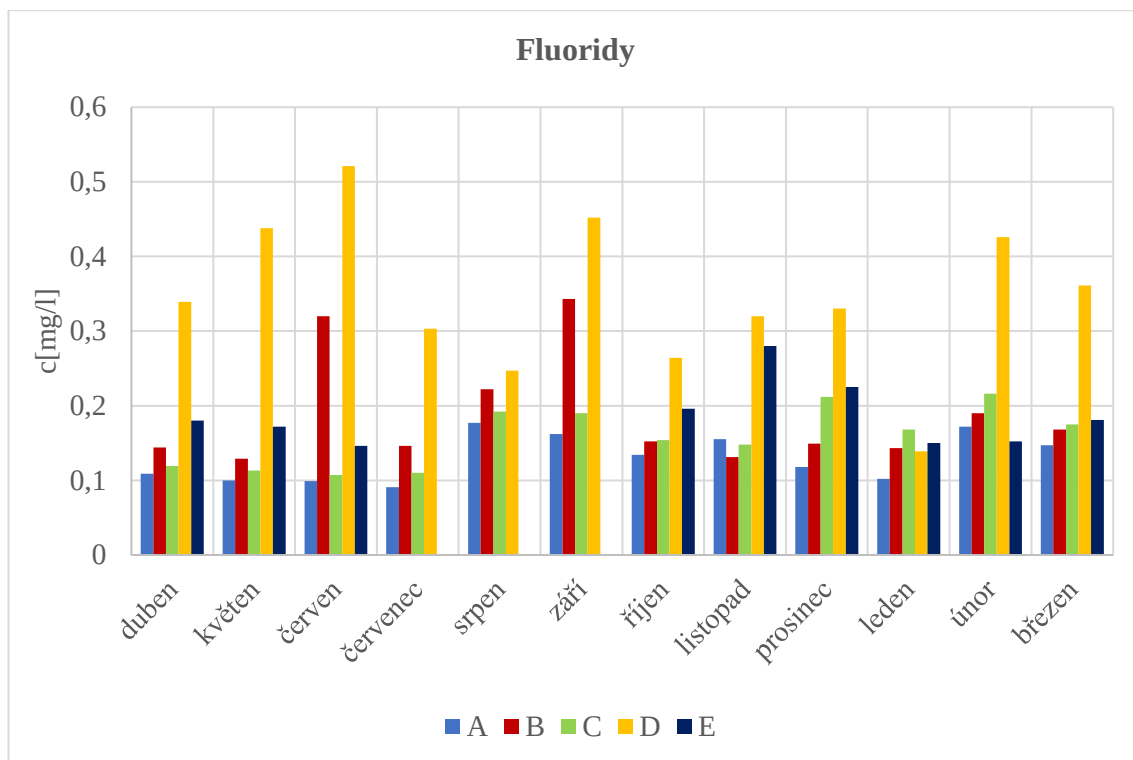
kdy došlo k průsaku do podzemních vod. Ostatní studny vykazují relativně stabilní obsah chloridů v závislosti na ročním období.

Fluoridy

Tabulka č. 22 shrnuje výsledky koncentrace fluoridů v jednotlivých studních. Obsah fluoridů v pitné vodě je limitován nejvyšší mezní hodnotou na $1,5 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$. Všechny studny tento limit splňují.

Tabulka 21 Výsledky koncentrací fluoridů pro studny A-E

Koncentrace fluoridů [$\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$]					
Datum	A	B	C	D	E
16.4.2018	0,109	0,144	0,119	0,339	0,274
16.5.2018	0,100	0,129	0,113	0,438	0,172
15.6.2018	0,099	0,320	0,107	0,521	0,146
17.7.2018	0,091	0,146	0,110	0,303	-
15.8.2018	0,177	0,222	0,192	0,247	-
14.9.2018	0,162	0,343	0,190	0,452	-
15.10.2018	0,134	0,152	0,154	0,264	0,196
15.11.2018	0,155	0,131	0,148	0,320	0,280
17.12.2018	0,118	0,149	0,212	0,330	0,225
15.1.2019	0,102	0,143	0,168	0,139	0,150
18.2.2019	0,172	0,190	0,216	0,426	0,152
14.3.2019	0,147	0,168	0,175	0,361	0,181



Obrázek 17 Graf závislosti koncentrace fluoridů na ročním období pro vzorky A-E, limit pro pitnou vodu je $1,5 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1} \text{NMH}$

Z grafu je patrné, že koncentrace fluoridů jsou u studní A, B, C a E stabilní, a tudíž na ně nemá roční období vliv. Pouze u vzorku D jde vidět kolísání koncentrace které je pravděpodobně způsobené kolísáním hladiny studniční vody.

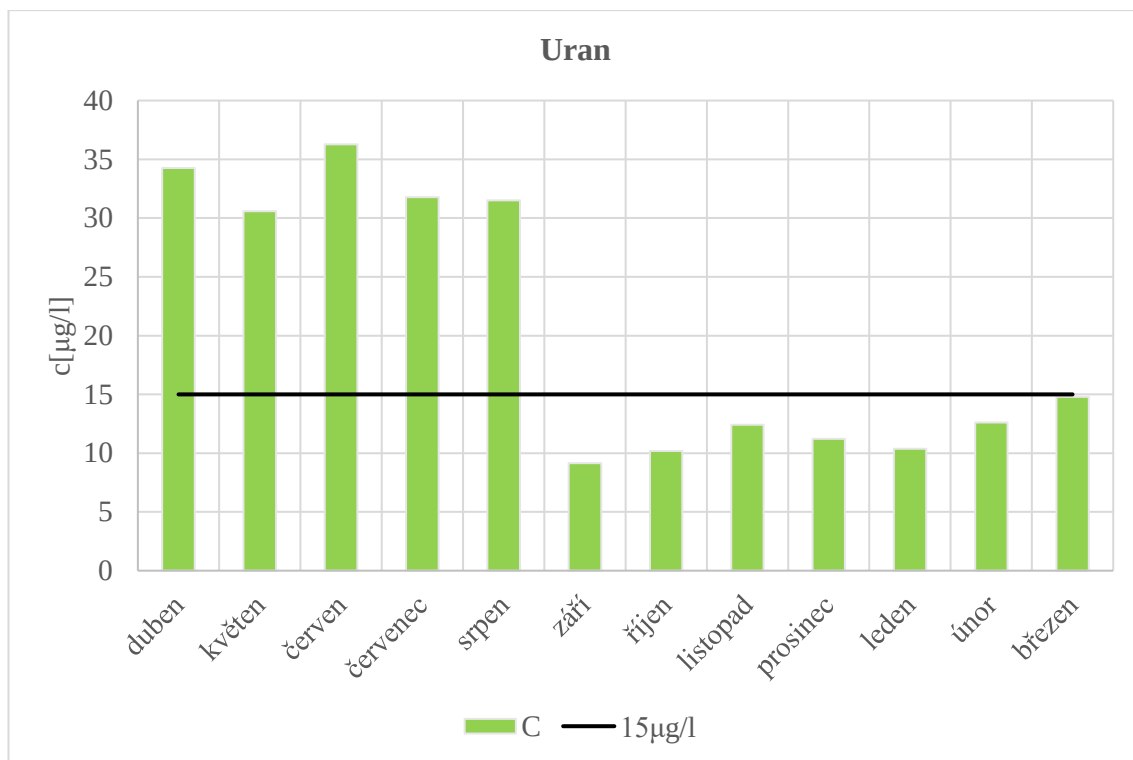
4.2. Výsledky uranu, selenu a arsenu u vybraných studní

Uran

Koncentrace uranu se sledovaly pouze ve studně C, která jako jediná vykazovala zvýšené hodnoty. V tabulce č. 22 jsou shrnuty výsledky z kterých je patrné, že koncentrace uranu se prvních 5 měsíců pohybovala v nadlimitních hodnotách. Od září, již koncentrace byla pod hranicí nejvyšší mezní hodnoty, která má hodnotu $15 \text{ } \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$. K poklesu koncentrace došlo z důvodu vyčištění studny. Na obr. č. 18 je graf závislosti koncentrace uranu na ročním období.

Tabulka 22 Výsledky koncentrace uranu pro studnu C

Koncentrace uranu [$\mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$]						
Měsíc	duben	květen	červen	červenec	srpen	září
Koncentrace	34,27	30,57	36,28	31,77	31,50	9,16
Měsíc	říjen	listopad	prosinec	leden	únor	březen
Koncentrace	10,18	12,42	11,21	10,38	12,62	14,78



Obrázek 18 Graf závislosti koncentrace uranu na ročním období pro studnu C

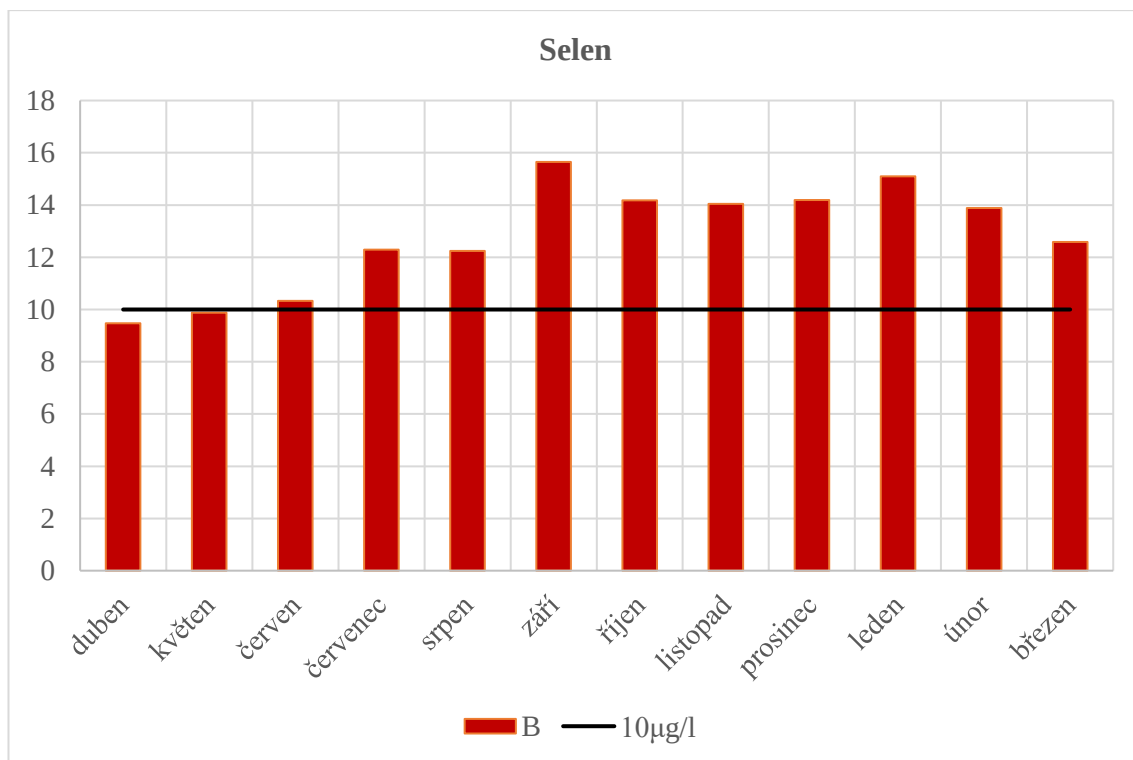
Z grafu je patrný pokles koncentrace uranu od září, který jsem popisoval již výše. Avšak v březnu již koncentrace atakovala hranici limitu pro pitnou vodu a pravděpodobně i v dalších měsících by koncentrace rostla na počáteční hodnotu. Vzhledem k tomu, že došlo k zásahu do studny v průběhu sledování, nedá se určit, zda má roční období vliv na koncentraci uranu v podzemní vodě.

Selen

Zvýšené koncentrace selenu vykazovala pouze studna B. V tabulce č. 23 jsou shrnuty výsledky, ze kterých vyplývá, že koncentrace selenu se od června do března pohybovala nad hranicí nejvyšší mezní hodnoty, která má hodnotu $10 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$. Na obr. č. 19 je graf závislosti koncentrace selenu na ročním období.

Tabulka 23 Výsledky koncentrace selenu pro studnu B

Koncentrace selenu [$\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$]						
Měsíc	duben	květen	červen	červenec	srpen	září
Koncentrace	9,47	9,88	10,33	12,29	12,24	15,65
Měsíc	říjen	listopad	prosinec	leden	únor	března
Koncentrace	14,18	14,04	14,19	15,10	13,89	12,58



Obrázek 19 Graf závislosti koncentrace selenu na ročním období

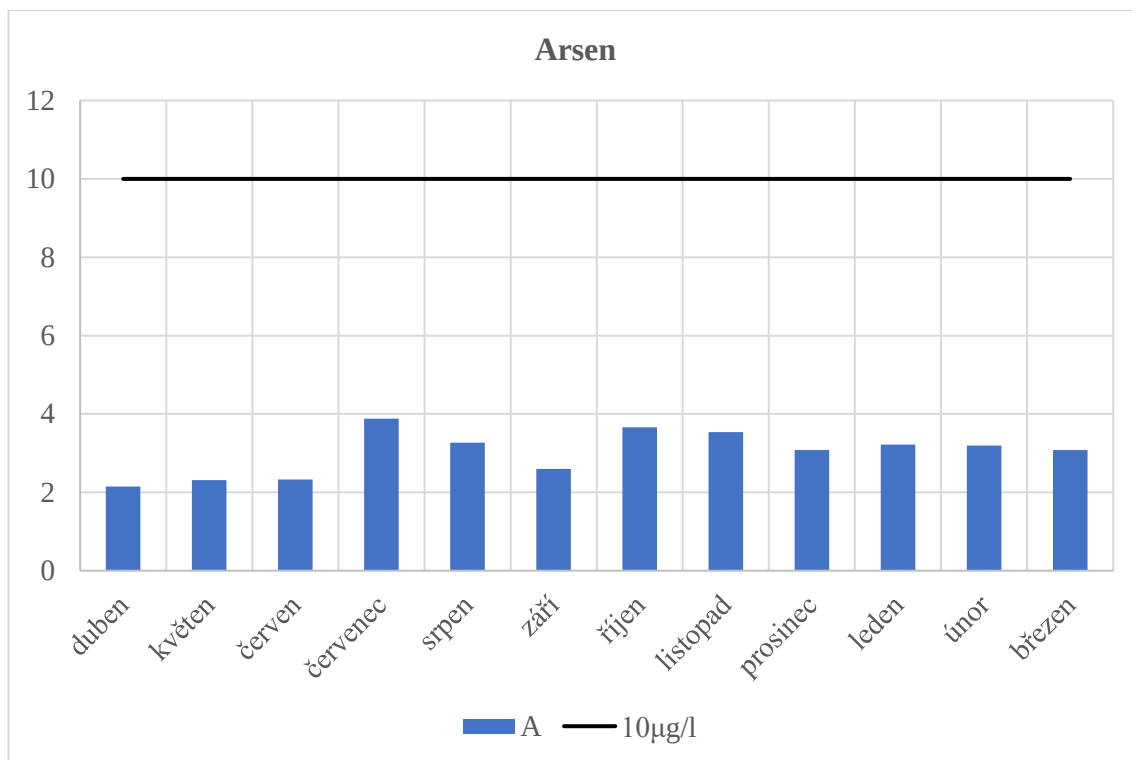
Z grafu je patrné, že koncentrace selenu v období od dubna do září rostla, následně stagnovala na hodnotě okolo $15 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ a v únoru začala opět klesat. S největší pravděpodobností ke zvýšenému obsahu selenu došlo z důvodu nižší hladiny vody ve studni. Dalo by se říct, že roční období nemá vliv na koncentraci selenu.

Arsen

Studna A obsahovala arsen, i přesto, že se nejedná o vyšší hodnoty, než je stanovený limit pro pitnou vodu, který má hodnotu $10 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ jsem se rozhodla tento parametr sledovat. V podzemních vodách se arsen běžně vyskytuje v koncentracích do $5 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$. V tabulce č. 24 jsou shrnuty výsledky. Na obr č. 25 je graf závislosti koncentrace arsenu na ročním období pro studnu A.

Tabulka 24 Výsledky koncentrace arsenu pro studnu A

Koncentrace arsenu [$\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$]						
Měsíc	duben	květen	červen	červenec	srpen	září
Koncentrace	2,15	2,31	2,33	3,88	3,27	2,60
Měsíc	říjen	listopad	prosinec	leden	únor	březen
Koncentrace	3,66	3,54	3,08	3,22	3,19	3,08



Tabulka 25 Změřené výsledky koncentrace vybraných kationtů pro vzorek A

Z grafu vyplývá, že roční období nemá vliv na koncentraci arsenu v dané studni.

4.3. Průměrné výsledky jednotlivých parametrů

V následujících tabulkách č. 26-30 jsou shrnuty veškeré výsledky stanovovaných parametrů včetně vyhodnocení, zda odpovídají hygienickým požadavkům podle vyhlášky č.70/2018 Sb.

Studna A

Voda ze studny A nesplňuje hygienické limity pro železo, mangan, vápník a dusičnany. Avšak pouze v případě dusičnanů se jedná o překročení závažného ukazatele kvality vody. V ostatních případech se jedná o parametry, které ovlivňují pouze organoleptické vlastnosti vod. Ve všech ostatních parametrech voda splňuje hygienické požadavky pro pitnou vodu. Viz tabulka č 26. Koncentrace draslíku ($43,4 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$) je vyšší než koncentrace sodíku ($35,30 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$) což je v podzemních vodách velmi neobvyklé, neboť draselné ionty jsou důležitou živinou pro rostliny a jsou tak více spotřebovávány. [1]

Tabulka 26 Porovnání hygienických požadavků pro pitnou vodu a průměrných hodnot jednotlivých parametrů ve vodě A

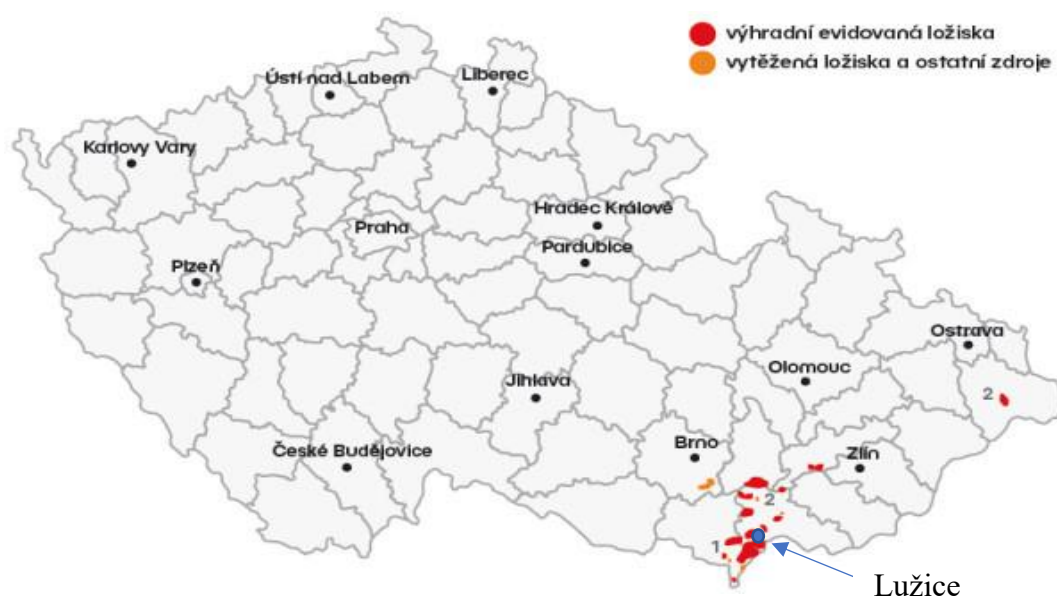
Parametr	Průměrná hodnota	Limit	Jednotka	Typ limitu	Výsledek
pH	7,38	6,5-9,5	pH	MH	Splňuje
Konduktivita	94,7	125	mS·m ⁻¹	MH	Splňuje
TOC	1,84	5	mg·l ⁻¹	MH	Splňuje
Železo	14,61	0,2	mg·l ⁻¹	MH	Nesplňuje
Mangan	2,62	0,05	mg·l ⁻¹	MH	Nesplňuje
Vápník	103,76	30 40-80	mg·l ⁻¹	MH DH	Nesplňuje
Hořčík	15,58	10 20-30	mg·l ⁻¹	MH DH	Splňuje
Sodík	35,30	200	mg·l ⁻¹	MH	Splňuje
Draslík	43,38	-	-	-	-
Dusičnany	179,28	50	mg·l ⁻¹	NMH	Nesplňuje
Dusitany	0,07	0,5	mg·l ⁻¹	NMH	Splňuje
Sířany	97,15	250	mg·l ⁻¹	MH	Splňuje
Chloridy	55,76	100	mg·l ⁻¹	MH	Splňuje
Fluoridy	0,13	1,5	mg·l ⁻¹	NMH	Splňuje
Arsen	3,03	10	μg·l ⁻¹	NMH	Splňuje

Studna B

Voda ze studny B nesplňuje hygienické požadavky pro pitnou vodu ve 4 parametrech mezi ně patří železo, mangan, dusičnany a selen. V případě selenu a dusičnanů se jedná o překročení důležitých parametrů, díky kterým je voda nevhodná pro pití. Nadlimitní hodnoty železa a manganu ovlivňují barvu, chuť a zákal vody. Stejně jako ve studně A i zde má draslík vyšší koncentraci než sodík. Vhodná koncentrace manganu pro závlahu je do 3 mg·l⁻¹ avšak zde byly průměrné hodnoty manganu dvojnásobné.[1] Neobvyklou složkou této vody je selen, který je ve vodách velmi málo zastoupen. Zdrojem nadlimitního množství selenu je pravděpodobně ropa.[36] Neboť se studna nachází v tzv. vídeňské pánvi, ve které se nachází ropná a lignitová naleziště. Viz. Obr. č. 20, kde modrá tečka znázorňuje obec Lužice. Výsledky jsou shrnuty v tabulce č. 27.

Tabulka 27 Porovnání hygienických požadavků pro pitnou vodu a průměrných hodnot jednotlivých parametrů ve vodě B

Parametr	Průměrná hodnota	Limit	Jednotka	Typ limitu	Výsledek
pH	7,38	6,5-9,5	pH	MH	Splňuje
Konduktivita	62,8	125	mS·m ⁻¹	MH	Splňuje
TOC	4,21	5	mg·l ⁻¹	MH	Splňuje
Železo	158,82	0,2	mg·l ⁻¹	MH	Nesplňuje
Mangan	6,49	0,05	mg·l ⁻¹	MH	Nesplňuje
Vápník	73,41	30 40-80	mg·l ⁻¹	MH DH	Splňuje
Hořčík	11,27	10 20-30	mg·l ⁻¹	MH DH	Splňuje
Sodík	14,37	200	mg·l ⁻¹	MH	Splňuje
Draslík	30,69	-	-	-	-
Dusičnany	130,80	50	mg·l ⁻¹	NMH	Nesplňuje
Dusitany	0,04	0,5	mg·l ⁻¹	NMH	Splňuje
Sířany	56,43	250	mg·l ⁻¹	MH	Splňuje
Chloridy	11,78	100	mg·l ⁻¹	MH	Splňuje
Fluoridy	0,18	1,5	mg·l ⁻¹	NMH	Splňuje
Selen	12,82	10	μg·l ⁻¹	NMH	Nesplňuje



Obrázek 20 Mapa současných nalezišť ropy [37]

Studna C

Voda ze studny C nesplňuje hygienické požadavky v 5 parametrech. Patří mezi ně železo, mangan, vápník, hořčík a uran. Mezi závažný ukazatel vody patří pouze uran. Ostatní parametry ovlivňují organoleptické vlastnosti vody. Železo a mangan ovlivňuje negativně barvu a chuť. A Vápník a hořčík ovlivňují chuť vody. Uran nesplňuje limit pro pitnou vodu, ale pro vodu závlahu ano ($50 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$). Koncentrace manganu je vyšší než koncentrace železa, což je velmi neobvyklé. Oproti uranu mangan nesplňuje limit pro závlahovou vodu, která má hodnotu $3 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$. [1] V tabulce č. 28 jsou shrnuty výsledky.

Tabulka 28 Porovnání hygienických požadavků pro pitnou vodu a průměrných hodnot jednotlivých parametrů ve vodě C

Parametr	Průměrná hodnota	Limit	Jednotka	Typ limitu	Výsledek
pH	7,47	6,5-9,5	pH	MH	Splňuje
Konduktivita	114,0	125	$\text{mS}\cdot\text{m}^{-1}$	MH	Splňuje
TOC	2,81	5	$\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$	MH	Splňuje
Železo	86,35	0,2	$\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$	MH	Nesplňuje
Mangan	134,35	0,05	$\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$	MH	Nesplňuje
Vápník	123,14	30 40-80	$\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$	MH DH	Nesplňuje
Hořčík	33,87	10 20-30	$\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$	MH DH	Nesplňuje
Sodík	65,26	200	$\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$	MH	Splňuje
Draslík	3,24	-	-	-	-
Dusičnany	12,94	50	$\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$	NMH	Splňuje
Dusitany	0,06	0,5	$\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$	NMH	Splňuje
Sířany	161,09	250	$\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$	MH	Splňuje
Chloridy	94,28	100	$\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$	MH	Splňuje
Fluoridy	0,16	1,5	$\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$	NMH	Splňuje
Uran	20,43	10	$\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$	NMH	Nesplňuje

Studna D

Stejně jako předchozí vody i voda D nesplňuje hygienické požadavky v parametrech železa, manganu, vápníku a hořčíku. Navíc ještě nesplňuje limity pro TOC a dusičnany. S největší pravděpodobností jsou vysoké koncentrace dusičnanů způsobeny bakteriemi, které jsou schopné fixovat molekulový dusík. Tyto bakterie se nacházejí v písčitých půdách s borovicovými lesy a studna, ze které voda pochází se nachází u borovicového lesa.[1] Další zdrojem znečištění dusičnany mohou být hnojiva. Zdrojem vyššího obsahu TOC jsou nejspíš látky rostlinného původu jako je listí a dřevo, které se vyskytuje na dně studny.[38]

Tabulka 29 Porovnání hygienických požadavků pro pitnou vodu a průměrných hodnot jednotlivých parametrů ve vodě D

Parametr	Průměrná hodnota	Limit	Jednotka	Typ limitu	Výsledek
pH	7,46	6,5-9,5	pH	MH	Splňuje
Konduktivita	101,8	125	mS·m ⁻¹	MH	Splňuje
TOC	9,21	5	mg·l ⁻¹	MH	Nesplňuje
Železo	105,05	0,2	mg·l ⁻¹	MH	Nesplňuje
Mangan	40,70	0,05	mg·l ⁻¹	MH	Nesplňuje
Vápník	125,59	30 40-80	mg·l ⁻¹	MH DH	Nesplňuje
Hořčík	19,67	10 20-30	mg·l ⁻¹	MH DH	Splňuje
Sodík	16,24	200	mg·l ⁻¹	MH	Splňuje
Draslík	38,28	-	-	-	-
Dusičnany	185,73	50	mg·l ⁻¹	NMH	Nesplňuje
Dusitany	0,08	0,5	mg·l ⁻¹	NMH	Splňuje
Síraný	123,07	250	mg·l ⁻¹	MH	Splňuje
Chloridy	38,06	100	mg·l ⁻¹	MH	Splňuje
Fluoridy	0,35	1,5	mg·l ⁻¹	NMH	Splňuje

Studna E

Voda ze studny E vykazovala nejvyšší počet nadlimitních hodnot stanovovaných parametrů. Mezní hodnota je překročena u konduktivity, TOC, železa, manganu, hořčíku, síranů a chloridů. Nejvyšší mezní hodnota je překročena pouze u dusičnanů. Jedním ze zdrojů znečištění dusičnanů jsou hnojiva. Hlavním zdrojem znečištění většiny parametrů bude nejspíš řeka Morava, neboť je to jeden z hlavních zdrojů podzemní vody této studny. Hořčík a sírany ve velmi vysokých koncentracích mají laxativní účinky.[1] Zvýšená hodnota konduktivity je způsobena velkým počtem minerálních látek.

Tabulka 30 Porovnání hygienických požadavků pro pitnou vodu a průměrných hodnot jednotlivých parametrů ve vodě E

Parametr	Průměrná hodnota	Limit	Jednotka	Typ limitu	Výsledek
pH	7,56	6,5-9,5	pH	MH	splňuje
Konduktivita	253,8	125	mS·m ⁻¹	MH	Nesplňuje
TOC	4,59	5	mg·l ⁻¹	MH	Splňuje
Železo	186,42	0,2	mg·l ⁻¹	MH	Nesplňuje
Mangan	19,05	0,05	mg·l ⁻¹	MH	Nesplňuje
Vápník	270,87	30 40-80	mg·l ⁻¹	MH DH	Nesplňuje
Hořčík	85,64	10 20-30	mg·l ⁻¹	MH DH	Nesplňuje
Sodík	98,32	200	mg·l ⁻¹	MH	Splňuje
Draslík	54,41	-	-	-	-
Dusičnany	517,84	50	mg·l ⁻¹	NMH	Nesplňuje
Dusitany	0,09	0,5	mg·l ⁻¹	NMH	Splňuje
Sírany	332,36	250	mg·l ⁻¹	MH	Nesplňuje
Chloridy	150,44	100	mg·l ⁻¹	MH	Nesplňuje
Fluoridy	0,19	1,5	mg·l ⁻¹	NMH	Splňuje

5. ZÁVĚR

V této bakalářské práci byly nashromážděny data z 5 studní v oblasti Hodonína. Polohy jednotlivých studní jsou zobrazeny na obr. č. 2. Vody byly odebírány v průběhu 1 roku, kdy první odběr jsem provedla v dubnu 2018 a poslední v březnu 2019. Následně byly stanoveny vybrané parametry ve Zdravotním ústavu na oddělení anorganických analýz v Olomouci. Stanovené parametry byly porovnány s hygienickými požadavky na pitnou vodu dle vyhlášky č.70/2018 Sb. A sledoval se vliv ročního období na jednotlivé parametry.

Z fyzikálních vlastností vod bylo sledováno pH a konduktivita. Výsledky jsou shrnuty v tabulce č. 8 a 9. Limit pro pitnou vodu byl splněn u všech vzorků pro parametr pH. U Konduktivity nesplňovala limit pro pitnou vodu pouze voda ze studně E. Na pH ani vodivost nemá vliv roční období.

Z organických látek se stanovoval pouze celkový organický uhlík (TOC). Výsledky jsou shrnuty v tabulce č. 10. Hygienické požadavky pro pitnou vodu nesplňoval vzorek D.

Z anorganických látek se sledovaly kovy, polokovy, nekovy a jeden radioaktivní prvek. Z kovů se stanovovalo železo, mangan, hořčík, vápník, sodík a draslík. A z polokovů arsen a selen. Mezi nekovy, které se stanovovaly ve vodách patří sloučeniny fluoru, chloru, dusíku a síra. Jediný radioaktivní prvek sledovaný ve vodě byl uran.

Výsledky kovů a polokovů jsou shrnuty v tabulkách č. 11–16 ze kterých vyplývá, že železo a mangan jsou v nadlimitních hodnotách ve všech vodách. U vápník splňuje limit pouze voda ze studně B. Nadlimitní hodnoty hořčíku se vyskytují ve studních C a E. Sodík se nevyskytuje v žádném vzorku vod v nadlimitním množství. Draslík, nemá stanovené hygienické požadavky pro pitnou vodu.

Výsledky aniontů jsou shrnuty v tabulkách č. 17–21. Koncentrace dusičnanů byla ve všech vzorcích nadlimitní až na vodu ze studně C. Limit pro pitnou vodu u dusitanů splňovaly všechny vzorky vod. U síranů a chloridů nesplňovaly požadavky na pitnou vodu pouze voda ze studny E. A koncentrace fluoridů se pohybovala ve všech vodách v bezpečných hodnotách.

Ve studně A byla pozorována koncentrace arsenu, jehož koncentrace nepřesahovala limit pro pitnou vodu. Studna B obsahovala selen, který již přesahoval limit pro pitnou

vodu. Studna C obsahovala uran ve velmi vysokých koncentracích, které však po vyčištění studny klesly pod hranici nejvyšší mezní hodnoty.

Žádná z uvedených vod, není vhodná jako pitná voda, avšak k úplnému vyjádření by bylo vhodné udělat i mikrobiologické složení vod. Všechny testované vody jsou používány pouze pro závlahu. A i v těchto aspektech jsou některé vody jako je například voda ze studny B a C méně vhodné. Neboť v obou případech byla překročena koncentrace mangan.

6. SUMMARY

In this bachelor thesis, data from 5 wells in the Hodonín area were collected. The positions of individual wells are shown in Fig. No. 2. Waters were collected within one year, where the first sampling was performed in April 2018 and the last one in March 2019. Subsequently, selected parameters were determined in the Health Institute in the Department of Inorganic Analysis in Olomouc. Specified parameters were compared with hygienic requirements for drinking water according to Decree No. 70/2018 Coll. And the influence of the season on individual parameters was observed.

The pH and conductivity of water were monitored from the physical properties. The results are summarized in Tables 8 and 9. The limit for drinking water was met for all samples for the pH parameter. For Conductivity, only water from the E well did not meet the drinking water limit. The Annual period does not affect pH or conductivity.

Only total organic carbon (TOC) was determined from organic substances. The results are summarized in Table 10. Sample D did not meet the hygiene requirements for drinking water.

From inorganic substances, metals, semi-metals, non-metals and one radioactive element were observed. From metals there were iron, manganese, magnesium, calcium, sodium, and potassium set. And from the semi-metals arsenic and selenium. Non-metals that have been determined in water include fluorine, chlorine, nitrogen, and sulphur compounds. The only radioactive element observed in water was uranium.

The results of metals and semi-metals are summarized in Tables 11-16, which show that iron and manganese are above the limit values in all water samples. Only the water from well B meets the limit in calcium. Above-limit values of magnesium occur in wells C and E. Sodium does not occur in any sample of water in above-limit quantities. Potassium has no hygienic requirements for drinking water.

The anion results are summarized in Tables 17-21. Nitrate concentration in all samples was above the limit except for water from well C. All water samples met the limit for drinking water for nitrite. In the case of sulphates and chlorides, only water from

the well E did not meet the requirements for drinking water. The fluoride concentration was in safe values in all waters.

In well A, arsenic concentration was observed, the concentration did not exceed the drinking water limit. Well B contained selenium, which already exceeded the limit for drinking water. Well C contained uranium in very high concentrations, which, however, dropped below the highest limit after cleaning the well.

None of these waters is suitable as drinking water, but a microbiological composition of water would be desirable for complete expression. All tested water is used only for irrigation. And even in these aspects, some waters such as well water B and C are less suitable. For in both cases the concentration of manganese was exceeded.

7. LITERATURA

- [1] PITTER, P.: *Hydrochemie*. 5. aktualizované a doplněné vydání. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2015. ISBN 978-80-7080-928-0.
- [2] GAŽO, J., Kohout J., Serátor M., Šramko T. a Zikmund M.: *Všeobecná a anorganická chemie*. 2.upravené. Bratislava: Alfa, 1974.
- [3] KLIKORKA, J., Hájek B. a Votinský J.: *Obecná a anorganická chemie*. 2. nezměněné vydání. Praha: Alfa, vydavatelstvo technickej a ekonomickej literatúry, Bratislava, 1989.
- [4] VACLAVIK, Vickie A. a Christian W. E.: *Essentials of Food Science* [online]. 2003 [vid. 2019-02-20]. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/978-1-4757-5173-4>
- [5] BUMERL, M.: *Hydrobiologie: učební text* [online]. [vid. 2019-02-20]. Dostupné z: http://www.sos-veseli.cz/download/hydrologie_ucebni_text.pdf
- [6] KUČEROVÁ, R.: *Úprava a čištění vody - Druhy vod* [online]. [vid. 2019-02-20]. Dostupné z: http://homen.vsb.cz/hgf/546/Materialy/Radka_2010/dv.html
- [7] LIN, S. D.: Water and wastewater calculations manual. In: C. C. LEE, ed. . Second. B.m.: McGraw-Hill Companies, Inc, 2007. ISBN 0-07-154266-3.
- [8] PIVOKONSKÝ, M.: *Druhy a typy vod a zdroje jejich znečištění* [online]. [vid. 2019-02-22]. Dostupné z: http://www.pivokonsky.wz.cz/ZOV17-18/znecistovani_ochrana_vod_1.pdf
- [9] HORÁKOVÁ, M.: *Analytika vody*. 2. opravené vydání. 2003. ISBN 80-7080-520-X.
- [10] ČSN EN ISO 7887 *Kvalita vod - Stanovení barvy*. 2012
- [11] *Vyhláška č.70 / 2018 Sb. vyhláška, kterou se mění vyhláška č.252/2004 Sb., kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody, ve znění pozdějších předpisů*
- [12] ČSN ISO 1622 *jakost vod - Stanovení prahového čísla pachu (TON) a prahového čísla chuti (TFN)*
- [13] ČSN EN ISO 7027 *Jakost vod - Stanovení zákalu*
- [14] BREZONIK, Patrick L. a Arnold A. W.: *Water chemistry: An introduction to the chemistry of Natural and Engineered aquatic systems* [online]. 2011 [vid. 2019-02-25]. Dostupné z: <https://books.google.cz/books?id>
- [15] WEINER, Eugene R.: *Applications of Environmental Aquatic Chemistry: A Practical Guide, Second Edition* [online]. 2013 [vid. 2019-02-18]. Dostupné z: [https://books.google.cz/books?id=application of environmental aquatic chemistry&f=false](https://books.google.cz/books?id=application+of+environmental+aquatic+chemistry&f=false)
- [16] MANAHAN, Stanley E.: *Environmental Chemistry*. Eight. B.m.: CRC Presss, 2005. ISBN 1-56670-633-5.

- [17] LANGHAMMER, J.: *Kvalita povrchových vod a jejich ochrana* [online].
[vid. 2019-01-29]. Dostupné
z: https://web.natur.cuni.cz/~langhamr/lectures/wq/skripta/skriptaWQ_2009_web.pdf
- [18] LELLÁK, J. a Kubíček F.: *Hydrobiologie*. Praha: Univerzita Karlova, vydavatelství Karolinum, 1991. ISBN 80.7066-530-0.
- [19] KOPLÍK, R., Čurdová E. a Mestek O.: Specie stopových prvků ve vodách , půdách , sedimentech a biologických materiálech. *Chemické listy*. 1997, **91**, 38– 47.
- [20] MANDAL, Badal Kumar a Suzuki T. K.: Arsenic round the world : a review. 2002, **58**, 201–235.
- [21] ME NCIÓ, Anna, Mas-Pla J., Otero N., Regàs O., Boy-Roura M., Puig R., Bach J., Domènech C., Zamorano M., Brusi D. a Folch A.: Nitrate pollution of groundwater; all right. . . , but nothing else? *Science of the Total Environment*. 2016, **539**, 241–251.
- [22] LIESCH, T., Hinrichsen S. a Goldscheider N.: Science of the Total Environment Uranium in groundwater — Fertilizers versus geogenic sources. *Science of the Total Environment, The*. 2015, **536**, 981–995. ISSN 0048-9697.
- [23] ALAM, Samrat a Cheng T.: Uranium release from sediment to groundwater : In fl uence of water chemistry and insights into release mechanisms. *Journal of Contaminant Hydrology*. 2014, **164**, 72–87. ISSN 0169-7722.
- [24] SCHUMACHER, Brian A.: Methods for determination of total organic racbon in soil and sediments. 2002, (April), 23.
- [25] YOON, Geun Seok, Park M. S., Yang H., Tsang C. V. D., Alessi S. D. a Baek K.: Selection criteria for oxidation method in total organic carbon measurement. *Chemosphere*. 2018, **199**, 453–458. ISSN 18791298.
- [26] DEAN, John R.: *Practical Inductively Coupled Plasma Spectroscopy*. 2005.
- [27] VACULOVIČ, T., Kanický V., Otruba V. a Vašínová Galiová M.: 6. kurz ICP spektrometrie. 2011.
- [28] MESTEK, Oto.: *Hmotnostní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem*. 2010.
- [29] THOMAS, R.: *Practical guide to OCP-MS* [online]. 2004 [vid. 2019-02-18]. Dostupné z: <http://algol.fis.uc.pt/jap/ICP-MS-Primer-Thomas.pdf>
- [30] HADDAD, Paul R. a Jackson E. P.: Ion chromatography principles and applications. *Journal of chromatography library*. 1990.
- [31] EITH, C., Kolb M. a Seubert A.: Practical Ion Chromatography An Introduction. In: H. VIEHWEGGER, ed. *The Whole world of chromatography*. 2001, s. 160.
- [32] *Analytická chemie - iontová chromatografie na profesionální úrovni* [online]. 2011 [vid. 2019-01-28]. Dostupné
z: http://www.chemagazin.cz/userdata/chemagazin_2010/file/CHEMAGAZIN_XXI_6_cl3.pdf

- [33] *Stanovení obsahu organického uhlíku (TOC) a chlorofylu a* [online]. [vid. 2019-02-20]. Dostupné z: http://hydrobiologie.upol.cz/uploads/files/02_metody_stanoveni_obsahu_toc_chlorofylu.pdf
- [34] *Celkový organický uhlík a chemická spotřeba kyslíku* [online]. [vid. 2019-02-19]. Dostupné z: https://www.irz.cz/repository/latky/celkovy_organicky_uhlik.pdf
- [35] NĚMEČEK, J., Muhlhansellová M., Macků J., Vokoun J., Vavříček D. a Novák P.: *Taxonomický klasifikační systém půd České republiky*. 2. upraven. 2011. ISBN 978-80-213-2155-7.
- [36] KREJČOVÁ, S., Doušová B. a Kadlecová R.: Studium kontaminace zdrojů pitné vody selenem v obci Suchomasty (CHKO Český kras). *Chem.listy* 107, 219-222. 2013, **11**.
- [37] První naleziště ropy u nás odhalil před sto lety obrovský výbuch na statku. *tn.cz* [online]. 2014 [vid. 2019-03-31]. Dostupné z: <https://img.cz.prg.cmestatic.com/media/images/600xX/Jan2014/1602433.jpg?91aa>
- [38] PALASOVÁ, I., Vermachová I., Bednářová R., Saidlová A. a Wantochová Z., Kocmoud M.: *Informační materiál. Zdravotní ústav se sídlem v Ústí nad labem. Rozbor pitné vody* [online]. [vid. 2019-04-03]. Dostupné z: <http://www.zuusti.cz/wp-content/uploads/2017/01/Materiál-voda-2-skládačkaJM.pdf>

8. SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

ČSN – česká technická norma

DH – doporučená hodnota

MH – mezní hodnota

NMH – nejvyšší mezní hodnota

TON – prahové číslo pachu

TFN – prahové číslo chuti

ZF(t) – turbidimetrická formazinová jednotka

ZF (n) – nefelometrická formazinová jednotka

TOC – (total organic carbon) celkový organický uhlík

IC – (ion chromatography) iontová chromatografie

ICP-MS – (Inductively coupled plasma mass spectrometry) Hmotnostní spektrometrie
s indukčně vázaným plazmatem