

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI

Přírodovědecká fakulta

Katedra fyzikální chemie

SLEDOVÁNÍ KVALITY PODZEMNÍCH VOD VE ZLÍNĚ A OKOLÍ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Autor práce: Lucie Žampachová

Vedoucí práce: doc. RNDr. Tatjana Nevěčná, CSc.

Studijní program: B1407 Chemie

Studijní obor: Aplikovaná chemie (APLCH)

Forma studia: Prezenční

Olomouc 2017

Prohlašuji, že jsem tuto práci vypracovala samostatně pod vedením doc. RNDr. Taťjany Nevěčné, CSc. Veškeré použité prameny a informace, které jsem ve své práci zmínila, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

V Olomouci dne.....

Podpis.....

Ráda bych poděkovala vedoucí mé bakalářské práce doc. RNDr. Taťjaně Nevěčné, CSc. za odborné vedení, pomoc a cenné rady při zpracování této práce. Poděkování patří také RNDr. Martinu Halatovi, Ing. Janě Hanákové i celému kolektivu Zdravotního ústavu se sídlem v Ostravě za umožnění práce v laboratořích na olomouckém pracovišti, za trpělivost, čas a ochotu, které mi věnovali. Děkuji i pracovníkům Magistrátu města Zlína na Odboru životního prostředí a zemědělství za bližší informace o veřejných studnách. Samozřejmě nemohu zapomenout ani na své rodiče a bratra, kteří mě podporovali během celé doby mého studia.

BIBLIOGRAFICKÉ ÚDAJE

Jméno a příjmení:	Lucie Žampachová
Název práce:	Sledování kvality podzemních vod ve Zlíně a okolí
Typ práce:	Bakalářská
Pracoviště:	Katedra fyzikální chemie
Vedoucí práce:	doc. RNDr. Taťjana Nevěčná, CSc.
Rok obhajoby:	2017
Abstrakt:	<p>Tato bakalářská práce byla zaměřena na pozorování vybraných hygienických ukazatelů jakosti podzemních vod v průběhu jednoho roku od dubna 2016 do března 2017. V teoretické části byly popsány hlavní chemické ukazatele a jejich možný vliv na kvalitu vody. Cílem sledování byly čtyři studny a jeden pramen z oblasti Zlína a okolí a jedna studna na soukromém pozemku v obci Hlušovice. Posuzovanými ukazateli v praktické části byly teplota, pH, konduktivita, dusičnany (NO_3^-), dusitany (NO_2^-), chloridy (Cl^-), sírany (SO_4^{2-}), amonné ionty (NH_4^+), železo (Fe), mangan (Mn), vápník (Ca), hořčík (Mg), sodík (Na), draslík (K) a celkový organický uhlík (TOC). Následně byly naměřené výsledky porovnány s limity pro pitnou vodu uvedenými ve Vyhlášce č. 252/2004 Sb. Z výsledků bylo stanoveno, zdali roční období ovlivňuje chemické vlastnosti podzemních vod, či nikoli.</p>
Klíčová slova:	podzemní voda, studna, pramen, kvalita vody
Počet stran:	65
Počet příloh:	5
Jazyk:	Český

BIBLIOGRAPHICAL IDENTIFICATION

Author's first name and surname: Lucie Žampachová

Title: Quality monitoring of selected groundwater resources in Zlín area

Type of thesis: Bachelor

Department: Department of Physical Chemistry

Supervisor: doc. RNDr. Taťjana Nevěčná, CSc.

The year of presentation: 2017

Abstract: This bachelor thesis was dealt with a monitoring of selected quality parameters of groundwater during one year period from April 2016 to March 2017. In theoretical part were described main chemical parameters and their potential influence on water quality. The aim was to monitor groundwater from four wells and one spring of water in Zlín area and one well on a private allotment in Hlušovice. The practical part describes the way how collected samples were tested for a range of parameters and substances including temperature, pH, conductivity, nitrate (NO_3^-), nitrite (NO_2^-), chloride (Cl^-), sulphate (SO_4^{2-}), ammonium ion (NH_4^+), iron (Fe), manganese (Mn), calcium (Ca), magnesium (Mg), sodium (Na), potassium (K) a total organic carbon (TOC). Furthermore, the results were compared with the drinking water Decree No. 252/2004. On the evidence of the obtained results, was concluded if the year season does affect the chemical groundwater qualities or not.

Keywords: groundwater, well, spring of water, water quality

Number of pages: 65

Number of appendices: 5

Language: Czech

OBSAH

1. ÚVOD	1
2. TEORERICKÁ ČÁST	2
2.1. Charakteristika vody.....	2
2.1.1. Podzemní vody.....	4
2.1.2. Pitné a užitkové vody	5
2.2. Fyzikální a chemické vlastnosti vody.....	6
2.3. Organoleptické a fyzikálně-chemické vlastnosti vody.....	8
Teplota.....	9
Konduktivita.....	9
Hodnota pH	10
2.4. Kovy a polokovy	13
2.4.1. Sodík a draslík.....	13
2.4.2. Vápník a hořčík	14
2.4.3. Železo a mangan	15
2.5. Nekovy	17
2.5.1. Sloučeniny chlóru.....	17
2.5.2. Sloučeniny dusíku	18
2.5.3. Sloučeniny síry.....	21
2.6. Organické látky přítomné ve vodách.....	22
2.7. Stanovení organického uhlíku (TOC)	23
3. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST.....	26
3.1. Použité pomůcky a zařízení.....	26
3.2. Použité chemikálie	26
3.3. Odběr vzorků a odběrová místa.....	27

3.4.	Stanovení vybraných ukazatelů.....	31
	Stanovení teploty.....	31
	Stanovení pH.....	31
	Stanovení konduktivity	32
	Stanovení dusičnanů, dusitanů, chloridů, síranů a amonných iontů	32
	Stanovení kovů (Fe, Mn, Ca, Mg, Na, K).....	33
	Stanovení celkového organického uhlíku (TOC).....	34
4.	VÝSLEDKY A DISKUSE	36
4.1.	Stanovení teploty	36
4.2.	Stanovení pH	38
4.3.	Stanovení konduktivity.....	39
4.4.	Stanovení dusičnanů, dusitanů, chloridů, síranů a amonných iontů.....	41
4.5.	Stanovení kovů (Fe, Mn, Ca, Mg, Na, K)	48
4.6.	Stanovení celkového organického uhlíku (TOC).....	57
5.	ZÁVĚR	59
6.	SUMMARY	61
7.	LITERATURA.....	63

1. ÚVOD

I přes svou jednoduchou chemickou strukturu představuje voda nezastupitelný element pro život, a to nejen na Zemi, nýbrž i v celém vesmíru. Její přítomnost je klíčová pro přežití mnoha organismů a díky svým specifickým vlastnostem přestavuje z biologického i chemického hlediska jakousi „základní hmotu“. Nalezneme-li totiž v přírodních podmínkách vodu, často v ní nacházíme i známky života ve formě mikroorganismů.

Lidská populace se už odnepaměti shromažďovala v blízkosti vody a vodních zdrojů. Kvůli své schopnosti dávat i brát uznávaly mnohé starověké kultury vodu téměř jako božstvo. Z náboženského hlediska je slovo voda automaticky spjata s čistotou, začátkem i koncem života. Avšak ani dnes voda nepozbývá svou důležitost, i když její plnou hodnotu si často uvědomíme až při jejím nedostatku či ztrátě kvality.

Zatímco pevnině náleží 29 % plošné rozlohy Země, zabírá voda přibližně 71 % její rozlohy. Z tohoto celku představuje podzemní voda pouze 1,7% část. V České republice sleduje celkovou hydrologickou bilanci Český hydrometeorologický ústav, jehož statistiky jsou základem pro stanovení mezních hodnot daných ukazatelů kvality.

Cílem této práce bylo zaznamenávání dat jakostních ukazatelů podzemních vod v oblasti Zlína a okolí. Odběry probíhaly po dobu jednoho roku v pravidelných měsíčních intervalech. Z této lokace bylo vybráno pět zdrojů vod, konkrétně čtyři studny a jeden pramen, tak, aby jejich poloha pokrývala co nejlépe celou studovanou oblast. Mimo Zlín byly prováděny také odběry jedné studniční vody z obce Hlušovice.

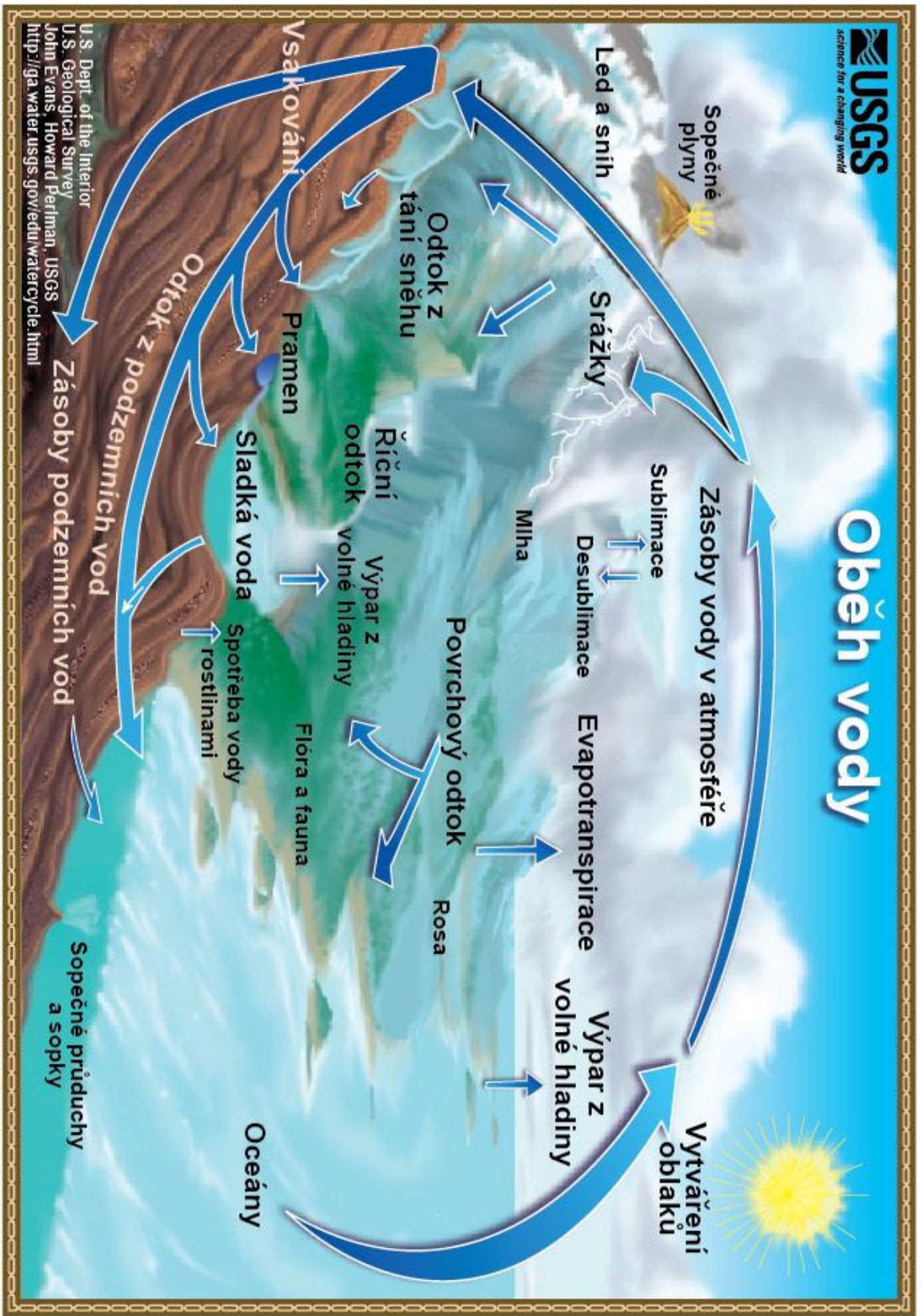
Sledovanými fyzikálně-chemickými parametry byly teplota, konduktivita a pH. Dále byly vyhodnocovány obsahy kovů jako železo, mangan, vápník, hořčík, sodík a draslík. K anorganické části stanovení se zařadily také chloridy, sírany, dusitany, dusičnany a amonné ionty. Organické látky přítomné ve vodách byly určeny stanovením celkového organického uhlíku. Získané hodnoty byly ve výsledku posouzeny dle kritérií vyhlášky č. 252/2004 Sb. Ministerstva zdravotnictví a také byly porovnány se záznamy o podmínkách při samotném odběru.

2. TEORERICKÁ ČÁST

2.1. Charakteristika vody

Vodu, jakožto jednu z nejrozšířenějších látek na Zemi, můžeme najít na různých místech skupenství i kvalitě. V kapalném skupenství je voda přítomna jak pod povrchem země (hydrogeologický kolektor), tak i na povrchu (oceány, jezera, řeky). Oceány představují zdroj asi 97 % veškeré vody na naší planetě. Další část je na Zemi přítomna jako plyn (vodní pára) nebo také v pevné formě jakožto ledy, ledovce či sníh. Vodu dělíme na podzemní, povrchovou a srážkovou (atmosférickou) v závislosti na jejím původu. Přirozený pohyb a kontinuální přeměna těchto jednotlivých druhů vod navzájem je známa pod pojmem hydrologický cyklus nebo také koloběh vody (viz Obr. 1). [1], [2]

Jelikož je voda vynikajícím rozpouštědlem, vyskytuje se v přírodě jako zředěný roztok různých plynů, organických i anorganických látek, se kterými při svém koloběhu přišla do styku. Chemické složení přírodní vody závisí tedy na pohlcování plynů, rozpustnosti tuhých látek, chemických a biochemických oxidačně-redukčních procesech. [3] Jakost vod udává i přítomnost látek v ní nerozpuštěných, výskyt mikroorganismů a bakterií. Za chemicky čistou vodu je považována pouze voda destilovaná. [2]



Obr. 1 Schéma oběhu vody [4]

2.1.1. Podzemní vody

Vodu, která se nachází pod zemským povrchem a je v přímém styku s horninami, označujeme jako vodu podzemní. Jedná se o vodu protékající drenážními systémy, vyskytující se ve studnách, vrtech, zemských dutinách a zvodněných vrstvách. Na vzniku podzemních vod se nejčastěji podílí vody povrchové (např. jezera, nádrže) a vody z půdních vrstev, které prosakují působením gravitačních sil. Jakmile narazí voda na překážku nebo nepropustnou vrstvu (izolátor), začne se nad ní hromadit. Nejčastějším typem takových překážek jsou změny propustnosti hornin z propustných (štěrk, písky) na nepropustné (jíly, slínovce). V horninovém prostředí vyplňuje podzemní voda volné prostory a obvykle vytváří souvislou hladinu. Fyzikální a chemické vlastnosti hornin, zemská gravitace, kapilární síly, atmosférický tlak aj. jsou dalšími faktory, které se podílí na vzájemném vztahu mezi vodou a horninami. [5], [6]

Podzemní vody lze dělit dle různé klasifikace. Pokud v hlubokých vrstvách zemské kůry vznikla voda kondenzací vodních par, které byly vytvořeny při magmatickém tuhnutí, jedná se o vody juvenilní (fossilní). Vzniká-li podzemní voda infiltrací povrchových a srážkových vod do zemského povrchu, mluvíme o tzv. vadózní vodě [6]. Převážná část podzemní vody na Zemi vzniká právě druhým způsobem. Její chemické složení je proto ovlivňováno nejen samotným průsakem ale i vlastnostmi půdního a horninového prostředí, ve kterém se nachází. Kvalita závisí především na přímém rozpouštění minerálů, kdy jsou vody obohacovány o snadno rozpustné minerály jako např. kamennou sůl NaCl, sylvín KCl či sádrovec $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Chemickým působením se málo rozpustné uhličitany např. Ca, Mg, Fe, převádí na rozpustné hydrogenuhličitany. Původně vzniklé látky mohou také podléhat chemickým a biochemickým pochodům (oxidacím a redukcím), čímž vznikají jiné modifikace. [5]

Dalším faktorem, který ovlivňuje kvalitu vody, představuje samotné místo odběru. Vzorky získané z hlubokého vrtu, mělkého vrtu nebo z pramene se od sebe mohou lišit. Vody z mělkých vrtů a pramenů bývají obvykle náchylnější na znečištění způsobené lidskou činností (tzv. antropogenní znečištění) než vody původem z hlubokých vrtů, které jsou před tímto faktorem chráněny. Časové změny chemického složení jsou obecně u podzemních vod méně výrazné než u vod povrchových. Také teplota se liší v závislosti na hloubce. Pokud se voda vyskytuje pod zemským povrchem v rozmezí asi 0,5 m až 1 m,

kolísá teplota během dne mnohem více než u vod, které se nachází v hloubce 20 m až 30 m. Oproti povrchovým vodám jsou podzemní vody jen málo organicky znečištěny. [3], [5]

Z chemického hlediska se podzemní vody dělí na vody prosté a minerální. Prostá má oproti minerální vodě nižší množství rozpuštěných látek a plynů. Obvykle mívá také nižší teplotu. Tento typ vody je převážně využíván pro vodohospodářské účely a napájení povrchových toků. Pokud u prosté vody dojde k překročení celkové mineralizace (obsah rozpuštěných anorganických látek) nebo volného CO_2 o hodnotu $1000 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$, resp. $20 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$, jedná se již o vodu minerální [7]. Změna prosté vody na minerální nastává většinou v mimořádných podmínkách jako např. vulkanickou činností nebo pohybem v jiném typu hornin. [5], [6]

V propustných horninách postupují podzemní vody přirozeným pohybem z vyšších poloh do nižších oblastí, kde odtékají na vhodných místech. V případě, že dochází k soustředěnému výtoku na zemský povrch, nazýváme tento vývěr jako „pramen“. Samotný vznik pramenu závisí na geologickém rozložení i hydrogeologických poměrech. Prameny mohou vytékat přímo do vodních toků nebo mohou představovat jeho samotný počátek. V obdobích sucha může vydatnost vyvěrající vody značně kolísat nebo zcela zaniknout, čímž rozdělujeme prameny na trvalé a občasně. [6]

V tekuté podobě lze podzemní vodu nalézt až do hloubky 10 km. V zemské kůře ale obvykle zasahuje do hloubky asi 2 km. Existence podzemních vod je ovlivněna nejen dosahem propustných hornin, ale také kritickým tlakem a teplotou, které činí 218 Pa a $374 \text{ }^\circ\text{C}$. [6], [8]

2.1.2. Pitné a užitkové vody

Pro pitnou vodu nachází člověk široké spektrum využití. Ať už se jedná o vodu v původním nebo v upraveném stavu, používá se k přímému pití, přípravě pokrmů, čištění, péči o tělo aj. Její kvalita bývá proto pravidelně kontrolována a hodnocena dle limitů stanovených vyhláškou Ministerstva zdravotnictví. Hygienicky nezávadná voda, kterou nelze použít k pití a vaření, označujeme jako užitkovou. Pro jakost užitkových vod i přesto platí stejné požadavky jako pro vodu pitnou.

Čistota a zdravotní nezávadnost se sledují pomocí biologických, mikrobiologických, fyzikálních, chemických a organoleptických (vnímatelných smysly)

ukazatelů. Hygienické limity se udávají jako nejvyšší mezní hodnoty (NMH), mezní hodnoty (MH) a doporučené hodnoty (DH). Přírodní minerální a přírodní léčivé vody nejsou považovány za pitné vody. Zdroje pitné vody jsou buď vody povrchové, nebo podzemní. [5]

Nejvyšší mezní hodnota představuje hranici zdravotně významného ukazatele, po jejímž překročení již nelze vodu používat jako pitnou. Mezi ukazatele s tímto limitem patří např. *Escherichia coli*, těžké kovy, benzen, dusičnany a dusitany. Mezní hodnota označuje hodnotu, jejíž překročení nepředstavuje akutní zdravotní riziko. Mezní hodnoty se uplatňují např. u koliformních bakterií, amonných iontů, celkového organického uhlíku, manganu, pH nebo železa. Pro vápník, hořčík a jejich sumu se udává doporučená hodnota, která představuje nezávaznou hodnotu daného ukazatele pro člověka žádoucí nebo přijatelnou. [9]

Vhodná pitná voda musí tedy obsahovat látky prospěšné pro život a musí vyhovovat i svými organoleptickými vlastnostmi. Zhruba čtvrtinu potřebných esenciálních minerálních látek, které mají využitelnou formu, získává člověk právě z vody. Jedním z nejdůležitějších hledisek zdravotní nezávadnosti proto představuje fekální znečištění. Přítomnost fekálního znečištění lze prokázat rozborů, při nichž se sledují indikátory, jako jsou koliformní bakterie, *Escherichia coli*, prvoci, amoniakální dusík, dusitany, chloridy nebo kyselina močová. Vždy je ale nutno zohledňovat i samotný zdroj a jeho okolí. [5]

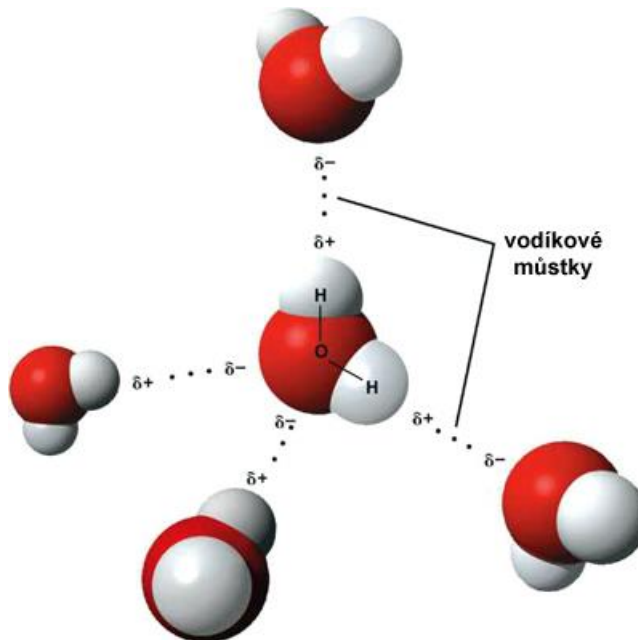
2.2. Fyzikální a chemické vlastnosti vody

Chemicky čistá voda se za laboratorní teploty jeví jako čirá kapalina bez chuti a zápachu. Molekula vody je tvořena dvěma atomy vodíku, které jsou vázány na jeden atom kyslíku. Molekulární hmotnost vody činí $18,01528 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$.

Tato molekula nemá lineární geometrii. Chemické vazby mezi atomy svírají úhel $104,5^\circ$ a délka vazby činí $95,7 \text{ pm}$. Samotná vazebná energie mezi vodíkem a kyslíkem je $464 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ [10]. Tato vazba je velmi pevná, silnější vazbu s vodíkem vytváří pouze fluor. Díky nelineární struktuře a schopnosti kyslíku přitahovat záporné elektrony silněji než atomy vodíku, vznikají na koncích molekuly částečné elektrické náboje. Na atomech vodíku se tedy projevuje částečný kladný elektrický náboj, na kyslíku částečný záporný

náboj. Molekula se jeví jako polární a umožňuje solvatovat jak kladně, tak záporně nabitě ionty [10]. Voda na základě těchto vlastností je vynikajícím tzv. polárním rozpouštědlem, což jí umožňuje rozpouštět mnohé iontové sloučeniny a soli, které jsou v jiných kapalinách nerozpustné. [1], [11]

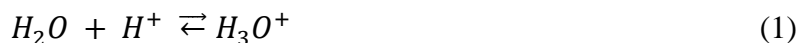
Další charakteristickou chemickou vlastností je schopnost tvořit vodíkové můstky (viz Obr. 2), což je speciální a nejpevnější typ vazby vznikající mezi vodíkem v jedné a kyslíkem v druhé molekule vody. Touto schopností napomáhá udržovat některé rozpuštěné ionty a molekuly v roztoku. Díky tvorbě vodíkových můstků se voda vyznačuje poměrně vysokou teplotou tání a varu v porovnání se sloučeninami jí podobnými (např. H_2S , H_2Se) [10]. Vodíkové můstky dále napomáhají k suspenzi různých koloidních částic s vodou. Oproti jiným kapalinám se voda vyznačuje charakteristickým chováním, které nazýváme jako anomálie vody. Jedná se o skutečnost, kdy nad bodem tuhnutí, konkrétně ve $3,98\text{ }^\circ\text{C}$, má voda svou nejvyšší hustotu [5]. V zimním období je tento jev potřebný pro přežití vodních organismů na dnech vodních nádrží. [1], [10], [11]



Obr. 2 Tvorba vodíkových můstků u molekul vody [12]

Povrch vody připomíná svými vlastnostmi tenkou pružnou blánu. Tento jev je způsoben vysokým povrchovým napětím, při teplotě 25 °C přibližně 72 mN·m⁻¹. Povrchové napětí s klesající teplotou vzrůstá. Je příčinou vzlínání vody v kapilárách (tzv. kapilární elevace) a schopnosti udržet na hladině drobné organismy. [5]

Při acidobazických rovnováhách má molekula vody schopnost vystupovat jako akceptor (viz rovnice (1)) i jako donor (viz rovnice (2)) protonu H⁺. Oba pochody jsou vratné. U kapalně vody dochází k ustanovení rovnováhy, tzv. autoprotolýzy vody (viz rovnice (3)). [13]



Těžká voda, deuteriumoxid (D₂O), se v množství asi 0,015 % nachází i v přírodní vodě [5]. D₂O se od H₂O liší tím, že zatímco klasická voda je tvořena nuklidem vodíku ¹H (protium), těžká voda obsahuje nuklid ²H (deuterium). Po chemické stránce lze sledovat mezi oběma formami mírné rozdíly, např. v permitivitě. Těžká voda má nižší permitivitu, takže je schopna méně rozpouštět soli. Disponuje také nižší schopností autoprotolýzy. [14], [10]

Chemicky lze těžkou vodu připravit na principu elektrolyzy vody. Protium se vylučuje rychleji než deuterium, takže D₂O zůstává v původní formě v elektrolytu, kdežto na katodě dochází k přeměně lehkého vodíku na plyn. V jaderné energetice nachází těžká voda největší uplatnění jako moderátor zpomalující neutrony a jako chladicí médium. Kromě molekuly D₂O existuje i tritiová forma T₂O, která se vyznačuje slabou radioaktivitou [5]. [10]

2.3. Organoleptické a fyzikálně-chemické vlastnosti vody

Vlastnosti vody, které jsou detekovatelné smyslovými orgány, se nazývají jako organoleptické. Patří mezi ně barva, teplota, zákal, pach a chuť. Některé z těchto vlastností (teplota, barva, zákal) lze stanovit instrumentálně pomocí přístrojů. Jiné lze hodnotit pouze

senzoricky (pach, chuť) na základě zraku, čichu a chuti. Zejména u pitných vod a v potravinářském průmyslu, představují tyto analýzy důležitý parametr.

Teplota

Mezi základní ukazatele jakosti se řadí také teplota, která u vod ovlivňuje chemické i biochemické procesy. Podzemní voda bývá teplotně stálější a méně závislá na ročním období. Pokud u podzemních vod dochází k větším teplotním rozdílům, nachází se pravděpodobně v nižších hloubkách a je ovlivňována průsakem atmosférických a povrchových vod. Ve střední Evropě se teplota prosté vody z podzemních zdrojů v hloubce 10 m pohybuje okolo hodnoty 9,5 °C [5].

V praxi je teplota měřena rtuťovými nebo elektrickými teploměry ihned při odběrech vzorků. Teplota je odměřována ve vzorkovnici, nebo přímo pod hladinou vodního zdroje. Dle vyhlášky 252/2004 Sb. se nejvhodnější teplota pro pitné vody pohybuje v rozmezí 8–12 °C [9], [15].

Konduktivita

Při rozboru vod se měření elektrolytické konduktivity provádí běžně, jelikož se jedná o přirozenou vlastnost každé vody. Konduktivita je definovaná jako míra koncentrace ionizovatelných anorganických a organických látek ve vodách. Naměřené hodnoty umožňují rychlý a orientační odhad celkové mineralizace i obsah iontově rozpuštěných látek. Neelektrolyty (např. křemík, bor) se na konduktivitě nepodílí. Konduktivita je měřena co nejdříve po odběru vzorku, hlavně kvůli možné výměně plynů (např. oxidu uhličitého nebo amoniaku) s okolím. [5], [15]

Elektrolytická konduktivita se značí symbolem κ (kappa) a matematicky je vyjádřena jako převrácená hodnota odporu (ohm [Ω]) roztoku vzorku mezi dvěma elektrodami o ploše 1 m², vzdálenost elektrod od sebe je 1 m. Jednotkou elektrické vodivosti (konduktance) je siemens [S] (viz rovnice (4)). Jednotkou konduktivity je S·m⁻¹ (viz rovnice (5)). Kvůli malým hodnotám jsou výsledky zpravidla vyjadřovány v mS·m⁻¹.

Měřicí přístroje se nazývají konduktrometry a jsou kalibrovány 0,01 mol·l⁻¹ roztokem chloridu draselného (KCl), který při teplotě 25 °C má vodivost 141 mS·m⁻¹. [5]

$$G = \frac{1}{R} \quad (4)$$

$$\kappa = G \cdot \frac{l}{S} \quad (5)$$

G	konduktance [S]
R	elektrický odpor [Ω]
l	vzdálenost elektrod [m]
S	plocha elektrody [m ²]

Konduktivita je závislá na koncentraci iontů, jejich nábojovém čísle, pohyblivosti a teplotě. Měření je obvykle prováděno za teploty 25 °C. Změna teploty o 1 °C způsobuje změnu konduktivity nejméně o 2 %, proto se provádí temperování vzorku nebo přepočítání výsledků dle korekčních faktorů (platí $\kappa_{25} = 1,116 \kappa_{20}$). [5], [15]

Konduktivita u destilované vody se pohybuje v rozmezí 0,05 až 0,5 mS·m⁻¹. Povrchové a prosté podzemní vody obvykle dosahují hodnot od 5 do 50 mS·m⁻¹. Konduktivitu vyšší než 10³ mS·m⁻¹ je možno naměřit u některých minerálních a průmyslových odpadních vod [5]. Pro pitné vody je v ČR dána mezní hodnota konduktivity jako 125 mS·m⁻¹ [9].

Hodnota pH

Důležitou roli při analyzování vod hraje hodnota pH, která ovlivňuje jak chemické, tak biochemické procesy, a stanovuje se proto vždy. pH vody je v přírodě ovlivňováno zejména přítomností rozpuštěného CO₂, ale také huminovými látkami, kyselinami apod. Povrchové vody, pokud se nejedná o acidifikované vody nebo o vody z rašelinišť, dosahují hodnot pH v rozmezí od 6,0 do 8,5. Podzemní a minerální vody mívají podobné pH, a to od 5,0 až do 7,5. Mezní hodnota pH stanovena vyhláškou je v intervalu 6,5–9,5 [9]. [5]

Brønstedova teorie kyselin a zásad definuje kyselinu jako látku schopnou odštěpovat vodíkový iont (proton). Zásada je naopak schopna vodíkový iont vázat. Jedná se tedy o reakce protolytické. Protolytická rovnováha samotného amfiprotního rozpouštědla znázorňuje reakci dvou molekul rozpouštědla, při níž vzniká konjugovaná kyselina a zásada (obecnou reakci zobrazuje rovnice (6)). Konkrétní reakce autoprotolýzy vody je znázorněna rovnicí (3).



Po ustanovení rovnováhy lze systém charakterizovat tzv. autoprotolytickou konstantou. Jelikož neutrální molekuly vody disociují dle rovnice (3), dokáže i čistá voda vést elektrický proud. Aktivita nedisociované vody a_{H_2O} se považuje za jednotkovou a je zahrnuta do konstanty. Rovnovážná konstanta pro vodu (rovnice (7)) se nazývá iontový součin vody K_w . Iontový součin vody je veličina závislá na teplotě (při vzrůstající teplotě narůstá ionizace vody). Představuje vyjádření vztahu mezi vodíkovým a hydroxidovým iontem. Pro zjednodušení vyjadřování a výpočtů se používá Sørensenova zlogaritmovaná úprava (viz rovnice (8)), která definuje hodnotu pH jako záporný dekadický logaritmus aktivity vodíkových iontů vyjádřených v molech na liter. Z důvodu interakcí iontů v roztoku je aktivita vodíkových iontů ve skutečnosti menší než jejich koncentrace. Koncentrace se blíží hodnotě aktivity pouze v případě, jedná-li se o velmi zředěný roztok. [5], [15]

$$K_w = a_{H_3O^+} \cdot a_{OH^-} \quad (7)$$

$$pH = -\log a_{H_3O^+} \quad (8)$$

Za laboratorní teploty 25 °C se K_w rovná hodnotě $1,02 \cdot 10^{-14}$, přičemž aktivity obou iontů jsou stejné (platí vztah (9)). Z rovnice (7) plyne, že součet hodnot pH a pOH je roven 14 (viz rovnice (10)). Za kyselé roztoky se považují ty, které mají hodnotu pH menší než 7. Roztoky s pH 7 označujeme jako neutrální. Pokud má hodnotu pH vyšší jak 7, jedná se o roztok zásaditý. Celková stupnice pH je určena sadou standardních tlumivých roztoků.

V praxi se hodnota pH určuje kolorimetricky nebo potenciometricky a uvádí se na dvě desetinná místa. [16]

$$a_{H_3O^+} = a_{OH^-} = 10^{-7} \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1} \quad (9)$$

$$pH + pOH = 14 \quad (10)$$

Kolorimetrická stanovení pH jsou založena na sledování dvou barevných forem jednoho acidobazického indikátoru v závislosti na pH. Jako indikátory jsou používány slabé organické kyseliny nebo zásady. Ty tvoří dle Brønstedovy teorie tzv. konjugované páry kyselina-zásada, které se od sebe liší právě zabarvením. Při stanovení je vzniklé zabarvení porovnáváno s barvou definovaných standardů. Kolorimetrická metoda může být ovlivněna chybami, jsou-li v roztoku koloidní částice, nebo pokud se soli vyskytují v koncentraci vyšší jak $0,5 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$. Stanovení lze použít v oblasti pH od 1 do 12. Nevýhodou této metody je vysoká nepřesnost pohybující se od desetin až po jednotky hodnot pH. [16]

Potenciometrické stanovení závisí na sledování rozdílu potenciálů dvou elektrod ponořených ve zkoumaném roztoku. Potenciál měrné (indikační) elektrody je vztažen k poločlánku (referentní elektrodě) s konstantním potenciálem. Potenciál je způsoben výměnou iontů mezi roztokem a membránou, popř. difuzí. Jako referenční elektrody se používají kalomelové nebo argentchloridové elektrody, jako měrnou lze použít elektrodu skleněnou. Některé přístroje jsou vybaveny i pouze jedinou kombinovanou elektrodou. U skleněné elektrody má závislost potenciálu na pH lineární průběh. Avšak ve velmi alkalických ($\text{pH} > 13$), tzv. pozitivní chyba, nebo hodně kyselých oblastech ($\text{pH} < 1$), tzv. negativní chyba, nastává odchylka, která je způsobena interakcí roztoku se sklem. Proto jsou v těchto krajních oblastech využívány tzv. korekční grafy. Výhodou používání skleněných elektrod je snadná manipulace s nimi a rychlé dosažení výsledků v oblasti hodnot. Získané výsledky pH jsou zaokrouhlovány na 0,05 až 0,1 a spolu s nimi bývá uvedena také teplota daného měřeného vzorku. V praxi se provádí pravidelné kontroly, popř. kalibrace, elektrod standardními tlumivými roztoky. [16]

2.4. Kovy a polokovy

Při kontaktu s horninami, půdou a vulkanickou činností jsou vody přirozeně obohacovány o kovy a polokovy. Hlavními antropogenními zdroji jsou např. těžba rud, fotografický, textilní a koželužský průmysl. Kovy se vyskytují ve formě kationtů, aniontů, komplexních aniontů i neutrálních molekul. Obecně platí, že komplexní forma kovů má nižší toxicitu než jednoduchá iontová forma. Až na výjimky (vápník, hořčík, sodík, draslík aj.) se kovy ve vodách nacházejí jen v malých koncentracích, protože podléhají hydrolyze za vzniku málo rozpustných látek (např. hydratované oxidy, uhličitany, fosforečnany a sulfidy).

2.4.1. Sodík a draslík

V zemské kůře je obsaženo přibližně 2,5 % sodíku a asi stejné množství draslíku. Ve vodách se tyto kovy vyskytují nejčastěji ve formě kationtů Na^+ a K^+ . U povrchových a podzemních vod lze zaznamenat nižší koncentrace draslíku oproti sodíku, jelikož zadržené draselné ionty jsou důležitou živinou rostlin [3]. Dále jsou také ionty K^+ lépe sorbovány půdními minerály než ionty Na^+ , což přispívá k nižším výsledným koncentracím draslíku. [5]

Do vod se tyto dva prvky dostávají zvětráváním hlinitokřemičitanů, odpadními vodami z průmyslů, hnojením, zimním posypem silnic, živočišnými výkaly nebo z odpadů z regenerace měničů iontů. V neznečištěných atmosférických vodách se koncentrace těchto kovů pohybuje v desetinách až setinách $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$. U minerálních vod lze naměřit i tisíce $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$. V povrchových a podzemních vodách není koncentrace sodíku limitována. V ČR je udána mezní hodnota pro koncentraci sodíku v pitných vodách jako $200\text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ [9]. Draslík není limitován v žádném druhu vod. Minerální vody s vyšším obsahem sodíku a hydrogenuhličitanů jsou využívány při léčbách zažívacího ústrojí. [5], [10]

Při sledování radioaktivity vod je vhodné zahrnout do stanovení i obsah draslíku. Radioaktivní izotop ^{40}K , který představuje asi 0,011 % z celkového množství draslíku v přírodě, totiž emituje β a γ záření. Přispívá tímto k tzv. přírodnímu pozadí radioaktivity vod. [5]

2.4.2. Vápník a hořčík

Vápník je v zemské kůře zastoupen 0,035 %; hořčík 0,020 %. Voda se přirozeně obohacuje o tyto kovy při rozkladu křemičitanů, hlinitokřemičitanů, rozpouštěním vápence CaCO_3 , magnezitu MgCO_3 , sádrovce $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, dolomitu $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$ aj. Rozpustnost minerálů v podzemních vodách ovlivňuje i přítomný CO_2 , který podporuje zvětrávání a rozpustnost těchto látek. Chemické rovnice (11) a (12) znázorňují převedení málo rozpustných uhličitanů na hydrogenuhličitanu, které se ve vodách dobře rozpouštějí. Koncentraci vápníku a hořčíku zvyšují odpadní vody z průmyslů, které pracují s vápencem, vápnem nebo např. dolomitem při neutralizacích. [3], [5], [10]

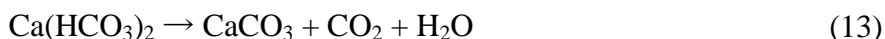


Vápník a hořčík se u málo až středně mineralizovaných vod vyskytují ve formě jednoduchých kationtů Ca^{2+} a Mg^{2+} . V silně mineralizovaných vodách může docházet k tvorbě iontových asociátů. V čistých atmosférických vodách obvykle hodnoty vápníku a hořčíku nedosahují více jak $1 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$. V prostých a podzemních vodách dosahuje vápník koncentrace od desítek až do stovek $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$, koncentrace hořčíku bývá do několika desítek $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$. U minerálních vod závisí obsah vápníku a hořčíku na podmínkách výskytu a typu vody. Pro pitné vody v ČR činí mezní hodnota koncentrace vápníku $30 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$, pro hořčík $10 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ [9]. [5]

Obecně bývá hořčík v přírodě zastoupen méně než vápník. Je to způsobeno jednak jeho nižším celkovým obsahem v zemské kůře a jednak rostlinami, které jej z půdy odebírají. Ve vyšších koncentracích způsobuje hořčík nežádoucí hořkou chuť vody. Vápník naopak přispívá k lepší chuti. Minerální vody s vysokým obsahem hořčíku a síranů mají projímavé účinky. Pro stanovení vápníku a hořčíku lze použít metodu atomové absorpční spektrometrie (AAS) nebo komplexometrické titrace Chelatonem 3 (jedná se o disodnou sůl kyseliny ethylendiamintetraoctové). [5], [10]

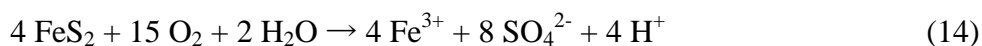
Tzv. tvrdost vody způsobují hořečnaté a vápenaté soli. Přechodná (karbonátová) tvrdost je způsobena hydrogenuhličitanu a dá se z vody odstranit jejím povařením (příklad

viz rovnice (13)). Při vaření tvrdé vody se usazuje pevný zbytek známý jako vodní kámen. Trvalou tvrdost způsobují ostatní vápenaté a hořečnaté soli, které nelze pouhým varem odstranit. Velmi tvrdé vody jsou nevhodné k použití při některých technologických procesech, praní nebo vaření. [3]



2.4.3. Železo a mangan

Železo se z rud, jakými jsou např. pyrit FeS_2 , siderit FeCO_3 , magnetovec Fe_3O_4 nebo krevel Fe_2O_3 dostává do vod přímým rozpouštěním pouze v malém množství. Rozpouštění napomáhá přítomnost kyslíku, huminových látek nebo oxidu uhličitého (viz rovnice (14), (15) a (16)) [3], [5]. Mezi další zdroje železa lze zařadit zkorodované potrubí či odpadní vody z průmyslů zpracovávající železné rudy.



Přítomnost rozpuštěného i nerozpuštěného železa závisí na rozpustnosti daných látek, složení vody, pH, redoxním potenciálu aj. V prostředí bez kyslíku (podzemní vody a dna nádrží) se železo vyskytuje v oxidačním stupni II. Výskyt Fe^{II} závisí na rozpustnosti pevného $\text{Fe}(\text{OH})_2$, FeCO_3 , případně FeS . Hydroxid železnatý se velmi ochotně oxiduje a hydrolyzuje za vzniku hnědého $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$. V silně alkalickém prostředí vznikají $[\text{Fe}(\text{OH})_2(\text{aq})]^0$, $[\text{Fe}(\text{OH})_3]^-$. Dále mohou vznikat fosfatokomplexy, hlinitokřemičitanové komplexy a v kyselém prostředí i chloroželeznany. U vod v přítomnosti rozpuštěného kyslíku představuje Fe s oxidačním stupněm III nejstabilnější formu železa. Formu Fe^{III} zastupují např. ionty Fe^{3+} , $[\text{Fe}(\text{OH})]^{2+}$, $[\text{Fe}(\text{OH})_2]^+$, $[\text{Fe}(\text{OH})_4]^-$. [5], [10]

Přítomnost nízkých koncentrací železa ve vodách je přirozený jev. Koncentrace železa bývá obvykle vyšší než koncentrace manganu. U neznečištěných srážkových vod se

koncentrace železa pohybuje v řádech setin $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$. V povrchových vodách lze železo najít v obsahu setin až desetín $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$. V anoxickém prostředí podzemních vod dosahují koncentrace až desítek $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$. U takových vod lze už při pouhém protřepání sledovat vylučování sraženiny hydratovaného oxidu železitého. [5], [10]

I nízké koncentrace železa ovlivňují zákal, chuť vody a může docházet i ke vzniku železitých bakterií. Při odumírání těchto bakterií vzniká nepříjemný zápach. Kvůli tomu byl v ČR stanoven limit železa u pitných vod na $0,20 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ [9]. Vyšší koncentrace železa také způsobuje žluté zabarvení materiálů, se kterými přijde do styku (např. textil, keramika, papír). V technologii vody je železo využíváno pro své oxidační účinky k čištění a úpravě průmyslových odpadních vod. Redukční účinky práškového elementárního železa jsou využívány při dehalogenacích organických látek v podzemních vodách. K odstranění arseničných a chromových sloučenin z podzemních vod se používají nanočástice stříbra pro své redukční vlastnosti. [3], [5]

Mangan lze ve vodách nalézt v rozpuštěné, nerozpuštěné i koloidní formě. Většinou jej lze nalézt v rudách společně se železem. Přírodními zdroji manganu jsou půdy, sedimenty a rudy jako burel MnO_2 , braunit Mn_2O_3 , manganit $[\text{MnO}(\text{OH})]$. K antropogenním zdrojům se řadí průmysly zpracovávající rudy, chemické závody, úpravní vod, metalurgické provozy aj. [3], [5], [10]

Ve vodách se mangan vyskytuje v oxidačních stupních II, III, IV a taky jako organicky vázaný. V prostředí bez přítomnosti rozpuštěného kyslíku představuje Mn^{II} nejstabilnější formu. Výskyt sloučenin manganu je závislý na celkovém složení vody a hodnotě pH. Při kyselém a neutrálním pH převládá rozpuštěný $[\text{Mn}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$. Dále mohou vznikat komplexy jako $[\text{MnOH}]^+$, $[\text{MnHCO}_3]^+$, $[\text{MnSO}_4(\text{aq})]^0$, $[\text{MnCl}]^+$ atp. V anoxickém prostředí je koncentrace manganu závislá na rozpustnosti MnCO_3 , MnS , $\text{Mn}(\text{OH})_2$, koncentraci síry jako sulfidu a přítomnosti oxidu uhličitého. Fe^{II} je v prostředí s dostatkem kyslíku nestabilní a v alkalickém prostředí snadno oxiduje do stavů III a IV. Produkty této oxidace jsou vylučovány v koloidní podobě. [5], [10]

Obvykle se mangan ve vodách vyskytuje v nižších koncentracích než železo. U atmosférických vod se koncentrace manganu pohybují v desetínách až setínách $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$. U povrchových vod jde o koncentrace setiny $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$. U minerálních vod se koncentrace

pohybují v rozmezí $1\text{--}2\text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$. Vysoký obsah manganu lze naměřit hlavně v blízkosti ložisek sulfidických rud a metalurgických závodů. Pro pitné vody je uveden limit pro koncentraci manganu na $0,050\text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ [9]. [5]

I když je mangan považován za zdravotně nezávadný, může po inhalaci či konzumaci vyvolat neurotoxické účinky. Podobně jako železo ovlivňuje i mangan organoleptické vlastnosti vody. Způsobuje zažloutnutí prádla a podporuje rozvoj bakterií. [3], [5]

2.5. Nekovy

Krom kovů a polokovů se vody obohacují také o nekovy. V přírodních a užitkových vodách nacházíme nekovy především ve formě aniontů (fluoridy, chloridy, sírany, dusitany atd.). Nejčastější geneze nekovů nastává při zvětrávání a vyluhování půd či hornin, ale nelze opomenout ani vysoké zastoupení antropogenních zdrojů z chemických a farmaceutických průmyslů, elektráren nebo ze spalování fosilních paliv.

2.5.1. Sloučeniny chlóru

Kromě nejrozšířenější formy, a to chloridů, se ve vodách nacházejí také chlornany, elementární chlor, kyselina chlorná, chlorečnany aj. Spolu se sírany, hydrogenuhličitany a dusičnany patří mezi základní anionty zastoupené ve vodách. Z přírodních zdrojů (kamenné soli NaCl (halitu), sylvínu KCl, karnalitu $\text{KCl}\cdot\text{MgCl}_2\cdot 6\text{H}_2\text{O}$ nebo mořské vody) se vody vyluhováním těchto minerálů o chloridy obohacují. Vysoké koncentrace chloridů obzvláště v zimním období mohou být způsobeny posypem vozovek. Dalšími zdroji mohou být splaškové vody, chlorování za účelem desinfekce či průmyslové odpadní vody. [5]

Zastoupení jednotlivých sloučenin chloru se odvíjí od pH a oxidačně-redukčního potenciálu. Chloridy díky svým slabým komplexačním schopnostem tvoří chlorokomplexy až při vyšších koncentracích. Obvykle je tedy lze nalézt pouze v iontové formě Cl^- . V přítomnosti amoniaku se při chlorování vody tvoří chloraminy, čehož lze využít pro odstranění amoniakálního dusíku. Další sloučenina chloru, která našla uplatnění v úpravě vod, je oxid chloričitý (ClO_2). Při reakci s vodou může oxid chloričitý redukovat

přes chloritany a chlorečnany až na chloridy. Chloridy jsou z chemického i biochemického hlediska ve vodách stabilní a až na výjimky, jako třeba AgCl nebo Hg_2Cl_2 , jsou všechny dobře rozpustné. Stanovení jejich koncentrací je prováděno v praxi (např. analýza betonu) hlavně kvůli schopnosti chloridů korodovat kovy. [5]

V hydrochemii se využívá termín „aktivní chlor“. Rozumí se tím všechny formy chloru, které dokáží oxidovat jodidy v kyselém prostředí na jod. Mezi takové patří oxid chloričitý, chloraminy, chlornany a molekulární chlor. Aktivní chlor lze dále dělit na volný aktivní chlor, kam patří molekulární chlor, chlornany a oxid chloričitý a na vázaný chlor, kam se řadí chloraminy. Pod pojmem „celkový chlor“ jsou zahrnuty volné i vázané formy chloru včetně jejich směsí. Ke stanovení aktivního chloru se využívají metody odměrné, amperometrické a spektrofotometrické. Odměrná metoda je založena na již zmiňované oxidaci jodu, tzv. jodometrie. Ke stanovení jak aktivního tak celkového chloru bývá často využíváno principu spektrofotometrie s N,N-diethyl-1,4-fenylendiaminem. [15]

Minerální vody jsou typicky bohaté na chloridy. Jejich koncentrace může dosahovat i do tisíců $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$. V prostých podzemních a povrchových vodách se chloridy vyskytují v jednotkách až desítkách $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$. Čisté atmosférické vody mohou dosahovat koncentrací i pod $1\text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$. Pro pitné vody je stanovena mezní hodnota chloridů na $100\text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ [9]. Přítomnost chloridů nepředstavuje zdravotní závadnost, avšak vyšší koncentrace ovlivňují celkovou chuť vody. Ke stanovení chloridů se dnes používá odměrné stanovení. Nejčastějšími metodami jsou stanovení podle Mohra, nebo merkurimetricky. Krom odměrných metod existují i stanovení založená na potenciometrii nebo spektrofotometrii s thiokyanatanem rtuťnatým. [5], [15]

2.5.2. Sloučeniny dusíku

Amoniakální dusík (NH_3 , NH_4^+)

Amoniakální dusík se vyskytuje téměř ve všech druzích vod. Nejčastějšími zdroji jsou průmyslové a splaškové vody, dusíkatá hnojiva a zemědělské odpady. Amoniak ve vodném prostředí disociuje na NH_4^+ a OH^- nebo může také reagovat za vzniku amminokomplexů. Při analytických měřeních se stanovuje jak forma NH_3 tak forma NH_4^+ . [5], [15]

Pokud se podzemní vody nenacházejí v lokaci přílišného zahnojování dusíkatými hnojivy nebo v oblastech s fekálním znečištěním, jsou koncentrace amoniakálního dusíku v rozmezí desetin až setin $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$. U povrchových vod, které jsou na znečištění náchylnější, se koncentrace dostávají na $1 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$. Přítomnost amoniakálního dusíku u srážkových vod je závislá na místech odběru. Jedná-li se o průmyslové oblasti, lze očekávat i koncentrace nad $10 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$. U splaškových vod jsou koncentrace v desítkách $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ z důvodu přítomnosti fekálií a organických látek obsahujících dusík. U pitných vod je mezní hodnota pro kationt NH_4^+ $0,50 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ [9]. [5]

Vliv amoniakálního dusíku ve vodách obecně závisí jeho koncentraci a na hodnotě pH. V alkalickém prostředí napomáhá ke korozi i v jednotkách $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$. Amoniak také působí toxicky na vodní organismy, ale díky své těkavosti ho lze z vody odstranit probubláváním. Amoniakální dusík je nestálý a snadno podléhá nitrifikaci. Celkově slouží hodnota amoniakálního dusíku jako indikátor fekálního znečištění, a proto je vhodné držet jeho koncentrace v nízkých hodnotách. K jeho stanovení jsou využívány spektrofotometrické metody. Ty mohou být založeny nebo vyvinuty ze základní „Nesslerovy“ metody, která využívá reakce amoniaku s Nesslerovým činidlem (tetraiodortuřnatem sodným nebo draselným). Při této reakci vzniká málo rozpustná sloučenina, tzv. Millonova báze (oxidimerkuraminjodid), o žlutohnědém zbarvení. Základní Nesslerova metoda byla při stanovení zatížena chybami způsobenými huminovými látkami, které absorbují záření při stejné vlnové délce jako vzniklý žlutohnědý produkt. Nevýhodou je také využívání rtuťnatých sloučenin jakožto činidel. Další možností stanovení jsou neutralizační titrace, při kterých se předběžně amoniak vydestiluje ze vzorku vody a převede se do kyseliny borité. Destilát s amonným dusíkem je následně titrován roztokem kyseliny chlorovodíkové za využití směsného Tashirova indikátoru. Amoniakální dusík lze stanovit i pomocí potenciometrie, kdy v zalkalizovaném prostředí po přidavku Chelatonu 3 (disodná sůl ethylendiamintetraoctové kyseliny) jsou všechny kovy, které by jinak vytvářely komplexy s amoniakem, převedeny do komplexu s chelatonem. Samotný amoniak je stanoven iontově selektivní elektrodou (ISE). [5], [15]

Dusičnany (NO_3^-)

I když je přírodní výskyt dusičnanů v minerálech jen velmi malý, nalezneme v oblasti Chile a Peru velké zásoby dusičnanu sodného, tzv. chilského ledku (NaNO_3). Vznik dusičnanů je spojen hlavně s chemickými přeměnami jiných sloučenin dusíku nebo zahnojováním dusíkatými hnojivy. Za přítomnosti nitrifikačních bakterií v půdě např. probíhá oxidace dusitanů. V oxických podmínkách se dále mohou na dusičnany rozkládat také dusíkaté látky organického původu. Dusičnany mají celkově nízkou schopnost tvořit komplexy a ve vodách se vyskytují hlavně jako anionty NO_3^- . [5], [10]

Obecně nepředstavují dusičnany jako takové přílišné riziko. Mohou být ale mírně toxické pro ryby. Dusičnany nabírají vyšší toxicity až poté, co jsou gastrointestinálním traktem redukovány na dusitany, které mohou zapříčinit alimentární methemoglobinemii. [5]

Vysoké koncentrace dusičnanů u podzemních vod jsou způsobeny převážně aktivitou bakterií, jejichž činností vniká humus bohatý na dusíkaté látky. Ty jsou odsud dále vyluhovány do půd a následně také do vod. Obecně jsou v přírodních vodách vyšší koncentrace v zimním období, kdy rostliny z půdy neodčerpávají příslušné dusíkaté látky. Obsah dusičnanů ve vodách je proto v silné závislosti na okolních podmínkách a pohybuje se od jednotek až po stovky $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$. Oproti tomu jsou minerální vody na dusičnany poměrně chudé. V ČR je stanovena nejvyšší mezní hodnota dusičnanů na $50 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ [9]. [5]

Nejširší skupinu metod ke stanovení dusičnanů tvoří absorpční spektrometrické metody, při kterých se nejčastěji využívá nitračních schopností kyseliny dusičné. V kyselém prostředí je do aromatické látky vnesena $-\text{NO}_2$ skupina, čímž vznikne barevný nitroderivát. Dusičnany lze také stanovit nepřímo, a to redukcí na dusitany nebo amoniakální dusík. U čistých vod lze použít i potenciometrickou metodu využívající iontově selektivní elektrody. [15]

Dusitany (NO_2^-)

Dusitany se v přírodě nevyskytují ve formě minerálů, proto je jejich přítomnost ve vodách způsobena především chemickými reakcemi, přesněji biochemickými redukcemi nebo oxidacemi dusíku (nitrifikací). V opačném případě, tj. za anoxických podmínek, jsou

dusičnany denitrifikovány na elementární dusík nebo oxidy. Dle závislosti na pH lze ve vodách nalézt jak dusitanové ionty, tak nedisociovanou kyselinu dusičnou. Tvorba komplexů u dusitanů není obvyklá. Anorganicky mohou dusitany vznikat redukcí s Fe^{II} nebo Mn^{II} , které mohou být přítomny v některých podzemních vodách. Případně se mohou dusičnany redukovat s těmito kovy po dlouhém výskytu vody v potrubí. [5], [15]

Bohatými na dusitany jsou odpadní vody ze strojírenských závodů nebo výroben barviv. Ve vodních nádržích určených k chovu ryb se provádí nitrifikace za účelem odstranění amoniaku jakožto toxického metabolitu ryb. Tímto procesem se postupně snižuje pH. Jakmile klesne hodnota pH pod hodnotu 6, dochází ke zpomalení nitrifikace a následnému zvýšení koncentrace amoniaku a dusitanů, a proto je nutno provádět pravidelné kontroly a úpravy pH. Nebezpečí dusitanů je založeno na jejich interakci s hemoglobinem za vzniku methemoglobinu. Ten již nemá schopnost přenášet kyslík. [5]

Kvůli své nestálosti jsou dusitany ve vodách oxidovány na dusičnany, redukovány na oxid dusný N_2O , popř. na NH_4^+ . Vyskytují se proto ve velmi nízkých koncentracích. U minerálních vod většinou nebývají stanovovány. U podzemních a povrchových vod se hodnoty pohybují v tisících $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$. U splaškových vod se koncentrace dostávají i nad hodnotu $1\text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$. Vyhláška pro pitné vody udává nejvyšší mezní hodnotu dusitanů na $0,50\text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ [9]. Ke stanovení se využívá schopnosti dusitanů vytvářet diazoniové soli, které jsou následně kopulovány za vzniku azobarviv vhodných pro spektrofotometrická měření. [5], [15]

2.5.3. Sloučeniny síry

Síra se ve vodách vyskytuje v poměrně širokém spektru forem. Z organických to jsou aminokyseliny, sulfosloučeniny a thioly. U anorganických sloučenin jde např. o sulfan (H_2S), sulfidy ($\text{S}^{\text{II}-}$), thiokyanatany (SCN^-), thiosírany ($\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$), siřičitany (SO_3^{2-}), sírany (SO_4^{2-}) nebo i elementární síru (S^0). Existence a výskyt jednotlivých sírných sloučenin závisí především na biochemických ale i chemických procesech.

Sírany (SO_4^{2-})

Mezi nejrozšířenější minerály obsahující sírany patří sádrovec ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) a anhydrid (CaSO_4). K antropogenním zdrojům se řadí spalování fosilních paliv i odpadní vody ze závodů, ve kterých se provádí úpravy povrchů kovů za použití kyseliny sírové. Sírany jsou ve vodě stabilní v přítomnosti kyslíku i v bezkyslíkatém prostředí. Ve vodách s vysokou koncentrací, tzv. síranových, mohou vznikat sulfatokomplexy jako třeba $[\text{CaSO}_4(\text{aq})]^0$, $[\text{MnSO}_4(\text{aq})]^0$, $[\text{FeSO}_4]^+$. [5]

Síranový aniont patří společně s chloridy a hydrogenuhličitaný mezi hlavní přirozeně se vyskytující ionty ve vodách. Vysoké hodnoty síranů lze najít v minerálních síranových (jednotky až desítky $\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$) a u důlních vod (jednotky $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$). Podzemní i povrchové ionty jsou na sírany také poměrně bohaté. Koncentrace se v nich pohybuje od desítek po stovky $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$. Pro pitné vody je v ČR stanovena mezní hodnota síranů $250 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ [9]. Výskyt síranů v atmosférických vodách je ovlivněn zejména průmyslem. V průmyslových oblastech je obsah síranů vyšší (až desítky $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$), mimo tyto oblasti se koncentrace pohybují v rozmezí desetin až jednotek $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$. Ke kvantitativnímu stanovení jsou dnes používány metody na principu chromatografie, volumetrie, gravimetrie, někdy také metody spektrofotometrické nebo polarografické. Nejznámější absolutní metodou je gravimetrické stanovení založené na reakci síranů s Ba^{2+} ionty za vzniku málo rozpustné sraženiny. [5], [15]

Konzumace vody s vyšší koncentrací síranů, hořčíku a sodíku může mít projímavé účinky. Sírany mohou také zhoršovat chuť vody, obzvláště pokud je jejich obsah příliš vysoký. Z hygienického hlediska nepatří sírany mezi významné ukazatele. [5]

2.6. Organické látky přítomné ve vodách

Dle původu se organické látky dostávají do vod buď přírodními cestami, nebo lidskou činností. Ke zdrojům přírodního původu lze zařadit látky vznikající činností rostlinných a živočišných organismů a bakterií. Taktéž se zde řadí produkty, které jsou vytvářeny při jejich odumírání a rozkladu. Konkrétně se jedná o výluh z listů a tlejícího dřeva, huminové látky, aminokyseliny, sacharidy aj. Mezi antropogenní původce organického znečištění se řadí odpady ze zemědělství a skládek nebo splaškové a odpadní vody. Určitá

část organických látek (halogenderiváty, fenoly, tenzidy atp.) mohou vznikat jak přírodními cestami, tak antropogenně. [5]

Důležitý význam ať už hygienický, nebo technologický nesou huminové látky, fenoly, uhlovodíky, pesticidy, komplexotvorné látky i halogenderiváty organických látek. Mnohé z nich mohou mít alergenní, karcinogenní nebo až teratogenní účinky. Organické látky také ovlivňují pach a chuť vody (uhlovodíky), její barvu (huminové látky), pěnivost (tenzidy), popř. tvoří na hladině film zabraňující přístup kyslíku (ropa). [5]

Organické látky se vyskytují u vod od stopových množství až po desítky $\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$. K jejich identifikaci je možno využít řady metod založených na principu kapalinové chromatografie, plynové chromatografie, hmotnostní spektrometrie aj. Pro stanovení celkových organických látek existuje několik metod:

- stanovení chemické spotřeby kyslíku CHSK (*Chemical oxygen demand*, COD) dichromanem nebo manganistanem draselným
 - stanovení organického uhlíku (*Total organic carbon*, TOC; *Dissolved organic carbon*, DOC)
 - stanovení biochemické spotřeby kyslíku BSK (*Biochemical oxygen demand*, BOD)
- [5]

2.7. Stanovení organického uhlíku (TOC)

V analytické chemii lze stanovit určitou část uhlíku. Podle toho o jakou část se jedná, se používají zkratky z anglických názvů:

- Total Carbon (TC) – stanovení elementárního uhlíku spolu s organicky i anorganicky vázaným uhlíkem
- Total Inorganic Carbon (TIC) – zahrnuje v sobě koncentraci elementární formu uhlíku a jeho anorganické sloučeniny (oxid uhelnatý, oxid uhličitý, hydrogenuhličitany, uhličitany, kyanidy, kyanatany a thiokyanatany)
- Total Organic Carbon (TOC) – jedná se o koncentraci organicky vázaného uhlíku (rozpuštěného i nerozpuštěného); pokud jsou ve vodě přítomny kyanatany,

thiokyanatany, nebo elementární uhlík, jsou i tyto látky zahrnuty v celkové sumě TOC

- Dissolved Organic Carbon (DOC) – jde o součet koncentrací organických látek ve vzorku vody, jenž byl přefiltrován přes filtr o poréznosti 0,45 μm ; i zde jsou k hodnotě DOC přičteny kyanatany a thiokyanatany
- Non-purgeable Organic Carbon (NPOC) – stanovení organického uhlíku netěkavých sloučenin
- Particulate Organic Carbon (POC) – stanovení rozpuštěného organického uhlíku; někdy se takto označuje i stanovení organického uhlíku těkavých sloučenin (Purgeable Organic Carbon)
- Volatile Organic Carbon (VOC) – uhlík těkavých organických látek [5]

Celkový organický uhlík, zkr. TOC, tedy představuje součet koncentrací rozpuštěných i nerozpuštěných organických látek a jeho mezní hodnota pro pitné vody je limitována na $5 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ [9]. Princip stanovení TOC je založen na kompletní oxidaci organických látek až na CO_2 . Oxidace organických látek probíhá za vysokých teplot od $680 \text{ }^\circ\text{C}$ až po $1000 \text{ }^\circ\text{C}$ v přítomnosti katalyzátorů. Ke stanovení nízkých koncentrací (pod $3 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$) je používána také metoda oxidace na mokré cestě, v níž se využívá oxidačních látek, např. $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$. V porovnání s metodou CHSK lze TOC uplatnit pro větší množství organických látek. Hodnoty CHSK jsou vyjádřeny v podobě kyslíkových ekvivalentů, zatímco u TOC se jedná o koncentraci uhlíku. Nicméně při TOC nejsou získávány informace o skutečné koncentraci organických látek ani o jejich druhu. [15]

Vzorek vody v sobě obsahuje krom organických látek také již zmiňované anorganické uhlíkaté látky. Nejčastěji to bývají hydrogenuhličitany, uhličitany nebo rozpuštěný oxid uhličitý. Při termické oxidaci se k celkovému obsahu CO_2 řadí krom organických látek právě i anorganické formy uhlíku. V praxi jsou proto analyzátoři TOC sestaveny tak, aby bylo možno stanovovat jak celkovou sumu uhlíku, tak samotnou anorganickou část. Vlivy anorganicky vázané formy uhlíku lze eliminovat okyslením vzorku a následným odstraněním vzniklého CO_2 např. dusíkem. V tomto případě může docházet ke snížení výsledné hodnoty TOC, jelikož může dojít k odstranění i těkavějších

forem organických látek. Některé analyzátory jsou založeny na vyhodnocení samostatného TIC (okyselením prostředí) a celkového TC. Hodnota TOC je poté dána rozdílem hodnot TC od TIC. Kalibrace přístroje je prováděna za pomoci standardních látek. Pro TC je používán hydrogenftalan draselný, pro TIC hydrogenuhličitan a uhličitan sodný. Ke stanovení TOC je prováděna kalibrace a glukosu (pro TC) a na uhličitan sodný (pro TIC). [15]

Oxid uhličitý vzniklý po oxidaci je stanovován přímo nebo po konverzi vodíkem v detektoru na methan pomocí plamenové ionizace. K přímé detekci je používána infračervená analýza. Mimo to jsou některé analyzátory založené na principu coulometrie, konduktometrie nebo potenciometrie. U kapalných vzorků jsou výsledky vyjadřovány v $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$, u pevných v procentech uhlíku. Ke stanovení míry oxidace jsou používány hodnoty poměru CHSK a TOC. Čím je hodnota tohoto poměru nižší, tím větší je stupeň oxidace. Zjištěné výsledky jsou důležité zejména při posuzování účinnosti čistíren odpadních vod. Mimo to pomáhá TOC sledovat zatížení podzemních a drenážních vod organickými látkami nebo hodnotit míru stabilizace čistírenských kalů. Pro stanovení TOC a DOC ve vodách byla vydána ČSN EN 1484. [15]

3. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

3.1. Použité pomůcky a zařízení

- pH metr 450 GLP WTW (GmbH & Co. KG, WTW, Německo)
- Elektroda k měření pH HAMILTON Single Pore Glass (Hamilton robotics, Švýcarsko)
- Konduktometr LF 538 WTW (GmbH & Co. KG, WTW, Německo)
- Vodivostní cela Tetracon 325 WTW (GmbH & Co. KG, WTW, Německo)
- Automatický VIS spektrometr Thermo Scientific Gallery (Thermo Fisher Scientific, USA)
- Stříkačkový filtr (nylon) 0,45 μm Alltech (Alltech Associates, Inc., USA)
- Hmotnostní spektrometr s indukčně vázaným plazmatem (ICP-MS) 7500 Series Agilent Technologies (Agilent Technologies, USA)
- Automatický vzorkovač ASX-520 Autosampler (Agilent Technologies, USA)
- Analyzátor TOC TORCH (Teledyne Tekmar, USA)
- Laboratorní teploměr (Exatherm s.r.o.)

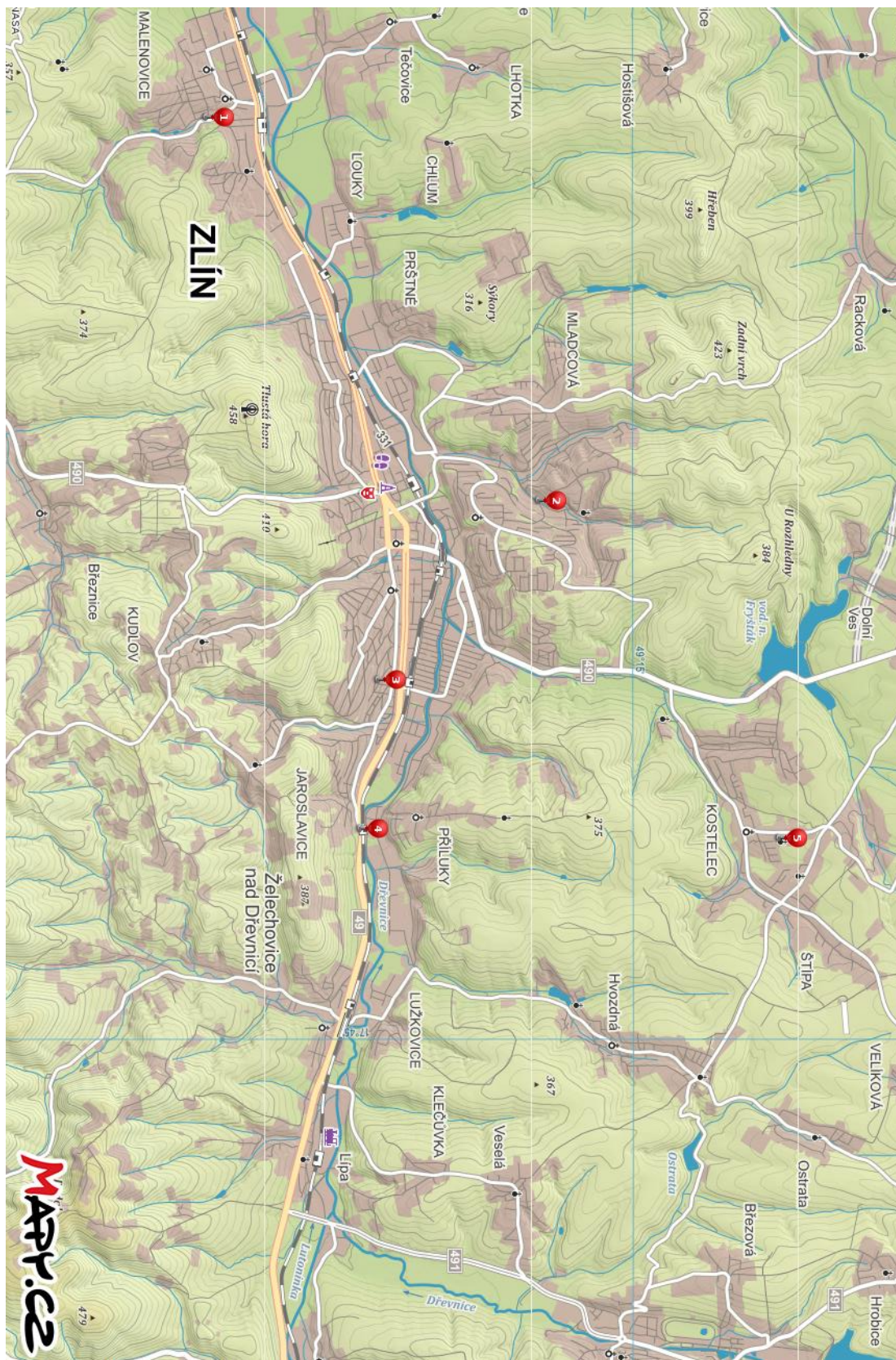
3.2. Použité chemikálie

- Elektrolyt pro pH elektrodu SKYLITE-Cl (Hamilton robotics, Švýcarsko)
- Kalibrační roztok (pufr) pro pH 4 (XS Instruments, Itálie)
- Kalibrační roztok (pufr) pro pH 7 (XS Instruments, Itálie)
- Standard pro měření konduktivity USP 25 (Hamilton robotics, Švýcarsko)
- Kyselina fosforečná 85% (Lach-Ner, s.r.o.)
- Sulfamid 98% (Fluka, Sigma-Aldrich Chemical Company, Inc., USA)
- Zinek p.a. (Mach Chemikálie spol. s.r.o.)
- Síran draselný p.a. (Mach Chemikálie spol. s.r.o.)
- N-(1-naftyl)ethylendiamin dihydrochlorid 98% (Sigma-Aldrich Chemical Company, Inc., USA)
- Činidla ke stanovení Cl^- , NO_3^- , NO_2^- , SO_4^{2-} a NH_4^+ (Thermo Fisher Scientific, USA)
- Kyselina dusičná 65% (Lach-Ner, s.r.o.)
- Kalibrační roztok pro TOC (Teledyne Tekmar, USA)

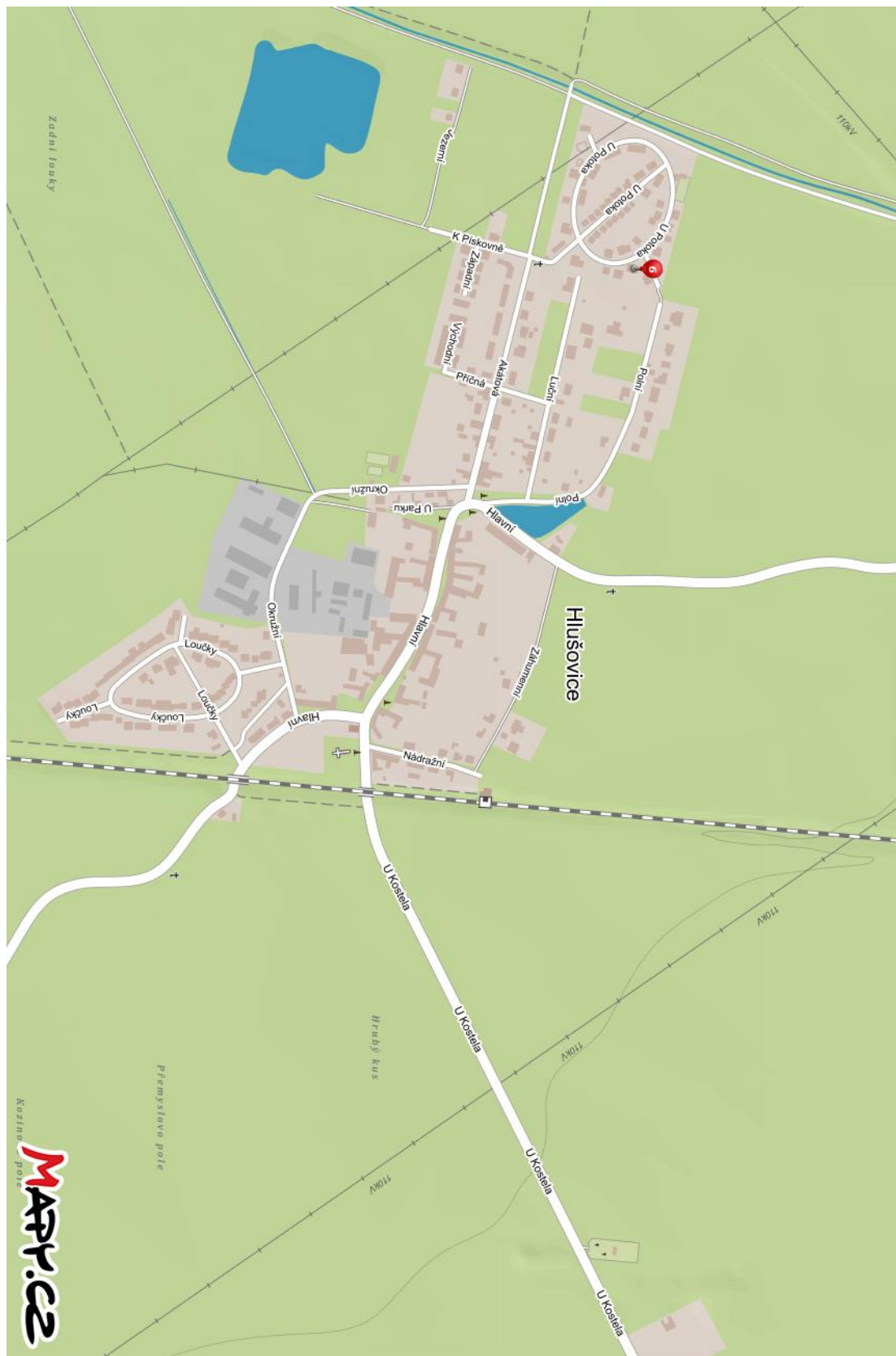
- Kalibrační roztok Ca, Mg, K Na (Fluka, Sigma-Aldrich Chemical Company, Inc., USA)
- Vodné kalibrační roztoky ASTASOL-MIX (ANALYTIKA, spol. s.r.o.)

3.3. Odběr vzorků a odběrová místa

Odběry vzorků byly prováděny jednou měsíčně v období duben 2016 až březen 2017. Celkem bylo vybráno pět veřejně přístupných zdrojů podzemních vod z oblasti krajského města Zlín. Zlín je rozložen na území východní Moravy, na rozhraní Hostýnských a Vizovických vrchů. Svou polohou je situován v údolí, kudy protéká řeka Dřevnice. Okolí Zlína lze charakterizovat jako pahorkovité, kopcovité. [17] Mimo tuto oblast byla testována voda i z jedné studny na soukromém pozemku v obci Hlušovice spadající pod okres Olomouc. Celkem bylo tedy stanovováno šest vzorků vod. Rozmístění odběrových míst na mapě lze vidět na Obr. 3 a 4.



Obr. 3 Odběrová místa – Zlín [18]



Obr. 4: Odběrové místo – Hlušovice [18]

Samotné vzorky byly odebírány do vzorkovnic z polyethylenterefralátu (PET) o objemu 1 l, které byly vždy poskytnuty Zdravotním ústavem se sídlem v Ostravě, konkrétně Centrem hygienických laboratoří v Olomouci. Před odběrem se nechala voda stejnoměrně odtékat po dobu několika minut (netýká se pramenového zdroje, který tekli konstantně). Poté byla zachycena do připravené vzorkovnice, jejíž objem zaplnila až po okraj, aby pod zátkou byla co nejmenší vzduchová bublina. Takto odebrané vzorky byly v co nejkratším čase přemístěny do vhodných skladovacích podmínek, tj. do tmy a chladu (přibližně při 4 °C) v chladničce. Vzorky byly uchovávány až do doby stanovení. Analýza vzorků byla vždy provedena do 24 hodin po odběru. Všechna stanovení (krom měření teploty) byla prováděna na pracovišti hygienických laboratoří v Olomouci.

Bod č. 1 na Obr. 3 označuje studnu v Malenovicích, které jsou místní částí města Zlína (dále jen studna Malenovice). Jedná se o ruční pumpu kamenné zděné konstrukce, která se nachází v blízkosti potoka pod ulicí J. Švermy u čp. 197. Hloubka studny je 3,9 m a byla zřízena v roce 1900. Tato studna je zdrojem minerální vody o vysoké celkové mineralizaci, se zvýšeným obsahem lithia, fluoridů, jodidů a v menší míře obsahuje i rozpuštěný sirovodík.

Bod č. 2 na Obr. 3 označuje studnu ve Zlíně na ulici Pasecká (dále jen studna Paseky), která se nachází za potokem u čp. 1552. Studna o hloubce 5 m byla zřízena v roce 1928, konstrukčně se jedná o betonové skruže. Těžení vody se zde provádí pomocí ruční pumpy.

Pod bodem č. 3 na Obr. 3 se nachází studna na ulici Lesní ve Zlíně (dále jen studna Lesní). Tento zdroj se nachází na travnatém svahu v blízkosti baťovských domků, u čp. 2942. Konstrukčně se jedná o studnu tvořenou betonovými skružemi, ze které se získává voda pomocí ruční pumpy. Hloubka studny je 10,5 m a byla zřízena v roce 1933.

Bod č. 4 na Obr. 3 označuje pramen v okrajové části Zlína zvané Příluky (dále jen pramen Příluky) nacházející se v blízkosti silnice ve směru na Vizovice. Pramen Příluky je „pozůstatek“ jednoho ze šesti odvodňovacích horizontálních vrtů, které byly v roce 1967 použity k odvodnění a stabilizaci sesuvu, který ohrožoval tehdejší zástavbu a železnici ve směru na Želechovice.

Pod bodem č. 5 na Obr. 3 se nachází studna v místní části Kostelec – Štípa patřící k městu Zlín (dále jen studna Štípa). Tento zdroj podzemní vody se nachází na štípském hřbitově. Konstrukce studny je tvořena betonovými skružemi, čerpadlem je ruční pumpa. Hloubka studny Štípa je 12 m.

Bod č. 6 na Obr. 4 označuje studnu na soukromém pozemku U Potoka 235 v Hlušovicích (dále jen studna Hlušovice). Tato studna je osazena betonovými skružemi a dosahuje do hloubky 7 m. Byla vykopána v roce 2006 jako zdroj pitné a užitkové vody.

3.4. Stanovení vybraných ukazatelů

Stanovení teploty

Teplota byla jako jediný parametr stanovována přímo na místech odběru. Před každým měřením byl teploměr opláchnut a teprve poté byl ponořen do naplněné vzorkovnice. Teplota byla odečtena po ustálení a zaznamenána v jednotkách stupeň Celsia [°C]. Poté byl teploměr očištěn, aby mohl být použit k dalšímu měření.

Stanovení pH

Měření pH bylo prováděno pomocí digitálního pH metru 450 GLP WTW za použití kombinované skleněné elektrody HAMILTON Single Pore Glass. Přístroj bylo nutno každý den před měřením kalibrovat pomocí dvou kalibračních roztoků pufrů, jeden o pH 4, druhý o pH 7. Poté byl proměřen kontrolní „denní pufr“, jehož hodnota pH se pohybovala v rozmezí 6,88 až 6,92. Před každým měřením byla elektroda opláchnuta destilovanou vodou a osušena buničinou.

Každý vzorek podzemní vody byl převeden do skleněné kádinky, do níž byla poté ponořena kombinovaná skleněná elektroda. Měření bylo prováděno za laboratorní teploty. Hodnota pH byla po ustálení odečtena. Na konci měření byla elektroda opět opláchnuta destilovanou vodou, osušena buničinou a vložena do tlumivého roztoku o pH 7.

Stanovení konduktivity

Každý měřicí den byla za pomoci příslušného standardu provedena kalibrace konduktometru LF 538 WTW. Následně byla proměřena také konduktivita destilované vody, jejíž hodnota by se měla pohybovat v okolí $0,5 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. Před každým měřením byla vodivostní cela Tetracon 325 WTW omyta destilovanou vodou a osušena buničinou.

Každý vzorek podzemní vody byl převeden do vhodné skleněné kádinky. Do měřeného vzorku byla ponořena elektroda a po ustálení vodivosti na jedné hodnotě, byl daný výsledek zaznamenán. Hodnoty konduktivit byly převedeny na jednotky $\text{mS}\cdot\text{m}^{-1}$. Na konci měření byla vodivostní cela opět omyta destilovanou vodou a osušena buničinou.

Stanovení dusičnanů, dusitanů, chloridů, síranů a amonných iontů

Stanovení dusičnanů bylo nejprve provedeno metodou nepřímou, a to z důvodu zjištění potřeby naředění vzorku pro následné měření na spektrofotometru. K tomuto stanovení bylo třeba připravit vybarvovací činidlo. Činidlo bylo připraveno odměřením 10 ml kyseliny fosforečné, přídatkem 1 g sulfamidu a 0,05 g N-(1-naftyl)ethylendiamin dihydrochloridu (NEDA) do 25ml odměrné baňky a doplněno destilovanou vodou po rysku. Takto připravené vybarvovací činidlo bylo možno za vhodných skladovacích podmínek (v chladu a ve tmě) používat 1 měsíc.

Při nepřímém stanovení jsou dusičnany ve vzorku podzemní vody redukovány práškovým zinkem na dusitany nebo až na amoniakální dusík. V kyselém prostředí kyseliny fosforečné následně dochází k diazotaci sulfamidu na diazoniovou sůl. NEDA poté kopuluje se sulfamidem za vzniku červeného azobarvia, což způsobí zbarvení roztoku do růžova. Intenzita zbarvení úměrně odpovídá koncentraci dusitanů ve vzorku. [15]

Pokud vzorek pozemní vody obsahoval velké množství nečistot, byl přefiltrován přes stříkačkový filtr o poréznosti $0,45 \mu\text{m}$. Celkem 2 ml takto přečištěného vzorku byly odměřeny do zkumavky. Ke vzorku byly přidány 2 kapky vybarvovacího činidla a malé množství zinku ve směsi se síranem draselným ($\text{Zn} + \text{K}_2\text{SO}_4$) v poměru 1:20 (síran zde slouží jako nosič). V závislosti na intenzitě růžového zbarvení bylo dle pokynů pracovníka

laboratoře následně provedeno ředění vzorku. Toto nepřímé stanovení bylo provedeno u všech šesti vzorků.

Po zapnutí VIS spektrometru Thermo Scientific Gallery byl pracovníkem laboratoře zkontrolován zásobník s kyvetami, činidly, odpadem a destilovanou vodou. Poté byl na počítači zvolen program pro přečištění přístroje. Po přečištění proběhlo také proměření roztoků pro kontrolu kvality. Pokud nebyla zjištěna žádná závada, přešlo se již k vlastnímu měření. Do stojanu pro spektrometr bylo zasazeno šest plastových nádobek. Do každé byl převeden asi 1 ml vzorku vody z dané studny o vhodném ředění. Stojan byl upevněn do držáku ve spektrofotometru. Na počítači byly zvoleny programy pro stanovení dusičnanů, dusitanů, chloridů, síranů a amonných iontů. Vyhodnocení měření proběhlo automaticky metodou kalibrační křivky softwarem. Stanovení všech iontů bylo prováděno standardními operačními postupy (SOP) dle návodu firmy Thermo Scientific (viz Tabulka 1).

Tabulka 1 Seznam SOP pro prováděné analýzy na spektrofotometru Thermo Scientific Gallery

Ukazatel	Použitá metoda
Amonné ionty (NH_4^+)	SOP OV 064 [19]
Dusičnany (NO_3^-)	SOP OV 064.03 [20]
Dusitany (NO_2^-)	SOP OV 064.04 [21]
Chloridy (Cl^-)	SOP OV 064.05 [22]
Sírany (SO_4^{2-})	SOP OV 064.06 [23]

Stanovení kovů (Fe, Mn, Ca, Mg, Na, K)

Kationty kovů jsou v alkalickém prostředí nestabilní. Proto byly vzorky podzemních vod okyseleny kyselinou dusičnou následujícím postupem: plastové lahvičky o objemu 100 ml byly do půlky objemu (tedy 50 ml) naplněny danými vzorky vod. Do každé z lahviček bylo přidáno 500 μl kyseliny dusičné a roztoky byly promíchány. Takto zakonzervované vzorky mohou být uchovány pro analýzu až jeden měsíc. [15]

Stanovení kovů bylo prováděno metodou hmotnostní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem, zkr. ICP-MS (*Inductively coupled plasma mass spectrometry*). Při této metodě slouží indukčně vázané plazma jako zdroj iontů pro hmotnostní spektrometr. Vzorek vody ve formě aerosolu byl přiváděn do plazmy. Jako nosný plyn zde slouží argon. V analytické zóně plazmy o teplotě 7500 °K dochází k ionizaci kovů. Ionty vzorku z plazmatu vstupují do hmotnostního analyzátoru ve vakuu soustavou malých otvorů. Poté prochází do kvadrupólového hmotnostního analyzátoru. Kvadrupólový detektor je složen ze čtyř tyčí, na které je přiváděno napětí. V důsledku vzniklého elektromagnetického pole jsou ionty odkloněny od rovné dráhy a během průletu kvadrupólem oscilují mezi tyčemi. Při vhodném napětí projdou analyzátozem pouze určité ionty, ostatní se střetnou s tyčí a vybijí se. Prošlé ionty dopadají na detektor – násobič elektronů. [24], [25]

Před měřením samotných vzorků byly připraveny tři kalibrační roztoky naředěním standardů na požadovanou koncentraci na objem 50 ml. Také byl připraven slepý vzorek pouze z destilované vody. Ke kalibračním roztokům i slepému vzorku bylo také přidáno 500µl kyseliny dusičné.

Společně s přístrojem byla zapnuta i plazma. Pak bylo zapnuto chlazení celého přístroje. Do dávkovače byly upevněny lahvičky se standardy, kontrolními vzory, měřeními vzorky vod i slepým vzorkem a proces měření byl zahájen přes příslušný software. Během měření byl přístroj automaticky promýván destilovanou vodou. Výsledky byly vyhodnoceny počítačem metodou kalibrační křivky. Stanovení kovů probíhalo dle SOP OV 201 (ČSN EN ISO 17294-1, ČSN EN ISO 17294-2) [26].

Stanovení celkového organického uhlíku (TOC)

Šest skleněných headspace vialek bylo naplněno až po okraj danými vzorky vod tak, aby pod víčkem bylo přítomno minimum vzduchu. Měření celkového organického uhlíku bylo prováděno na TOC analyzáru TORCH, který pracuje na principu katalytického spalování vzorků. Připravené vialky byly umístěny do autosampleru přístroje, odkud byly postupně odebírány. V prvním kroku byl vzorek vody okyselen. Probubláváním syntetickým vzduchem byl následně zbaven nežádoucího CO₂. Takto přečištěný vzorek byl převeden

na platinový katalyzátor, kde při teplotě 750 °C dochází k jeho katalytickému spalování. Po spálení byly vodní páry v eliminační trubici odděleny a zbylý CO₂ putuje do NDIR (*nondispersive infrared*) detektoru. Případný chlor ve vzorku byl odstraněn pomocí mědi a cínu v U-trubici ještě před vstupem do detektoru. Výsledky byly automaticky zpracovány z kalibrační křivky vhodným softwarem. Veškerá práce probíhala podle standardního operačního postupu (SOP OV 307) podle ČSN EN 1484 [27].

4. VÝSLEDKY A DISKUSE

Všechny výsledky naměřené v laboratořích i mimo ni jsou zobrazeny do Tabulek 2–16 a grafů viz Obr. 5–19. Hodnoty jednotlivých ukazatelů byly srovnávány s vyhláškou č. 252/2004 Sb., která stanovuje doporučenou hodnotu (DH), mezní hodnotu (MH), případně nejvyšší mezní hodnotu (NMH) pro pitnou a teplou vodu. (Přesné definice těchto termínů jsou uvedeny v kapitole 2.1.2.) Pokud některý z výsledků těmto limitám nevyhovoval, byl v tabulce vyznačen **tučně**. V případě velkých rozdílů hodnot byla měření provedena více než 3x. Chyby měření byly drženy pod danými akceptovatelnými mezemi.

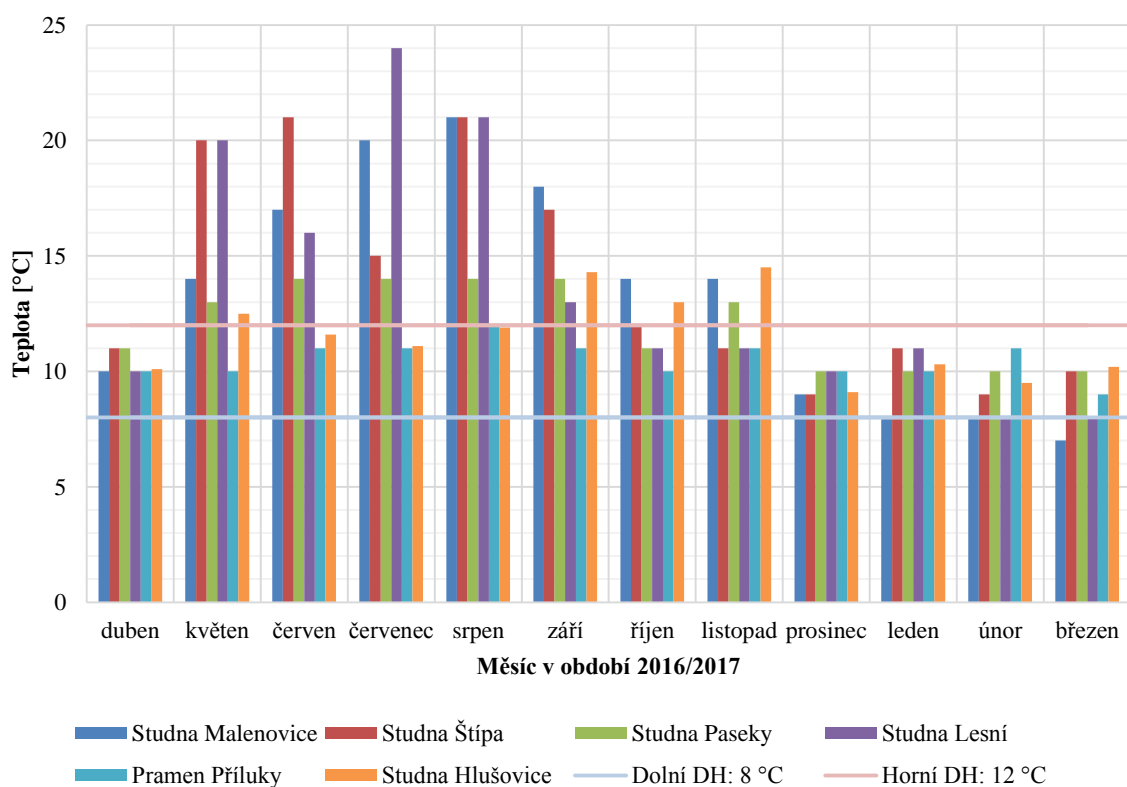
4.1. Stanovení teploty

Vyhláškou stanovená doporučená hodnota teploty pro pitné vody udává rozmezí od 8 do 12 °C. V Tabulce 2 níže jsou znázorněny teploty podzemních vod a jejich průběh během jednoho roku. Obr. 5 představuje grafické znázornění změn naměřených teplot na měsíci odběru. Jediným zdrojem, který limit splnil po celou dobu sledování, byl Pramen Příluky. Dle předpokladu byly nejvyšší teploty naměřeny během letních měsíců, přičemž v měsíci září byl překročen horní limit 12 °C u pěti ze šesti pozorovaných vzorků. I když se jednalo o podzemní vody, byl ročním obdobím ovlivňován i zdroj s největší hloubkou (12 m), tj. Studna Štípa.

Naproti tomu nebyly v měsíci dubnu, prosinci, lednu, únoru a březnu pozorovány široké teplotní výkyvy a celková průměrná hodnota všech studen v tomto úseku činila 9,6 °C, což podle teorie odpovídá průměrným teplotám podzemních vod ve střední Evropě. Nejméně teplotních výkyvů bylo zaznamenáno u Pramene Příluky, u kterého se hodnota pohybovala v rozpětí 9 až 12 °C. Studna Malenovice nejčastěji nesplňovala daný limit, jelikož se jedná o studnu s nejnižší hloubkou ze všech sledovaných zdrojů, a to 3,9 m.

Tabulka 2 Naměřené hodnoty teploty vod při odběru

Měsíc	Teplota [°C]					
	Studna Malenovice	Studna Štípa	Studna Paseky	Studna Lesní	Pramen Příluky	Studna Hlušovice
duben	10	11	11	10	10	10,1
květen	14	20	13	20	10	12,5
červen	17	21	14	16	11	11,6
červenec	20	15	14	24	11	11,1
srpen	21	21	14	21	12	11,9
září	18	17	14	13	11	14,3
říjen	14	12	11	11	10	13,0
listopad	14	11	13	11	11	14,5
prosinec	9	9	10	10	10	9,1
leden	8	11	10	11	10	10,3
únor	8	9	10	8	11	9,5
březen	7	10	10	8	9	10,2



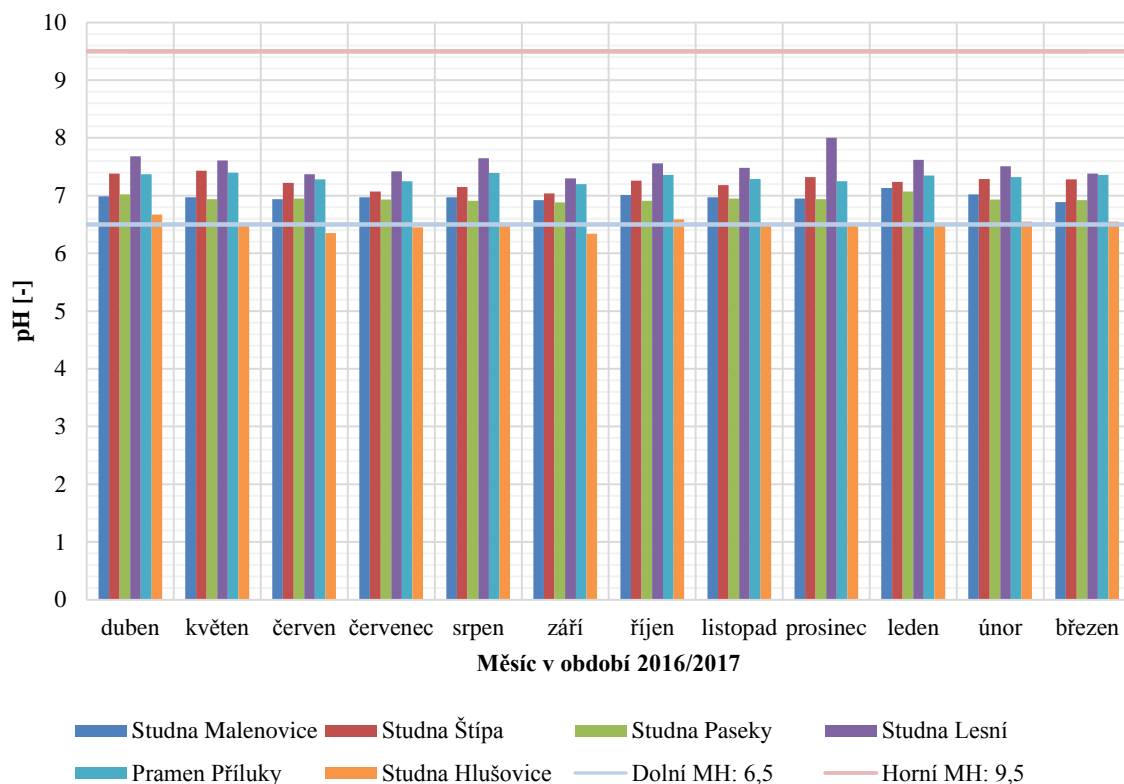
Obr. 5 Souhrnné zobrazení změn teplot v období jednoho roku

4.2. Stanovení pH

Mezní hodnota pH, kterou udává vyhláška, se pohybuje v intervalu hodnot 6,5–9,5. V Tabulce 3 lze vidět, že horní hranice tohoto limitu nebyla překročena ani u jednoho ze sledovaných zdrojů. Výsledky všech studen a pramenu v oblasti Zlína a okolí splnily daný rozsah. Pouze u Studny Hlušovice bylo pH v červnu, červenci, září a lednu menší než dolní mez. Názorně jsou hodnoty změn pH v období duben 2016 až březen 2017 interpretovány do grafu (viz Obr. 6). V průběhu roku nebylo pozorováno žádné výrazné kolísání.

Tabulka 3 Naměřené hodnoty pH

Měsíc	pH [-]					
	Studna Malenovice	Studna Štípa	Studna Paseky	Studna Lesní	Pramen Příluky	Studna Hlušovice
duben	6,99	7,38	7,02	7,68	7,37	6,67
květen	6,97	7,43	6,94	7,61	7,40	6,53
červen	6,94	7,22	6,95	7,37	7,28	6,35
červenec	6,97	7,07	6,93	7,42	7,25	6,45
srpen	6,97	7,15	6,91	7,65	7,39	6,51
září	6,92	7,04	6,88	7,30	7,20	6,34
říjen	7,01	7,26	6,91	7,56	7,36	6,59
listopad	6,97	7,18	6,95	7,48	7,29	6,51
prosinec	6,95	7,32	6,94	8,00	7,25	6,50
leden	7,13	7,24	7,07	7,62	7,35	6,48
únor	7,02	7,29	6,93	7,51	7,32	6,55
březen	6,89	7,28	6,92	7,38	7,36	6,55



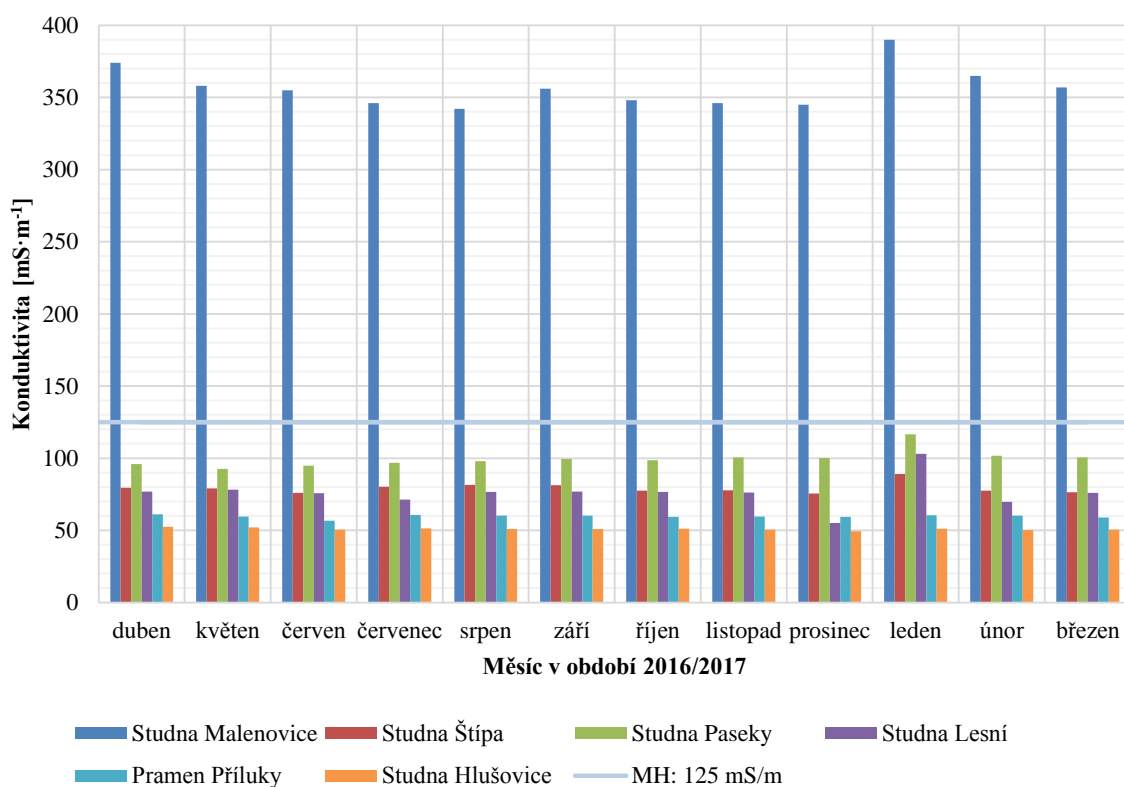
Obr. 6 Souhrnné zobrazení změn pH v období jednoho roku

4.3. Stanovení konduktivity

Vyhláškou předepsaná mezní hodnota konduktivity je stanovena na $125 \text{ mS} \cdot \text{m}^{-1}$. Tabulka 4 ukazuje, že Studna Malenovice několikanásobně překročila parametry v každém měsíci. Jedná se totiž o zdroj minerální vody s přirozeně zvýšenou koncentrací elektrolytů. Ostatní zdroje zůstaly pod limitní hodnotou. Celkový souhrn, který poskytuje Obr. 7, názorně ukazuje, že ani v případě konduktivity nedošlo v průběhu roku k výraznému kolísání. Mírné navýšení hodnot v měsíci leden u všech vzorků mohlo být pravděpodobně způsobeno zimním posypem vozovek.

Tabulka 4 Naměřené hodnoty konduktivity

Měsíc	Konduktivita [$\text{mS}\cdot\text{m}^{-1}$]					
	Studna Malenovice	Studna Štípa	Studna Paseky	Studna Lesní	Pramen Příluky	Studna Hlušovice
duben	374	79,5	96,0	76,8	61,0	52,4
květen	358	79,1	92,5	78,2	59,5	51,9
červen	355	75,9	94,9	75,7	56,6	50,4
červenec	346	80,2	96,9	71,3	60,7	51,3
srpen	342	81,4	97,9	76,6	60,2	51,0
září	356	81,3	99,4	76,8	60,2	50,9
říjen	348	77,5	98,5	76,7	59,4	51,1
listopad	346	77,7	100,5	76,2	59,5	50,4
prosinec	345	75,6	100,1	55,1	59,4	49,3
leden	390	89,0	116,5	102,9	60,5	51,2
únor	365	77,4	101,6	69,7	60,1	50,3
březen	357	76,3	100,6	75,9	58,9	50,4



Obr. 7 Souhrnné zobrazení změn konduktivit v období jednoho roku

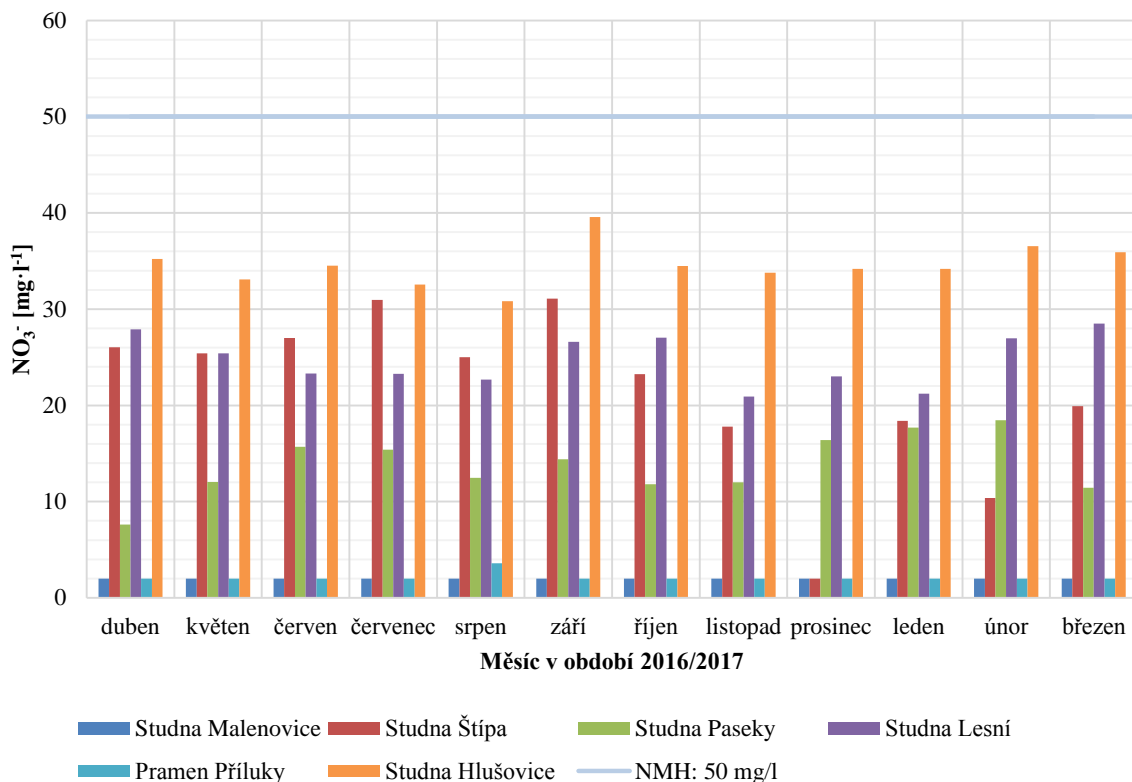
4.4. Stanovení dusičnanů, dusitanů, chloridů, síranů a amonných iontů

Dusičnany

Během celého pozorování nedošlo ani u jednoho ze zdrojů k překročení nejvyšší mezní hodnoty dusitanů $50 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$. Převážně u Studny Malenovice a Pramene Příluky byly koncentrace nižší než $2 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ (viz Tabulka 5). Náhlý pokles obsahu dusičnanů v prosinci 2016 u Studny Štípa byl pravděpodobně způsoben zhoršenými podmínkami při odběru (zamrzání ruční pumpy). Obr. 8 ukazuje, že celkově po dobu jednoho roku nedocházelo k většímu kolísání.

Tabulka 5 Naměřené koncentrace dusičnanů

Měsíc	$\text{NO}_3^- [\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}]$					
	Studna Malenovice	Studna Štípa	Studna Paseky	Studna Lesní	Pramen Příluky	Studna Hlušovice
duben	< 2	26,03	7,60	27,90	< 2	35,20
květen	< 2	25,40	12,03	25,40	< 2	33,10
červen	< 2	27,00	15,70	23,30	< 2	34,50
červenec	< 2	30,96	15,40	23,26	< 2	32,54
srpen	< 2	25,00	12,47	22,68	3,60	30,82
září	< 2	31,10	14,40	26,59	< 2	39,56
říjen	< 2	23,23	11,81	27,02	< 2	34,47
listopad	< 2	17,80	12,00	20,90	< 2	33,80
prosinec	< 2	< 2	16,40	23,00	< 2	34,20
leden	< 2	18,40	17,70	21,20	< 2	34,20
únor	< 2	10,37	18,44	26,96	< 2	36,54
březen	< 2	19,91	11,43	28,50	< 2	35,92



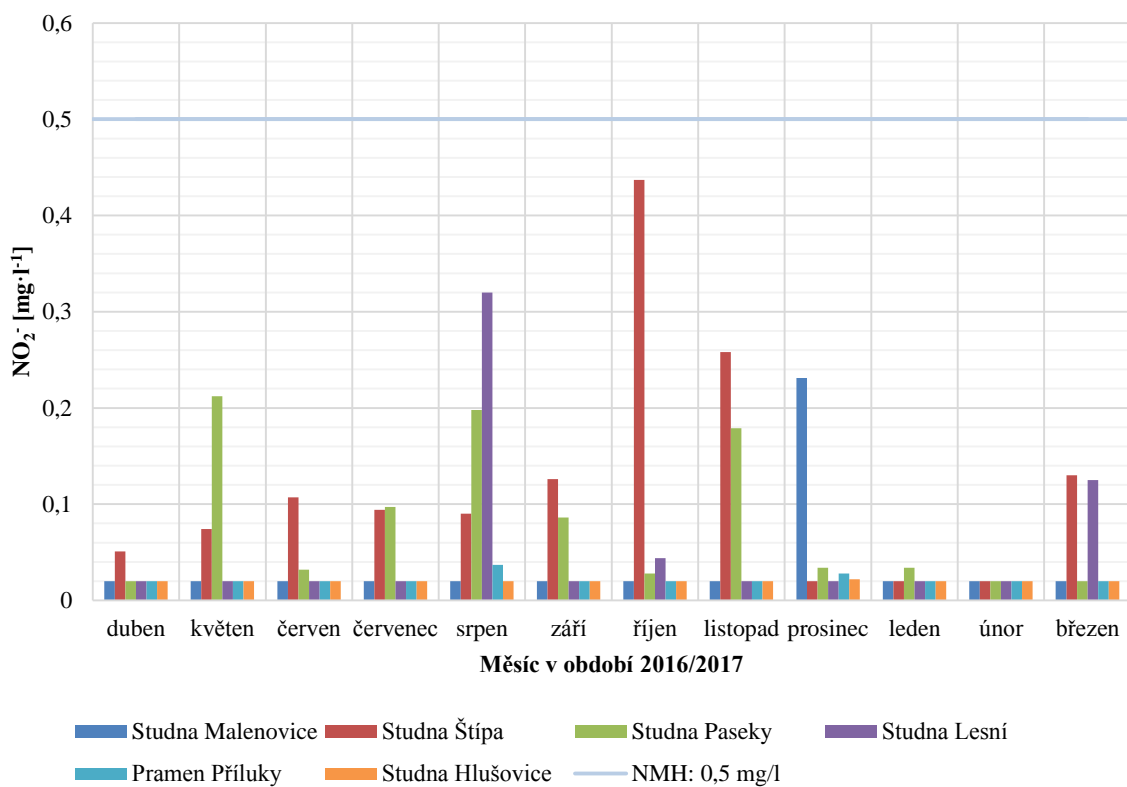
Obr. 8 Souhrnné zobrazení změn koncentrací dusičnanů

Dusitany

Tabulka 6 zobrazuje, jak po většinu měření vykazovaly Studny Malenovice, Lesní, Hlušovice a Pramen Příluky koncentrace dusitanů nižší než $0,02 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$. V celkovém souhrnu (Obr. 9) splňovaly normu všechny hodnoty. Limitem je nejvyšší mezní hodnota koncentrace $0,5 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$. Vyšší koncentrace pro podzemní vodu u Studny Štípa oproti ostatním mohla způsobit skutečnost, že tento zdroj je lokalizován na místním Hřbitově.

Tabulka 6 Naměřené koncentrace dusitanů

Měsíc	NO ₂ [mg·l ⁻¹]					
	Studna Malenovice	Studna Štípa	Studna Paseky	Studna Lesní	Pramen Příluky	Studna Hlušovice
duben	<0,02	0,051	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
květen	<0,02	0,074	0,212	<0,02	<0,02	<0,02
červen	<0,02	0,107	0,032	<0,02	<0,02	<0,02
červenec	<0,02	0,094	0,097	<0,02	<0,02	<0,02
srpen	<0,02	0,090	0,198	0,320	0,037	<0,02
září	<0,02	0,126	0,086	<0,02	<0,02	<0,02
říjen	<0,02	0,437	0,028	0,044	<0,02	<0,02
listopad	<0,02	0,258	0,179	<0,02	<0,02	<0,02
prosinec	0,231	<0,02	0,034	<0,02	0,028	0,022
leden	<0,02	<0,02	0,034	<0,02	<0,02	<0,02
únor	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
březen	<0,02	0,130	<0,02	0,125	<0,02	<0,02



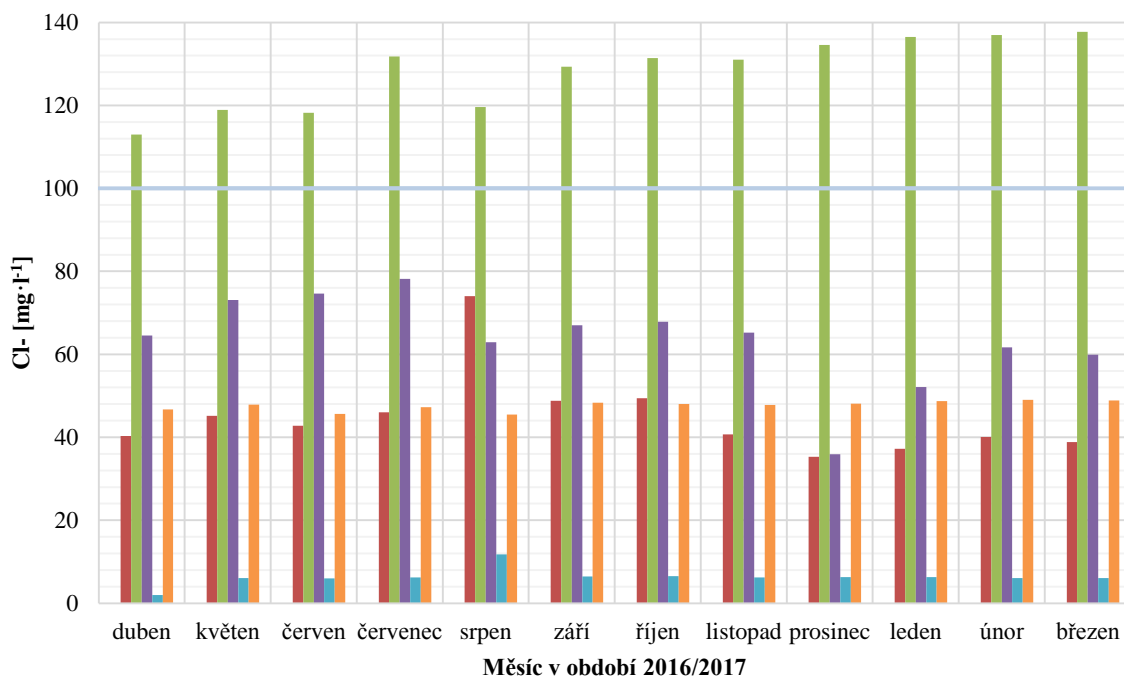
Obr. 9 Souhrnné zobrazení změn koncentrací dusitanů

Chloridy

Limitní mezní hodnotu $100 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ pravidelně v každém měsíci překračovaly podzemní vody z oblasti Malenovice a Paseky (viz Tabulka 7). Několikanásobné překročení daného limitu u Studny Malenovice lze vysvětlit tím, že se jedná o minerální vodu. Z tohoto důvodu také nebyla zobrazena do grafu (Obr. 10). Vzorky z ostatních lokací se držely pod limitem. Celkově nebyly vyzorovány žádné značné výkyvy koncentrací chloridů.

Tabulka 7 Naměřené koncentrace chloridů

Měsíc	Cl ⁻ [mg·l ⁻¹]					
	Studna Malenovice	Studna Štípa	Studna Paseky	Studna Lesní	Pramen Příluky	Studna Hlušovice
duben	425,00	40,30	113,00	64,50	< 2	46,70
květen	470,70	45,16	118,89	73,13	6,06	47,90
červen	471,90	42,80	118,20	74,60	5,95	45,60
červenec	458,31	46,03	131,80	78,19	6,23	47,25
srpen	401,60	74,00	119,60	62,92	11,78	45,50
září	457,24	48,78	129,30	67,00	6,47	48,31
říjen	457,00	49,38	131,43	67,82	6,52	48,06
listopad	431,00	40,70	131,00	65,25	6,18	47,80
prosinec	427,00	35,30	134,60	35,90	6,30	48,09
leden	483,30	37,20	136,50	52,10	6,30	48,70
únor	469,80	40,11	136,93	61,66	6,07	49,03
březen	453,00	38,88	137,74	59,92	6,04	48,86



Studna Malenovice není v grafu zobrazena z důvodu čtyřnásobného překročení limitní MH.



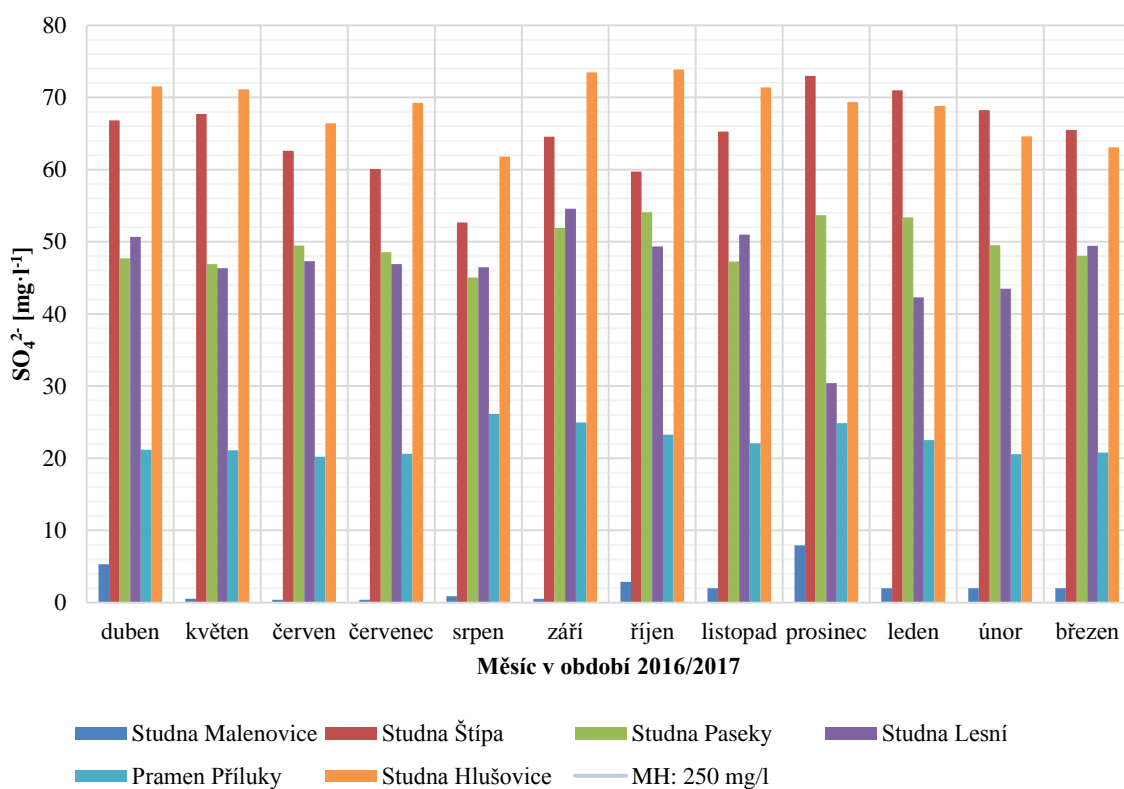
Obr. 10 Souhrnné zobrazení změn koncentrací chloridů

Síraný

Všechny koncentrace z Tabulky 8 byly pod mezní hodnotou $250 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$, kterou udává vyhláška. Jelikož naměřené koncentrace síranů byly rozdílně nižší, než bylo limitováno, je mezní hodnota uvedena pouze v legendě (viz Obr. 11), avšak v grafu již zobrazena není. Osa s koncentracemi byla omezena tak, aby byl celý souhrn čitelnější. U Prameně Příluky a Studen Malenovice, Paseky, Lesní a Hlušovice nedocházelo v průběhu roku k většímu kolísání. Podzemní voda ze Studny Štípa mění postupně koncentrace, přičemž nejvyšších hodnot dosahuje v zimních měsících, což může být způsobeno útlumem celkového pohybu vody a nahromaděním síranů v podzemním kolektoru.

Tabulka 8 Naměřené koncentrace síranů

Měsíc	SO ₄ ²⁻ [mg·l ⁻¹]					
	Studna Malenovice	Studna Štípa	Studna Paseky	Studna Lesní	Pramen Příluky	Studna Hlušovice
duben	5,30	66,80	47,70	50,68	21,20	71,50
květen	0,53	67,70	46,89	46,35	21,10	71,12
červen	0,40	62,60	49,50	47,30	20,20	66,40
červenec	0,39	60,08	48,55	46,92	20,62	69,24
srpen	0,89	52,66	45,04	46,47	26,16	61,81
září	0,55	64,56	51,93	54,60	24,98	73,46
říjen	2,88	59,71	54,07	49,34	23,26	73,85
listopad	< 2	65,25	47,26	50,97	22,10	71,39
prosinec	7,95	72,99	53,70	30,40	24,89	69,35
leden	< 2	71,00	53,40	42,30	22,50	68,80
únor	< 2	68,23	49,52	43,51	20,58	64,60
březen	< 2	65,49	48,06	49,45	20,79	63,07



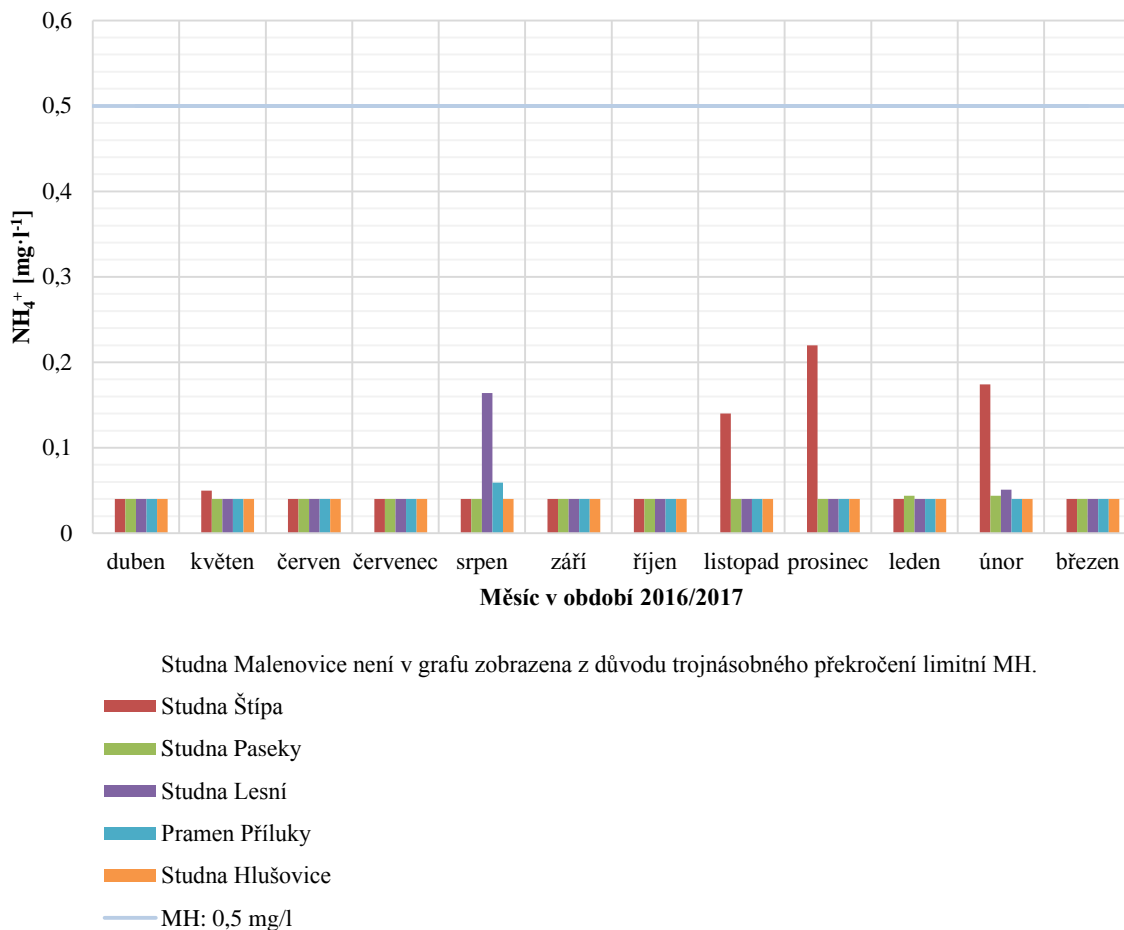
Obr. 11 Souhrnné zobrazení změn koncentrací síranů

Amonné ionty

U většiny sledovaných podzemních vod (vyjma Studny Malenovice) nedocházelo během roku ke kolísání amoniakálního dusíku a hodnoty byly převážně nižší než $0,04 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ (viz Tabulka 9). Pouze u Studny Malenovice došlo při všech dvanácti odběrech k překročení mezní hodnoty $0,5 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ stanovené vyhláškou. A právě z důvodu až trojnásobného překročení limitu a vysokého rozdílu oproti ostatním zdrojům nebyla Studna Malenovice zobrazena do Obr. 12. Jelikož se tento zdroj nachází v těsné blízkosti rybníku, docházelo pravděpodobně k průsaku a infiltraci amoniaku jakožto metabolitu ryb. Pozorované zvýšení koncentrací u Studny Štípa v měsíci květen, listopad, prosinec a únor lze vysvětlit rozkladem látek organického původu, jelikož jde o zdroj situovaný na pozemku hřbitova.

Tabulka 9 Naměřené koncentrace amonných iontů

Měsíc	$\text{NH}_4^+ [\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}]$					
	Studna Malenovice	Studna Štípa	Studna Paseky	Studna Lesní	Pramen Příluky	Studna Hlušovice
duben	1,58	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04
květen	1,48	0,05	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04
červen	1,48	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04
červenec	1,34	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04
srpen	1,43	<0,04	<0,04	0,164	0,059	<0,04
září	1,71	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04
říjen	1,69	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04
listopad	1,47	0,14	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04
prosinec	1,60	0,22	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04
leden	1,50	<0,04	0,044	<0,04	<0,04	<0,04
únor	1,00	0,174	0,044	0,051	<0,04	<0,04
březen	1,50	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04



Obr. 12 Souhrnné zobrazení změn koncentrací amonných iontů

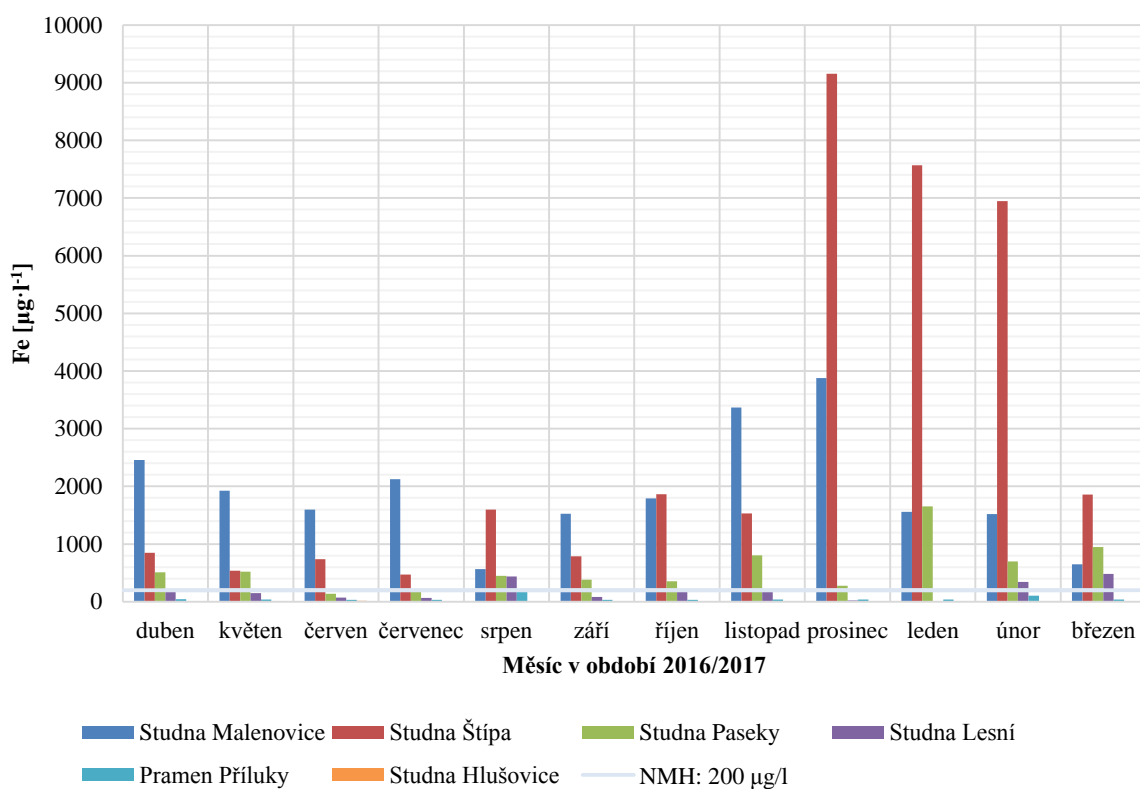
4.5. Stanovení kovů (Fe, Mn, Ca, Mg, Na, K)

Železo

Ve všech dvanácti měsících překročily vyhláškou stanovenou nejvyšší mezní hodnotu koncentrace železa pro pitnou vodu $200 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ vody ze Studny Malenovice a Studny Štípa. Největší nárůst koncentrací byl pozorován hlavně v zimních měsících společně také se Studnou Paseky (viz Obr. 13). Předpokladem tohoto nárůstu je pravděpodobně omezení užívání těchto zdrojů během zimy. Z Tabulky 10 lze vypožorovat, že naproti tomu se daná koncentrace ze Studny Hlušovice držela během celého měření pod limitní hodnotou. U Prameně Příluky došlo v srpnu 2016 k překročení limitu způsobeného pravděpodobně korozi potrubí. U Studny Lesní byly pozorovány nepravidelné výkyvy obsahu železa, což bylo pravděpodobně také způsobeno stavem potrubí.

Tabulka 10 Naměřené koncentrace železa

Měsíc	Fe [$\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$]					
	Studna Malenovice	Studna Štípa	Studna Paseky	Studna Lesní	Pramen Příluky	Studna Hlušovice
duben	2456,00	848,20	507,90	204,70	45,63	4,93
květen	1927,00	537,10	522,30	147,90	37,72	8,21
červen	1595,00	738,20	137,30	71,57	32,11	14,83
červenec	2126,00	471,00	195,00	67,82	29,76	0,58
srpen	565,85	1597,50	447,1	436,20	214,25	<0,01
září	1527,00	786,50	379,90	80,92	35,11	<0,01
říjen	1791,00	1865,00	356,60	201,20	34,98	5,34
listopad	3365,00	1532,00	806,00	179,20	39,97	7,99
prosinec	3880,00	9152,00	276,40	19,01	38,13	6,32
leden	1556,00	7566,00	1650	11,54	35,79	<0,01
únor	1522,00	6948,00	698,30	345,10	102,90	6,27
březen	647,80	1856,00	945,80	482,10	39,39	3,05



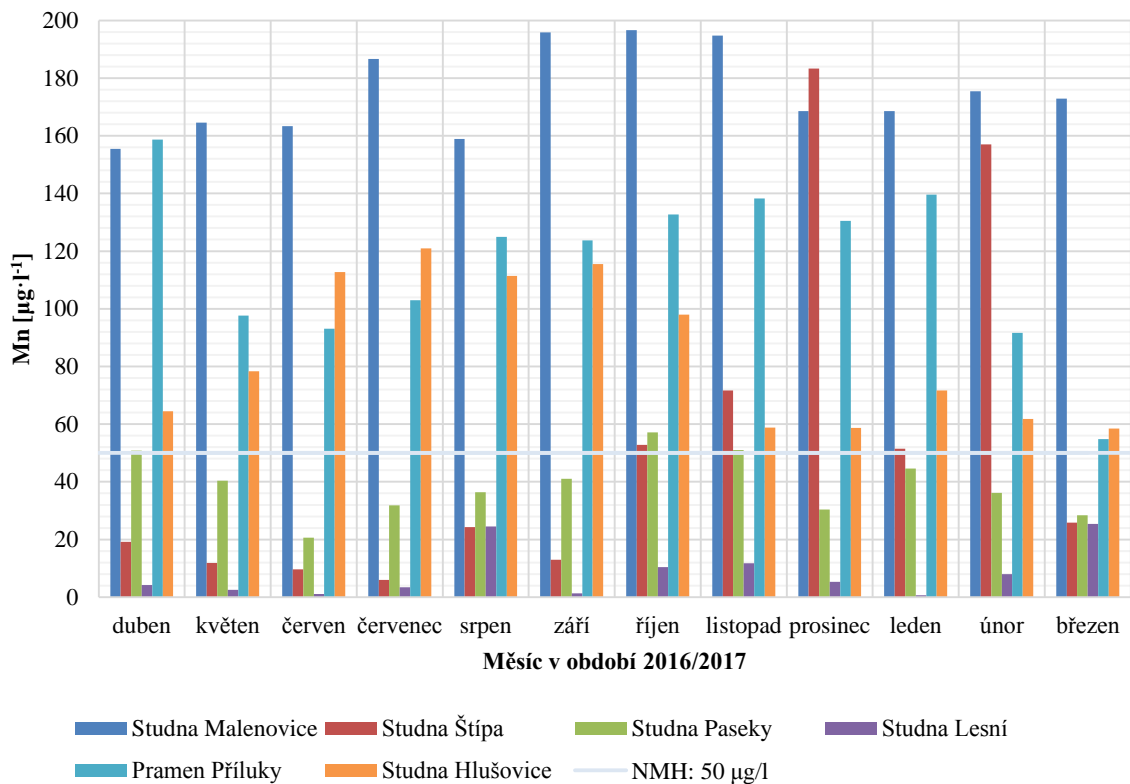
Obr. 13 Souhrnné zobrazení změn koncentrací železa

Mangan

V Tabulce 11 lze vidět, že vody ze Studny Malenovice a Hlušovice a Prameny Příluky překračují nejvyšší mezní hodnotu $50 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ v každém měřeném měsíci. Tato skutečnost je způsobena typem podloží, ve kterém se zdroje vod nachází. Zvýšená koncentrace manganu převážně v období zimních měsíců u Studny Štípa je pravděpodobně způsobeno jejím méně častým užíváním. Všechny naměřené hodnoty byly zobrazeny do grafu (viz Obr. 14).

Tabulka 11 Naměřené koncentrace manganu

Měsíc	Mn [$\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$]					
	Studna Malenovice	Studna Štípa	Studna Paseky	Studna Lesní	Pramen Příluky	Studna Hlušovice
duben	155,50	19,23	50,81	4,23	158,70	64,49
květen	164,60	11,83	40,36	2,52	97,69	78,32
červen	163,30	9,66	20,66	1,10	93,05	112,70
červenec	186,65	5,98	31,82	3,44	102,95	120,90
srpen	158,90	24,25	36,42	24,48	124,90	111,45
září	195,90	13,02	41,08	1,30	123,70	115,50
říjen	196,65	52,84	57,11	10,38	132,75	97,93
listopad	194,80	71,64	51,08	11,75	138,25	58,82
prosinec	168,60	183,35	30,38	5,27	130,45	58,66
leden	168,60	51,44	44,61	0,65	139,55	71,66
únor	175,40	157,00	36,13	7,99	91,66	61,81
březen	172,90	25,85	28,44	25,42	54,79	58,48



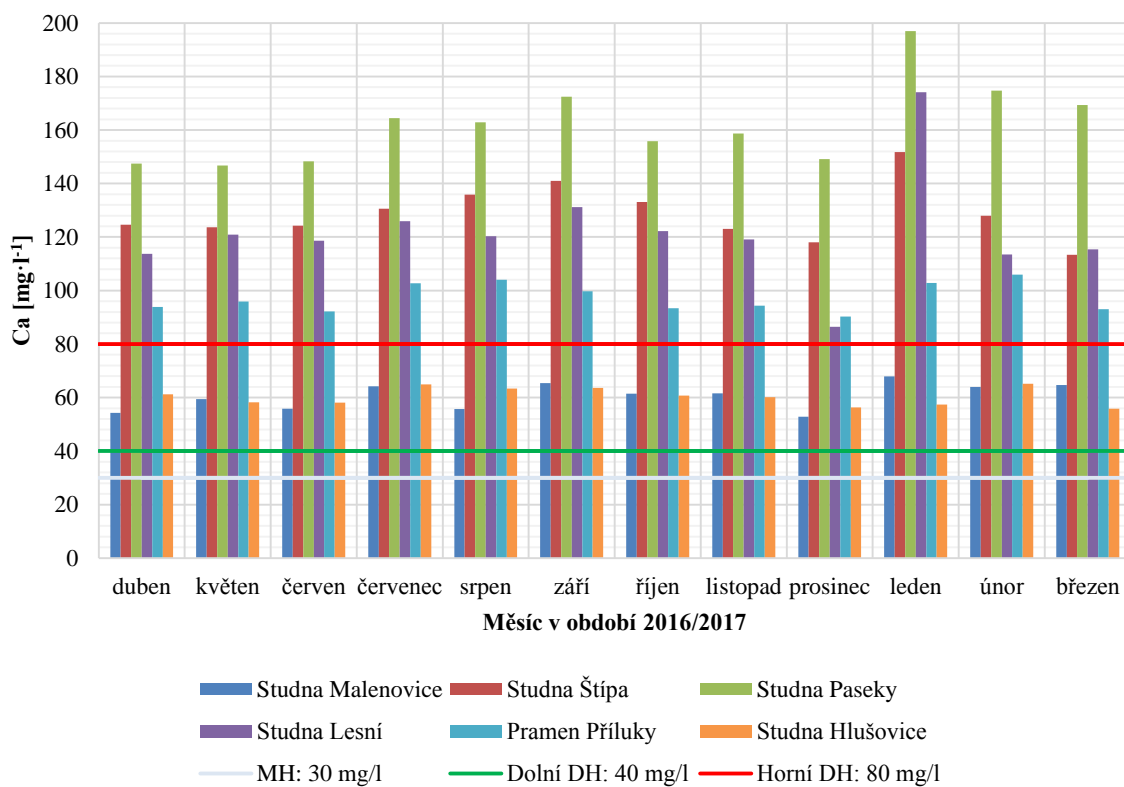
Obr. 14 Souhrnné zobrazení změn koncentrací manganu

Vápník

Tabulka 12 ukazuje, že všechny podzemní vody v průběhu roku splnily mezní hodnotu $30 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$. Všechny vodní zdroje splnily také i dolní limit doporučené hodnoty $40 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$. Z Obr. 15 lze zaznamenat, že koncentrace vápníku Studny Štípa, Paseky a Lesní a Pramene Příluky překročily ve všech měsících i horní doporučenou hodnotu $80 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$.

Tabulka 12 Naměřené koncentrace vápníku

Měsíc	Ca [mg·l ⁻¹]					
	Studna Malenovice	Studna Štípa	Studna Paseky	Studna Lesní	Pramen Příluky	Studna Hlušovice
duben	54,30	124,60	147,40	113,70	93,86	61,22
květen	59,38	123,65	146,75	120,85	95,95	58,18
červen	55,84	124,20	148,25	118,65	92,19	58,05
červenec	64,20	130,55	164,40	125,95	102,75	64,86
srpen	55,71	135,85	162,90	120,25	104,02	63,38
září	65,43	140,95	172,40	131,20	99,67	63,65
říjen	61,44	133,05	155,80	122,20	93,39	60,75
listopad	61,59	123,00	158,65	119,15	94,30	60,11
prosinec	52,89	118,00	149,10	86,46	90,22	56,26
leden	67,97	151,75	197,00	174,10	102,88	57,40
únor	63,93	128,00	174,70	113,45	105,95	65,21
březen	64,64	113,35	169,30	115,40	93,08	55,78



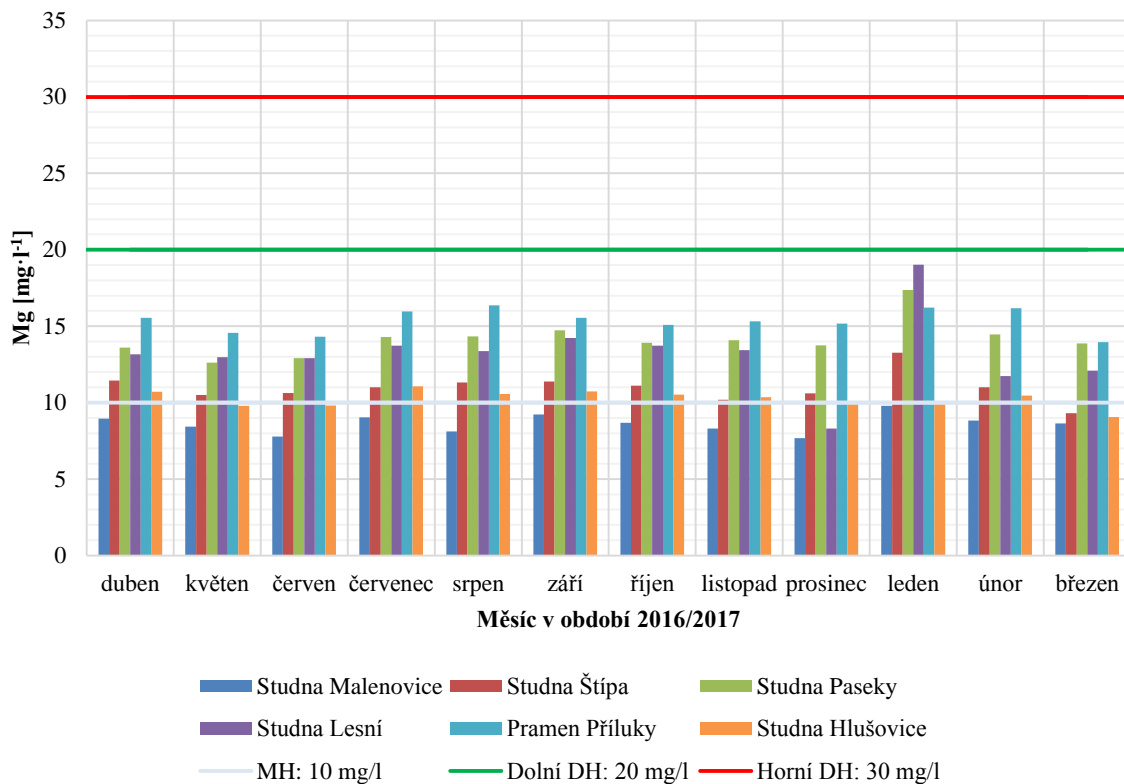
Obr. 15 Souhrnné zobrazení změn koncentrací vápníku

Hořčík

Pro koncentraci hořčíku v pitných vodách je vyhláškou stanovena mezní hodnota $10 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ a doporučená hodnota v rozsahu 20 až $30 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$. Jak ukazuje Tabulka 13, mezní hodnoty celoročně nedosahuje Studna Malenovice. Studna Štípa, Lesní a Hlušovice nedosahují tohoto limitu také, ale jedná se o nepravidelné výkyvy. Z Obr. 16 lze vypožorovat, že na dolní hranici doporučené hodnoty nedosahuje ani jeden ze sledovaných zdrojů podzemních vod.

Tabulka 13 Naměřené koncentrace hořčíku

Měsíc	Mg [$\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$]					
	Studna Malenovice	Studna Štípa	Studna Paseky	Studna Lesní	Pramen Příluky	Studna Hlušovice
duben	8,96	11,45	13,61	13,16	15,56	10,72
květen	8,43	10,50	12,62	12,98	14,56	9,79
červen	7,78	10,63	12,91	12,91	14,32	9,81
červenec	9,04	11,02	14,29	13,73	15,98	11,06
srpen	8,12	11,32	14,34	13,38	16,36	10,56
září	9,23	11,38	14,73	14,23	15,55	10,74
říjen	8,69	11,11	13,92	13,73	15,10	10,53
listopad	8,30	10,18	14,08	13,44	15,31	10,37
prosinec	7,68	10,62	13,76	8,30	15,18	9,99
leden	9,80	13,28	17,36	19,02	16,23	10,08
únor	8,82	11,01	14,46	11,73	16,18	10,47
březen	8,64	9,31	13,88	12,09	13,96	9,06



Obr. 16 Souhrnné zobrazení změn koncentrací hořčíku

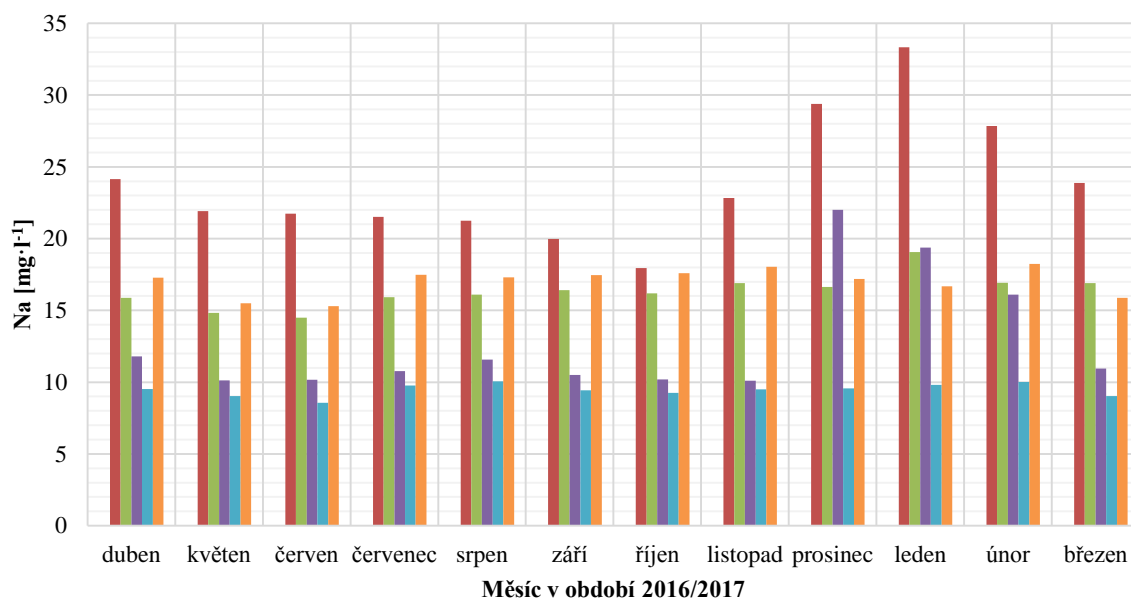
Sodík

Jelikož naměřené koncentrace sodíku byly rozdílně nižší, než bylo limitováno, je mezní hodnota uvedena pouze v legendě (viz Obr. 17). Linie limitní mezní hodnoty $200 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ v grafu již zobrazena není. Osa s koncentracemi byla omezena tak, aby byl celý souhrn čitelnější.

Studna Malenovice je zdrojem minerální vody. Svými koncentracemi až dvojnásobně překračovala mezní hodnotu (viz Tabulka 14). Z tohoto důvodu není vyobrazena v grafu. U Studny Lesní a Štípa došlo během zimních měsíců k navýšení koncentrace sodíku. Tento fakt byl s největší pravděpodobností zapříčiněn zimním posypem silnic a následnou infiltrací solí do půd.

Tabulka 14 Naměřené koncentrace sodíku

Měsíc	Na [mg·l ⁻¹]					
	Studna Malenovice	Studna Štípa	Studna Paseky	Studna Lesní	Pramen Příluky	Studna Hlušovice
duben	554,30	24,15	15,87	11,80	9,52	17,29
květen	514,10	21,92	14,83	10,14	9,03	15,50
červen	471,40	21,74	14,49	10,17	8,57	15,31
červenec	539,10	21,52	15,92	10,78	9,77	17,48
srpen	449,80	21,25	16,10	11,57	10,07	17,30
září	547,80	19,98	16,40	10,51	9,43	17,46
říjen	560,00	17,95	16,18	10,20	9,26	17,59
listopad	535,70	22,83	16,90	10,11	9,51	18,05
prosinec	473,70	29,38	16,63	22,00	9,58	17,20
leden	607,20	33,34	19,06	19,37	9,81	16,68
únor	527,00	27,85	16,93	16,09	10,02	18,24
březen	523,70	23,87	16,91	10,95	9,04	15,87



Studna Malenovice není v grafu zobrazena z důvodu dvojnásobného překročení limitní MH.

- Studna Štípa
- Studna Paseky
- Studna Lesní
- Pramen Příluky
- Studna Hlušovice
- MH: 200 mg/l

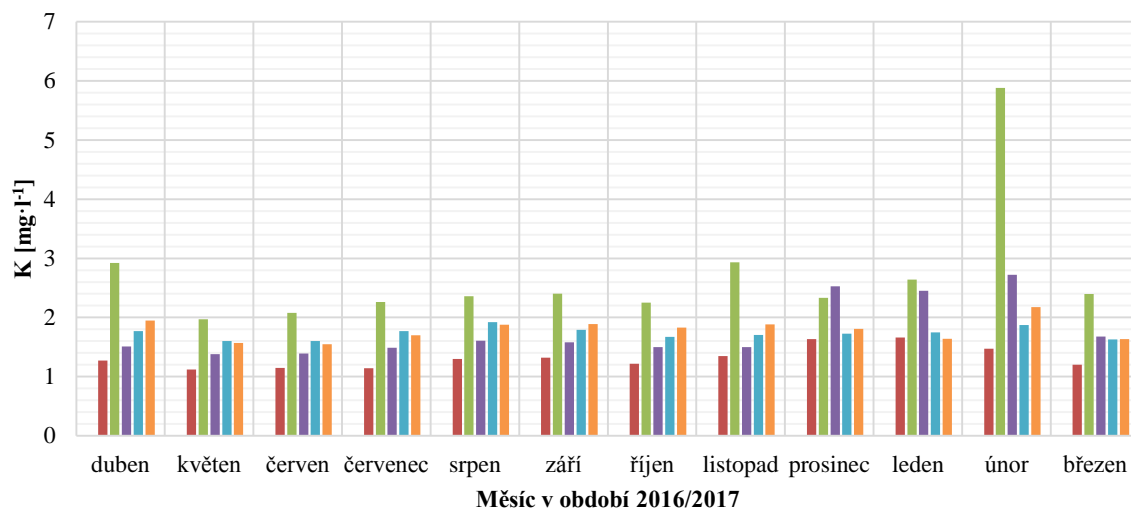
Obr. 17 Souhrnné zobrazení změn koncentrací sodíku

Draslík

Draslík jako jediný ze sledovaných nemá vyhláškou pro pitné vody určený limit. Z důvodu značně vyšší koncentrace draslíku u Studny Malenovice vůči ostatním zdrojům (viz Tabulka 15) nebyl tento zdroj zobrazen do grafu (Obr. 18). Voda ze Studny Malenovice je považována za minerální, proto se natolik liší od ostatních sledovaných. U Studny Štípa a Lesní došlo v zimním období k mírnému nárůstu obsahu draslíku. Hlavním důvodem tohoto jevu se předpokládá zimní zasolování silnic. U ostatních podzemních vod se koncentrace draslíku pohybovaly během roku bez větších výkyvů.

Tabulka 15 Naměřené koncentrace draslíku

Měsíc	K [mg/l]					
	Studna Malenovice	Studna Štípa	Studna Paseky	Studna Lesní	Pramen Příluky	Studna Hlušovice
duben	20,47	1,27	2,92	1,51	1,77	1,95
květen	20,48	1,12	1,97	1,38	1,60	1,57
červen	20,34	1,15	2,08	1,39	1,60	1,55
červenec	24,16	1,14	2,26	1,49	1,77	1,70
srpen	24,39	1,30	2,36	1,61	1,92	1,88
září	27,26	1,32	2,40	1,58	1,79	1,89
říjen	26,46	1,22	2,25	1,50	1,67	1,83
listopad	24,38	1,35	2,94	1,50	1,71	1,89
prosinec	21,12	1,64	2,34	2,53	1,73	1,81
leden	23,05	1,66	2,64	2,45	1,75	1,64
únor	21,65	1,47	5,88	2,72	1,88	2,18
březen	21,85	1,20	2,40	1,68	1,63	1,64



Studna Malenovice není v grafu zobrazena z důvodu až dvacetinásobně vyššího rozdílu hodnot oproti ostatním zdrojům.

- Studna Štípa
- Studna Paseky
- Studna Lesní
- Pramen Příluky
- Studna Hlušovice

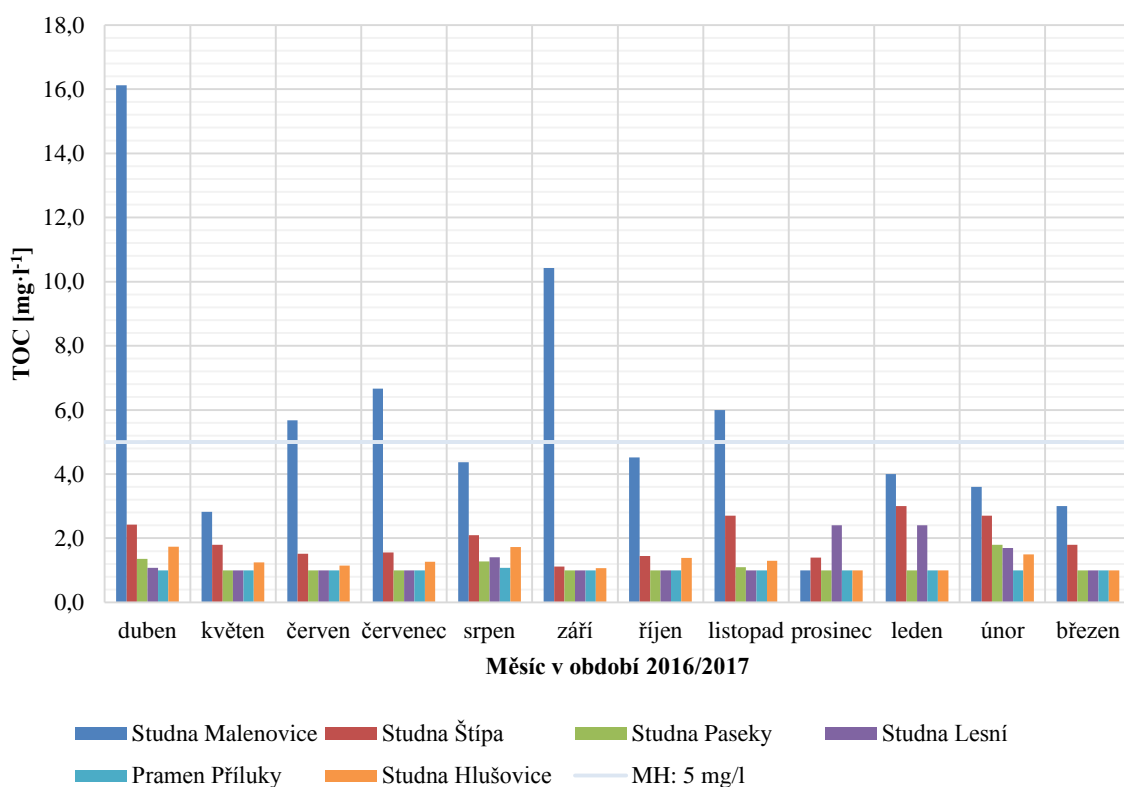
Obr. 18 Souhrnné zobrazení změn koncentrací draslík

4.6. Stanovení celkového organického uhlíku (TOC)

Kromě zdroje Studna Malenovice nepřesáhly pozorované podzemní vody mezní hodnotu $5 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ pro celkový organický uhlík v průběhu roku ani jednou. V Tabulce 16 je zaznamenáno, že Studna Malenovice nevyhovuje limitu v měsíci duben, červen, červenec, září a listopad. Toto znečištění bylo pravděpodobně způsobeno infiltrací vod z nedalekého rybníku. Vyšší koncentrace TOC u Studny Štípa oproti ostatním zdrojům mohly být způsobeny rozkladem těl, jelikož je tato studna vykopána na zdejší hřbitově. Všechny naměřené koncentrace byly znázorněny do Obr. 19.

Tabulka 16 Naměřené koncentrace celkového organického uhlíku

Měsíc	TOC [$\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$]					
	Studna Malenovice	Studna Štípa	Studna Paseky	Studna Lesní	Pramen Příluky	Studna Hlušovice
duben	16,1	2,4	1,4	1,1	<1,0	1,7
květen	2,8	1,8	<1,0	<1,0	<1,0	1,2
červen	5,7	1,5	<1,0	<1,0	<1,0	1,1
červenec	6,7	1,6	<1,0	<1,0	<1,0	1,3
srpen	4,4	2,1	1,3	1,4	1,1	1,7
září	10,4	1,1	<1,0	<1,0	<1,0	1,1
říjen	4,5	1,4	<1,0	<1,0	<1,0	1,4
listopad	6,0	2,7	1,1	<1,0	<1,0	1,3
prosinec	<1,0	1,4	<1,0	2,4	<1,0	<1,0
leden	4	3	<1,0	2,4	<1,0	1
únor	3,6	2,7	1,8	1,7	<1,0	1,5
březen	3	1,8	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0



Obr. 19 Souhrnné zobrazení změn koncentrací celkového organického uhlíku

5. ZÁVĚR

V této bakalářské práci byla shromážděna data jakostních ukazatelů podzemních vod pro pět zdrojů v oblasti Zlína a jednoho z obce Hlušovice. Sledování proběhlo v období jednoho roku, konkrétně od dubna 2016 do března 2017 v měsíčních intervalech. Samotná měření (kromě teploty získané ihned na místě při odběru vzorku) byla prováděna na olomouckém pracovišti Zdravotního ústavu se sídlem v Ostravě. Naměřená data byla porovnána s hygienickými limity ukazatelů jakosti stanovených vyhláškou č. 252/2004 Sb.

Z fyzikálních a organoleptických vlastností byly sledovány teplota, konduktivita a pH, jejichž výsledky jsou uvedeny v Tabulkách 2–4 a vyobrazeny do grafů Obr. 5–7. I když se jednalo o podzemní vody, byl v letních měsících zaznamenán nárůst teploty. Na druhou stranu byla během zimního období potvrzena stálost teploty na průměrných 9,6 °C. U hodnot pH ani u konduktivit nebyly pozorovány žádné výrazné výkyvy. Studna Malenovice je zdrojem minerální vody, což vysvětluje zvýšenou konduktivitu v poměru k ostatním zdrojům.

Z nekovů byly ke sledování vybrány dusičnany, dusitany, chloridy, sírany a amonné ionty. Výsledky těchto ukazatelů lze nalézt v Tabulkách 5–9 a v příslušných grafech (viz Obr. 8 až 12). Koncentrace dusičnanů, chloridů, síranů a amonných iontů se průběhu sledování zásadně neměnily. U dusitanů byly sledovány nárazové výkyvy, ve kterých nebyl pozorován žádný trend. Studna Štípa je situována na hřbitově, což bylo příčinou vyšší koncentrace dusitanů. Za zvýšenou koncentrací amonných iontů ve vodě ze Studny Malenovice stojí lokace studny v blízkosti rybníku. Již dle předpokladu z konduktivity byly u tohoto zdroje také mnohonásobně vyšší koncentrace chloridů.

Mezi sledovanými kovy byly železo, mangan, vápník, hořčík, sodík a draslík. Naměřené hodnoty byly vloženy do Tabulek 10–15 a do grafů Obr. 13–18. Výkyvy obsahu železa ve vodách ze Studny Malenovice a Štípa byly zapříčiněny stavem potrubí pump. Důvodem pro kolísání a vysoké koncentrace manganu byl typ podloží. U vápníku a hořčíku nebyla až na nepravidelné výkyvy objevena žádná závislost na ročním období. Jelikož se Studna Malenovice vyznačuje zvýšenou mineralizací, byly v jejím případě naměřeny značně vyšší koncentrace jak sodíku, tak draslíku. U zdrojů Studna Lesní, Štípa, Paseky

a Malenovice bylo v zimním období dle předpokladu pozorováno navýšení koncentrace sodíku, případně i draslíku z důvodu posypu vozovek.

Celkový organický uhlík (TOC) byl po dobu sledování (kromě Studny Malenovice a Štípa) převážně bez větších výkyvů (viz Tabulka 16 a Obr. 19). U dvou zmiňovaných studen byly zaznamenány nepravidelné nárůsty. Za zvýšený TOC ve vodě ze zdroje Studna Štípa může pravděpodobně rozklad těl na místním hřbitově. Do Studny Malenovice dochází k infiltraci znečištěné vody z nedalekého rybníka.

Na základě analýz nebyla vyjma teploty pozorována závislost jakostních ukazatelů na ročním období. Pro pitné účely lze využívat na vlastní nebezpečí pouze Pramen Příluky, u kterého byly na zakázku města Zlína prováděny krom chemických i mikrobiologická měření. Jelikož mnou prováděná vyšetření byla z finančních důvodů pouze chemického charakteru, nelze bezpečně ostatní zdroje označit za pitné.

6. SUMMARY

In this bachelor thesis data of groundwater quality parameters were collected. There were five sources in Zlín area and one from Hlušovice. During April 2016 to March 2017 the samples were analysed monthly. The parameters (except temperature measured immediately after water sampling) were measured in Health Institute of Ostrava, in Olomouc laboratories. Obtained data were compared with the required limits for drinking water mentioned in the Decree No. 252/2004.

There were physical and organoleptic parameters included temperature, conductivity and pH. The results of testing are shown into Table 2–4 and interpreted by the graphs Fig. 5–7. In spite of groundwater table depth, temperature increased because of the weather especially during summer season. On the other hand, during winter time temperature was stable on average 9.6°C. Results of pH and conductivity showed no significant difference between lowest and highest values. Well in Malenovice is a source of mineral water. That is the reason why conductivity numbers were higher than other's.

From a non-metal category were chosen and monitored nitrate, nitrite, chloride, sulphate and ammonium ion. Results of these parameters can be found in the Tables 5–9 or graphs (see Fig. 8 to 12). Concentration of nitrate, chloride, sulphate and ammonium ion did not significantly change during the year monitoring. In nitrite changes were found no trending relation. The higher concentrations of nitrite in the well in Štípa were measured because this source is situated in the cemetery. There were detected higher concentrations of ammonium ion in well in Malenovice. This fact could be caused by water infiltration from near pond. As the conductivity predicted, there were higher concentrations of chloride too.

In this thesis were also monitored metal elements as iron, manganese, calcium, magnesium, sodium and potassium. Tables 10–15 and Fig. 13–18 show the results of analyses. The fluctuation of iron concentrations determines bad pump condition. Manganese fluctuations were caused by subsoil. Also, there was not confirmed any reliability between season and concentration of calcium or magnesium. Higher amount of calcium and magnesium was detected in mineral water from well in Malenovice. Some

groundwater sources e.g. well in Lesní, Štípa, Paseky and Malenovice had higher concentrations of sodium and potassium because of road salt used to melt ice in the winter.

In Total Organic Carbon (TOC) results in Table 16 and Fig. 19 were not found any important fluctuations (except well in Malenovice and in Štípa). The two mentioned wells showed odd increase. In case of well in Štípa located on cemetery it could be caused by human bodies decay. Well in Malenovice's groundwater collector was influenced by polluted water from near pond.

Any dependence on year season (except temperature) was not confirmed, based on the analyses. According to the microbiological (provided by another laboratory) and chemical tests, only the spring of water Příluky could be used as a drinking water on your own peril. Unfortunately, because of financial reasons, this thesis was dealt with water chemical parameters only. So, the rest of sources cannot be determined as a drinkable.

7. LITERATURA

- [1] MANAHAN, Stanley E. *Environmental chemistry*. 9th ed. Boca Raton, Fla.: CRC Press, Taylor & Francis Group, c2010, xxix, 753 s. ISBN 978-1-4200-5920-5.
- [2] KITNER, Zdeněk. *Chemie vody a atmosféry*. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 1974, 142 s.
- [3] KRÁL, Jaroslav. *Chemie vody*. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1974, 182 s.
- [4] EVANS, John; PERLMAN, Howard. U.S. Geological Survey [online]. [cit. 7.8.2016]. Dostupné z: <http://water.usgs.gov/edu/watercyclezech.html>.
- [5] PITTER, Pavel. *Hydrochemie*. 4., aktualiz. vyd. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2009, viii, 579 s. ISBN 978-80-7080-701-9.
- [6] KRÍŽ, Hubert. *Hydrologie podzemních vod*. Praha: Academia, 1983, 289 s.
- [7] PITTER, Pavel. *Výpočet celkové mineralizace a její význam v hydrochemii*. Chemické listy. 1998, 92(10), 772 - 776. ISSN 1213-7103. [cit. 22.8.2016]. Dostupné z: http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/1998_10_772-776.pdf.
- [8] HYNIE, Ota. *Hydrogeologie ČSSR*. [Díl] 1, Prosté vody. Praha: Nakladatelství Československé akademie věd, 1961, 562 s.
- [9] Vyhláška Ministerstva zdravotnictví České republiky č. 252/2004 Sb. ze dne 22. dubna 2004, kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody. [cit. 6.8.2016]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2004-252>.
- [10] KAMENÍČEK, Jiří; ŠINDELÁŘ, Zdeněk; PASTOREK, Richard; KAŠPÁREK, František. *Anorganická chemie*. 4. vyd. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2009, 316 s. Skripta. ISBN 9788024423876.
- [11] GREENWOOD, N. N.; JURŠÍK, František; EARNSHAW, Alan. *Chemie prvků*. Praha: Informatorium, 1993. ISBN 80-85427-38-9.
- [12] QWERTER. Commons.wikimedia.org [online]. 5. Listopad 2006 [cit. 22.10.2016]. Dostupný pod licencí Creative Commons na: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Vodikove_mustky_kalotovy_model.jpg#file_history.

- [13] CHAPLIN, Martin. Water Structure and Science [online]. 2016-06-12 [cit. 14. 8. 2016]. Dostupné z: http://www1.lsbu.ac.uk/water/water_structure_science.html.
- [14] KLIKORKA, Jiří; HÁJEK, Bohumil; VOTINSKÝ, Jiří. *Obecná a anorganická chemie*. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1985, 591 s.
- [15] HORÁKOVÁ, Marta. *Analytika vody*. Vyd. 2., opr. a rozš. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická, 2003, 335 s. ISBN 80-7080-520-X.
- [16] LISCHKE, Peter; GRÜNWARD, Alexander; HORÁKOVÁ, Marta. *Chemické a fyzikální metody analýzy vod*. 2. nezm. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1989, 389 s.
- [17] Turistický informační portál města Zlína [online]. Zlín, 2016-04-30 [cit. 19.2.2017]. Dostupné z: <http://www.ic-zlin.cz/>.
- [18] Mapy.cz [online]. [cit. 19.2.2017]. Dostupné z: <https://mapy.cz/zemepisna>.
- [19] SOP OV 064 (návody firmy Thermo Scientific) Stanovení amonných iontů (NH_4^+) fotometricky automatickým analyzátozem a amoniakálního dusíku (N-NH_4^+) výpočtem z naměřených hodnot. Praha: Český normalizační institut. V aktuálním znění.
- [20] SOP OV 064.03 (návody firmy Thermo Scientific) Stanovení dusičnanů (NO_3^-) fotometricky automatickým analyzátozem a dusičnanového dusíku (N-NO_3^-) výpočtem z naměřených hodnot. Praha: Český normalizační institut. V aktuálním znění.
- [21] SOP OV 064.04 (návody firmy Thermo Scientific) Stanovení dusitanů (NO_2^-) fotometricky automatickým analyzátozem a dusitanového dusíku (N-NO_2^-) výpočtem z naměřených hodnot. Praha: Český normalizační institut. V aktuálním znění.
- [22] SOP OV 064.05 (návody firmy Thermo Scientific) Stanovení chloridů fotometricky automatickým analyzátozem. Praha: Český normalizační institut. V aktuálním znění.
- [23] SOP OV 064.06 (návody firmy Thermo Scientific) Stanovení síranů fotometricky automatickým analyzátozem. Praha: Český normalizační institut. V aktuálním znění.
- [24] NĚMCOVÁ, Irena; ČERMÁKOVÁ, Ludmila; RYCHLOVSKÝ, Petr. *Spektrometrické analytické metody*. 2. vyd. Praha: Karolinum, 2004, 166 s. ISBN 802460776X.

- [25] *Inductively coupled plasma mass spectrometry handbook*. Editor Simon M. NELMS. Oxford: Blackwell Publishing, 2005, xv, 485 s. ISBN 1-4051-0916-5.
- [26] SOP OV 201 (ČSN EN ISO 17294-1, ČSN EN ISO 17294-2) Jakost vod – Použití hmotnostní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem (ICP-MS) – Část 1: Všeobecné směrnice, Část 2: Stanovení 62 prvků; Český normalizační institut, Praha 2005.
- [27] SOP OV 307 (ČSN EN ISO 1484) Jakost vod – Stanovení celkového organického uhlíku (TOC) a rozpuštěného organického uhlíku (DOC); Český normalizační institut, Praha 1998.

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

CHSK_{Mn} – chemická spotřeba kyslíku (stanovení manganistanem draselným)

ČSN – česká technická norma

DH – doporučená hodnota

κ – konduktivita

KTJ – kolonie tvořící jednotka

MH – mezní hodnota

NMH – nejvyšší mezní hodnota

NO₂⁻ - dusitany

NO₃⁻ - dusičnany

SOP – standardní operační postup

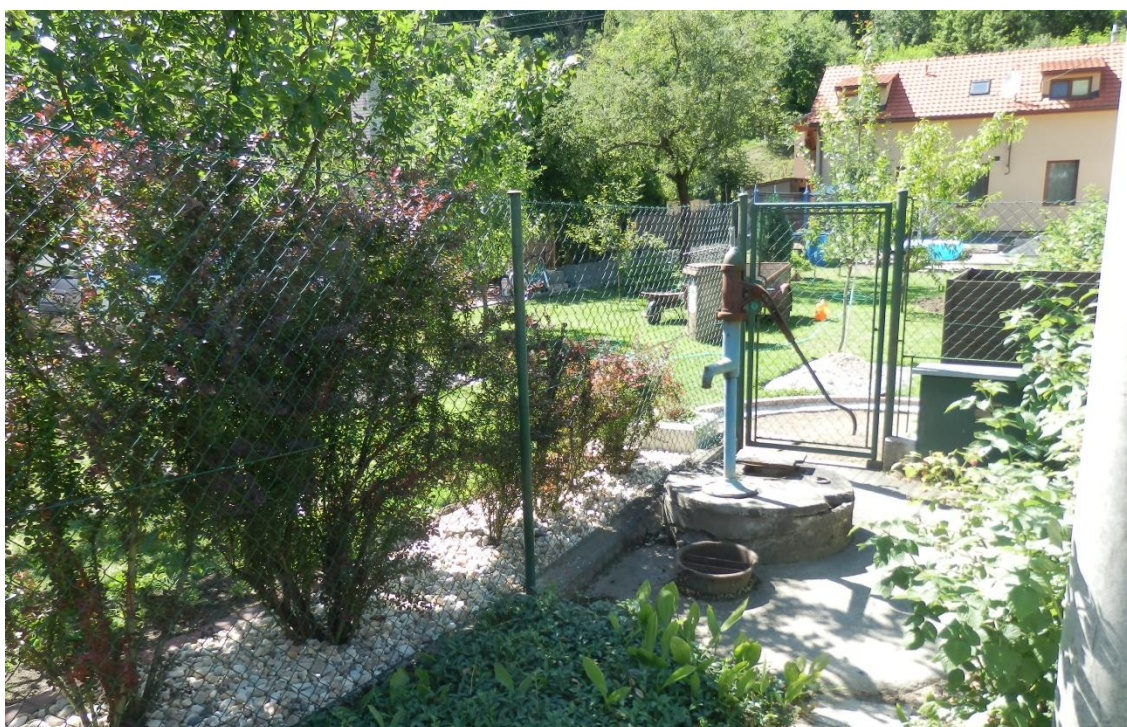
TOC – celkový organický uhlík

PŘÍLOHY

Příloha 1 – Fotografie studen



Obr. 20 Studna Malenovice



Obr. 21 Studna Paseky



Obr. 22 Studna Štípa



Obr. 23 Studna Lesní



Obr. 24 Pramen Příkladky



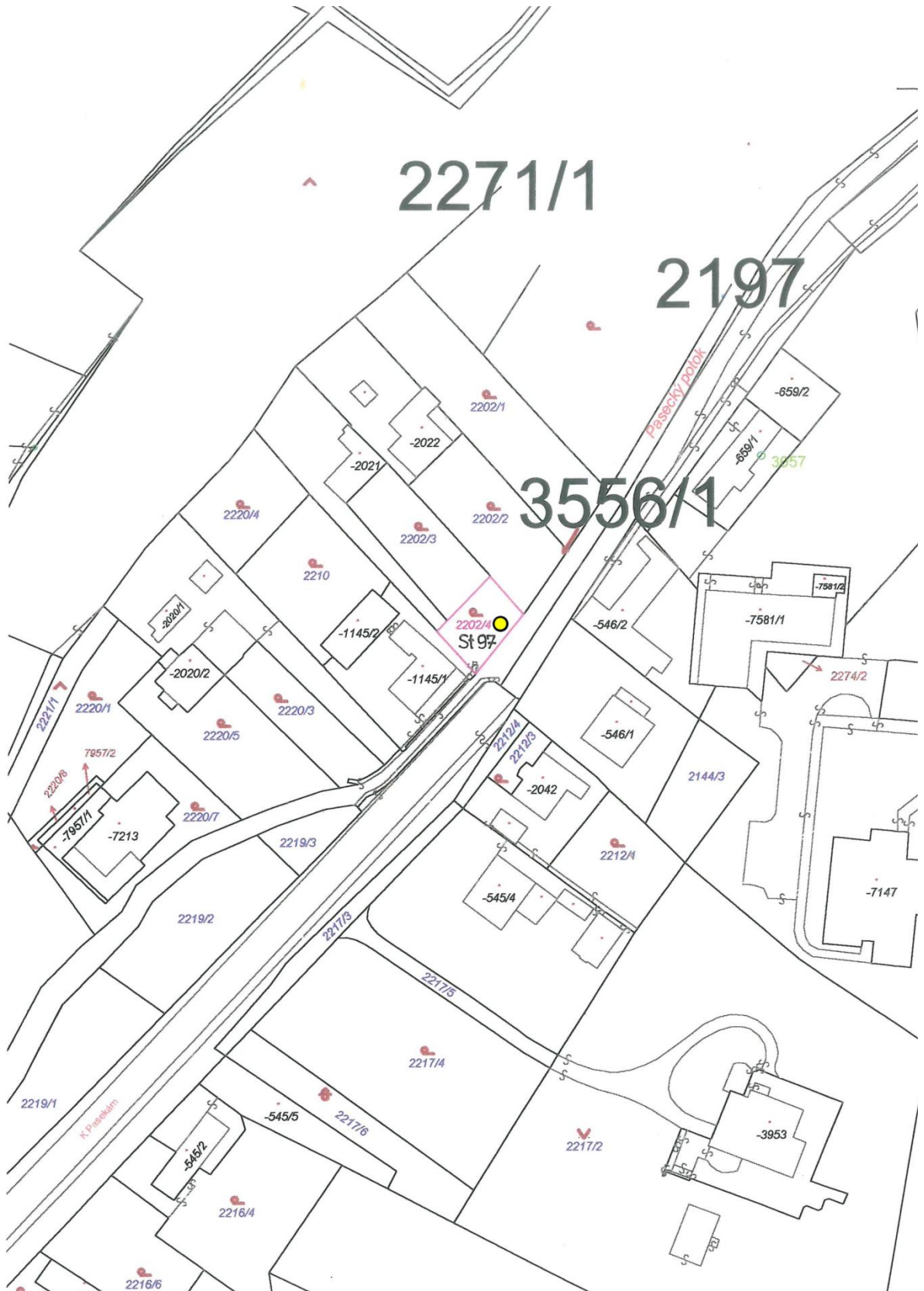
Obr. 25 Studna Hlušovice

Příloha 2 – Kopie katastrálních map

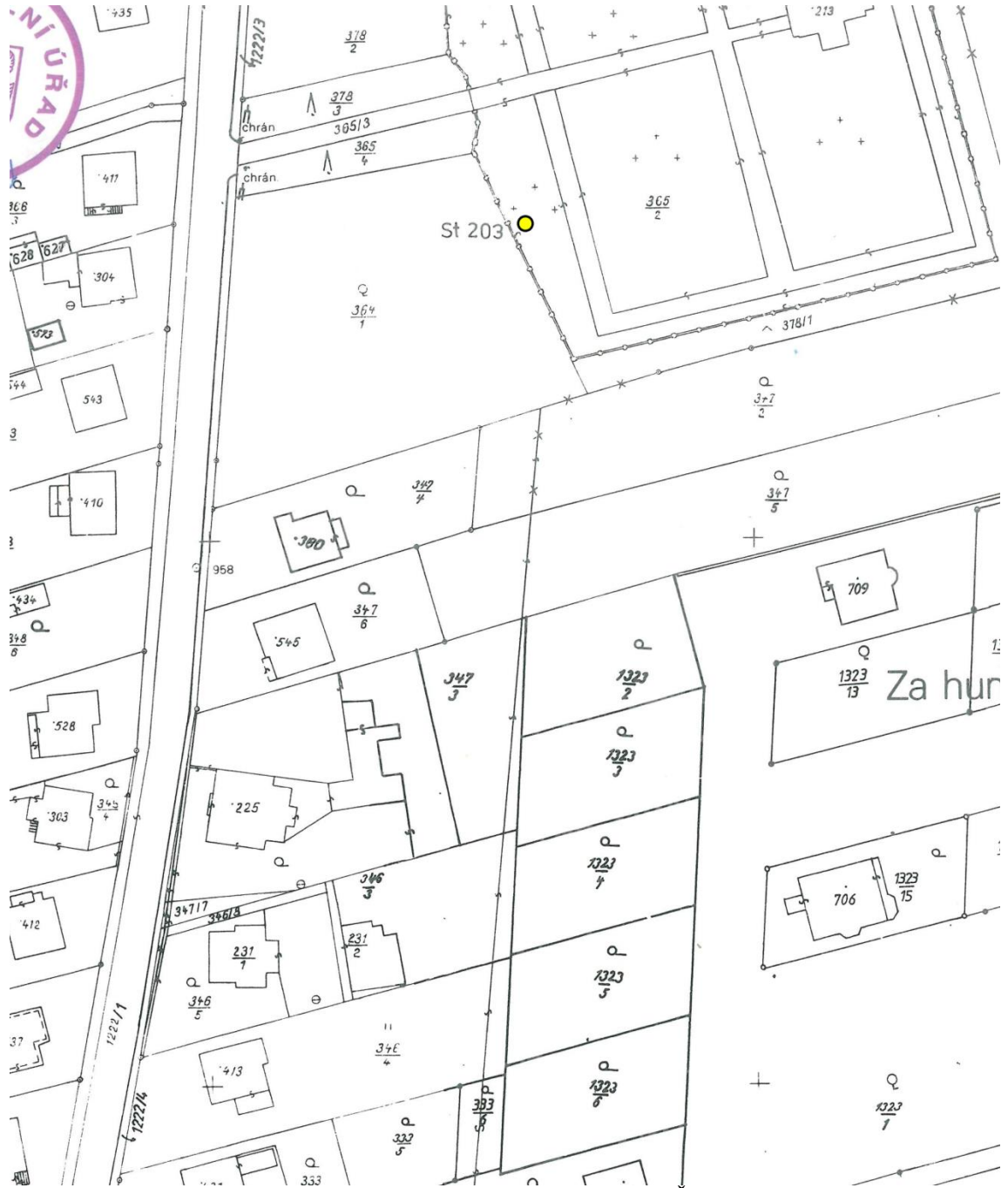
Studny jsou na mapách označeny žlutým bodem: ●



Obr. 26 Katastrální mapa – studna Malenovice



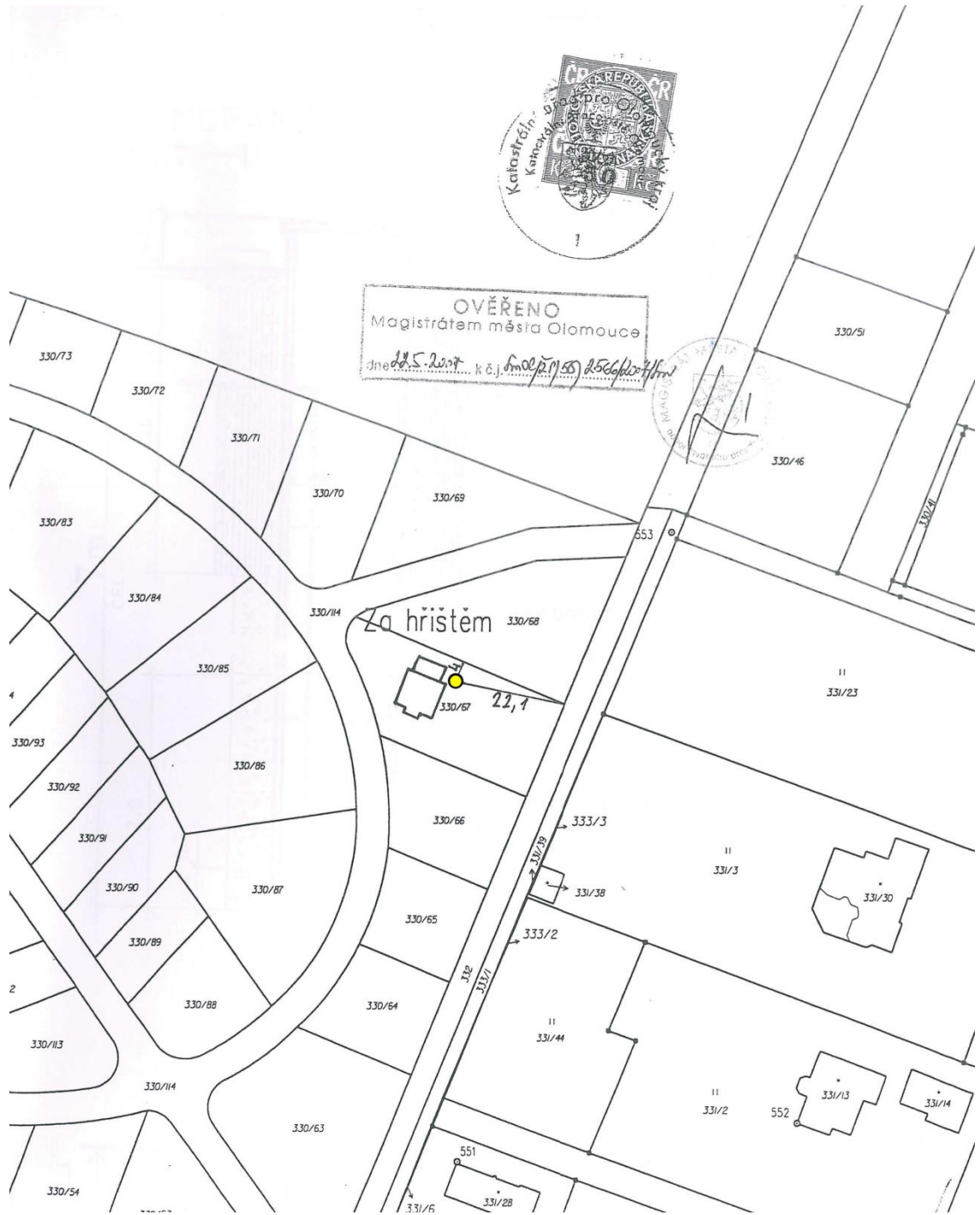
Obr. 27 Katastrální mapa – studna Paseky



Obr. 28 Katastrální mapa – studna Štípa



Obr. 29 Katastrální mapa – studna Lesní



Obr. 30 Katastrální mapa – studna Hlušovice


Příloha 3 – Doplnkové informace o stavu vzorků a okolí během odběrů

Tabulka 17 Teplota okolí během odběrů a posouzení vzorků

Měsíc a rok	Místo, počasí			Jiná hodnocení
Duben 2016	Zlín	13 °C	oblačno	vzorky Malenovice a Štípa lehce nažloutlé
	Hlušovice	12,7 °C	oblačno po dešti	
Květen 2016	Zlín	18 °C	oblačno	vzorky Malenovice a Štípa lehce nažloutlé
	Hlušovice	17 °C	oblačno	
Červen 2016	Zlín	24 °C	polojasno (den před déšť)	vzorky Malenovice a Štípa lehce nažloutlé; vzorek Malenovice zápach po zkažených vejcích
	Hlušovice	18,6 °C	oblačno, polojasno	
Červenec 2016	Zlín	22 °C	slunečno	vzorky Malenovice a Štípa lehce nažloutlé; vzorek Malenovice zápach po zkažených vejcích
	Hlušovice	15,6 °C	slunečno, jasno	
Srpen 2016	Zlín	21 °C	oblačno	vzorky Štípa a Lesní lehce nažloutlé; vzorek Malenovice zápach po zkažených vejcích
	Hlušovice	11,9 °C	oblačno	
Září 2016	Zlín	22 °C	polojasno	vzorky Malenovice a Štípa lehce nažloutlé; vzorek Malenovice zápach po zkažených vejcích
	Hlušovice	15 °C	jasno	
Říjen 2016	Zlín	8 °C	oblačno, mrholení	vzorky Malenovice a Štípa lehce nažloutlé; vzorek Malenovice zápach po zkažených vejcích;
	Hlušovice	8 °C	zataženo větrno	
Listopad 2016	Zlín	13 °C	oblačno	vzorky Štípa a Paseky lehce nažloutlé; vzorek Malenovice zápach po zkažených vejcích
	Hlušovice	9,4 °C	oblačno, zataženo	
Prosinec 2016	Zlín	-1 °C	oblačno	vzorky Malenovice a Štípa lehce nažloutlé
	Hlušovice	-2 °C	zataženo	
Leden 2017	Zlín	-4 °C	zataženo	vzorky Malenovice a Štípa lehce nažloutlé
	Hlušovice	-5 °C	polojasno, sněží	
Únor 2017	Zlín	10 °C	oblačno	vzorky Štípa a Paseky lehce nažloutlé; vzorek Paseky nepříjemný zápach
	Hlušovice	8 °C	polojasno	
Březen 2017	Zlín	12 °C	slunečno	vzorky Štípa a Paseky lehce nažloutlé; vzorek Paseky a Malenovice zápach
	Hlušovice	2,0 °C	jasno	

Příloha 4 – Rozbory Pramen Příluky

Rozbory vody Prameně Příluky byly prováděny 4x ročně Zdravotním ústavem se sídlem v Ostravě na základě objednávky města Zlína. Kompletní výsledky viz Obr. 31–34 byly se svolením Magistrátu města Zlína použity k porovnání s mími.

	Zdravotní ústav se sídlem v Ostravě Centrum hygienických laboratoří Zkušební laboratoř č. 1393 akreditovaná ČIA podle ČSN EN ISO/IEC 17025 Partyzánské náměstí 7, 702 00 Ostrava
	PROTOKOL č. 22864/2016

Zákazník : Statutární město Zlín
 Odbor životního prostředí a zemědělství
 náměstí Míru 12
 761 40 Zlín

Číslo zakázky : 14704
 Příjem vzorku : 2.5.2016 14:00
 Vyšetření vzorku : 2.5.2016 - 6.5.2016
 Číslo jednací : ZU/00827/2016
 Číslo spisu : S-ZU/00827/2016
 Spisový znak : 4.0.3

Číslo objednávky : O170160004

Vzorek číslo :	45511	Čas odběru :	13:40
Datum odběru :	2.5.2016		
Název vzorku :	pitná voda		
Množství vzorku :	1,6 l		
Místo odběru :	Příluky, pramen, u točny MHD		
Matrice :	voda pitná		
Vzorkoval :	Panáček Miroslav		
Metoda vzork. :	SOP VZ OV 001 (ČSN EN ISO 5667-1, ČSN EN ISO 5667-3; ČSN ISO 5667-5, ČSN ISO 5667-14; ČSN EN ISO 19458, ČSN ISO 11731)		
Způsob odběru :	bodový vzorek		
Účel odběru :	kontrolní		

Místní měření

Ukazatel	Hodnota	Jednotka	*Limit	TYP	Použitá metoda	Nejistota
teplota vzorku	9,9	°C	-	A	SOP OV 042	±1°C
pH	7,1		6,5 - 9,5	A	SOP OV 033	±0,3 i.pH

Výsledky zkoušení - chemické vyšetření

Ukazatel	Hodnota	Jednotka	*Limit	TYP	Použitá metoda	Nejistota
amonné ionty	<0,050	mg/l	max. 0,50	A	SOP OV 064 ²	-
barva	<2	mg/l Pt	max. 20	A	SOP OV 064.02 ²	-
dušičnany	<2,0	mg/l	max. 50	A	SOP OV 064.03 ²	-
dusitany	<0,020	mg/l	max. 0,50	A	SOP OV 064.04 ²	-
CHSK-Mn	<0,50	mg/l	max. 3,0	A	SOP OV 016 ²	-
chuť	přijatelná		přijatelná	A	SOP OV 062 ²	-
elektrická vodivost (25°C)	61,3	mS/m	max. 125	A	SOP OV 011 ²	±10%
pach	přijatelný		přijatelný	A	SOP OV 062 ²	-
Ca + Mg (tvrdost)	3,14	mmol/l	2,0 - 3,5	A	SOP OV 201.01 ²	±20%
zákal	0,4	ZF(n)	max. 5	A	SOP OV 044.01 ²	±20%
Fe (železo)	0,0450	mg/l	max. 0,20	A	SOP OV 201.01 ²	±20%

Výsledky zkoušení - mikrobiologické vyšetření

Ukazatel	Hodnota	Jednotka	*Limit	TYP	Použitá metoda	Nejistota
Escherichia coli	0	KTJ/100ml	max. 0	A	SOP OV 900 ²	-
koliformní bakterie	0	KTJ/100ml	max. 0	A	SOP OV 900 ²	-
počty kolonií při 22°C	0	KTJ/ml	max. 2x10 ²	A	SOP OV 908 ²	-
počty kolonií při 36°C	0	KTJ/ml	max. 40	A	SOP OV 908 ²	-

Obr. 31 Rozbor Prameně Příluky – květen 2016



Zdravotní ústav se sídlem v Ostravě
 Centrum hygienických laboratoří
 Zkušební laboratoř č. 1393 akreditovaná ČIA podle ČSN EN ISO/IEC 17025:2005
 Partyzánské náměstí 7, 702 00 Ostrava

PROTOKOL č. 44631/2016

Zákazník : Statutární město Zlín
 Odbor životního prostředí a zemědělství
 náměstí Míru 12
 761 40 Zlín

Číslo zakázky : 28433
 Příjem vzorku : 11.8.2016 13:30
 Vyšetření vzorku : 11.8.2016 - 15.8.2016
 Číslo jednací : ZU/00827/2016
 Číslo spisu : S-ZU/00827/2016
 Spisový znak : 4.0.3

Číslo objednávky : O170160004

Vzorek číslo :	88923	Čas odběru : 11:45
Datum odběru :	11.8.2016	
Název vzorku :	pitná voda	
Množství vzorku :	1,6 l	
Místo odběru :	Přiluky, pramen, u točny MHD	
Matrice :	voda pitná	
Vzorkoval :	Panáček Miroslav	
Metoda vzork. :	SOP VZ OV 001 (ČSN EN ISO 5667-1, ČSN EN ISO 5667-3; ČSN ISO 5667-5, ČSN ISO 5667-14; ČSN EN ISO 19458, ČSN ISO 11731)	
Způsob odběru :	bodový vzorek	
Účel odběru :	kontrolní	

Místní měření

Ukazatel	Hodnota	Jednotka	*Limit	TYP	Použitá metoda	Nejistota
teplota vzorku	10,8	°C	-	A	SOP OV 042	±1°C
pH	7,3		6,5 - 9,5	A	SOP OV 033	±0,3 i.pH

Výsledky zkoušení - chemické vyšetření

Ukazatel	Hodnota	Jednotka	*Limit	TYP	Použitá metoda	Nejistota
amonné ionty	<0,050	mg/l	max. 0,50	A	SOP OV 064 ²	-
barva	<2	mg/l Pt	max. 20	A	SOP OV 064.02 ²	-
dusičnany	<2,0	mg/l	max. 50	A	SOP OV 064.03 ²	-
dusitany	<0,020	mg/l	max. 0,50	A	SOP OV 064.04 ²	-
CHSK-Mn	<0,50	mg/l	max. 3,0	A	SOP OV 016 ²	-
chuť	přijatelná		přijatelná	A	SOP OV 062 ²	-
elektrická vodivost (25°C)	60,6	mS/m	max. 125	A	SOP OV 011 ²	±10%
pach	přijatelný		přijatelný	A	SOP OV 062 ²	-
Ca + Mg (tvrdost)	3,14	mmol/l	-	A	SOP OV 201.01 ²	±20%
zákal	0,4	ZF(n)	max. 5	A	SOP OV 044.01 ²	±20%
Fe (železo)	0,0540	mg/l	max. 0,20	A	SOP OV 201.01 ²	±20%

Výsledky zkoušení - mikrobiologické vyšetření

Ukazatel	Hodnota	Jednotka	*Limit	TYP	Použitá metoda	Nejistota
Escherichia coli	0	KTJ/100ml	max. 0	A	SOP OV 900 ²	-
koliformní bakterie	0	KTJ/100ml	max. 0	A	SOP OV 900 ²	-
počty kolonií při 22°C	0	KTJ/ml	max. 2x10 ²	A	SOP OV 908 ²	-
počty kolonií při 36°C	0	KTJ/ml	max. 40	A	SOP OV 908 ²	-

Obr. 32 Rozbor Pramene Přiluky – srpen 2016



Zdravotní ústav se sídlem v Ostravě
Centrum hygienických laboratoří
Zkušební laboratoř č. 1393 akreditovaná ČIA podle ČSN EN ISO/IEC 17025:2005
Partyzánské náměstí 7, 702 00 Ostrava

PROTOKOL č. 62448/2016

Zákazník : Statutární město Zlín
Odbor životního prostředí a zemědělství
náměstí Míru 12
761 40 Zlín

Číslo zakázky : 39003
Přijem vzorku : 1.11.2016 14:30
Vyšetření vzorku : 1.11.2016 - 5.11.2016
Číslo jednací : ZU/00827/2016
Číslo spisu : S-ZU/00827/2016
Spisový znak : 4.0.3

Číslo objednávky : O170160004

Vzorek číslo :	120747	Čas odběru :	13:50
Datum odběru :	1.11.2016	Název vzorku :	pitná voda
Množství vzorku :	1,6 l	Místo odběru :	Přiluky, pramen, u točny MHD
Matrice :	voda pitná	Vzorkoval :	Panáček Miroslav
Metoda vzork. :	SOP VZ OV 001 (ČSN EN ISO 5667-1, ČSN EN ISO 5667-3; ČSN ISO 5667-5, ČSN ISO 5667-14; ČSN EN ISO 19458, ČSN ISO 11731)		
Způsob odběru :	bodový vzorek		
Účel odběru :	kontrolní		

Místní měření

Ukazatel	Hodnota	Jednotka	*Limit	TYP	Použitá metoda	Nejistota
teplota vzorku	9,2	°C	-	A	SOP OV 042	±1°C
pH	7,1		6,5 - 9,5	A	SOP OV 033	±0,3 i,pH

Výsledky zkoušení - chemické vyšetření

Ukazatel	Hodnota	Jednotka	*Limit	TYP	Použitá metoda	Nejistota
amonné ionty	<0,050	mg/l	max. 0,50	A	SOP OV 064 ²	-
barva	<2	mg/l Pt	max. 20	A	SOP OV 064.02 ²	-
dušičnany	<2,0	mg/l	max. 50	A	SOP OV 064.03 ²	-
dušitany	<0,020	mg/l	max. 0,50	A	SOP OV 064.04 ²	-
CHSK-Mn	<0,50	mg/l	max. 3,0	A	SOP OV 016 ²	-
chuť	přijatelná		přijatelná	A	SOP OV 062 ²	-
elektrická vodivost (25°C)	61,1	mS/m	max. 125	A	SOP OV 011 ²	±10%
pach	přijatelný		přijatelný	A	SOP OV 062 ²	-
Ca + Mg (tvrdost)	3,20	mmol/l	-	A	SOP OV 201.01 ²	±20%
zákal	0,4	ZF(n)	max. 5	A	SOP OV 044.01 ²	±20%
Fe (železo)	0,0420	mg/l	max. 0,20	A	SOP OV 201.01 ²	±20%

Výsledky zkoušení - mikrobiologické vyšetření

Ukazatel	Hodnota	Jednotka	*Limit	TYP	Použitá metoda	Nejistota
Escherichia coli	0	KTJ/100ml	max. 0	A	SOP OV 900 ²	-
koliformní bakterie	0	KTJ/100ml	max. 0	A	SOP OV 900 ²	-
počty kolonií při 22°C	0	KTJ/ml	max. 2x10 ²	A	SOP OV 908 ²	-
počty kolonií při 36°C	0	KTJ/ml	max. 40	A	SOP OV 908 ²	-

Obr. 33 Rozbor Pramene Přiluky – listopad 2016



Zdravotní ústav se sídlem v Ostravě
Centrum hygienických laboratoří
Zkušební laboratoř č. 1393 akreditovaná ČIA podle ČSN EN ISO/IEC 17025:2005
Partyzánské náměstí 7, 702 00 Ostrava

PROTOKOL č. 8843/2017

Zákazník : Statutární město Zlín
náměstí Míru 12
761 40 Zlín

Číslo zakázky : 5881
Příjem vzorku : 28.2.2017 13:33
Vyšetření vzorku : 28.2.2017 - 6.3.2017
Číslo jednací : ZU/01581/2017
Číslo spisu : S-ZU/01581/2017
Spisový znak : 4.0.3

Číslo objednávky : 0170170006

Vzorek číslo :	19114	Čas odběru :	12:30
Datum odběru :	28.2.2017		
Název vzorku :	pitná voda		
Množství vzorku :	1,6 l		
Místo odběru :	Přiluky, pramen, u točny MHD		
Matrice :	voda pitná		
Vzorkoval :	Panáček Miroslav		
Metoda vzork. :	SOP VZ OV 001 (ČSN EN ISO 5667-1, ČSN EN ISO 5667-3; ČSN ISO 5667-5, ČSN ISO 5667-14; ČSN EN ISO 19458, ČSN ISO 11731)		
Způsob odběru :	bodový vzorek		
Účel odběru :	kontrolní		

Místní měření

Ukazatel	Hodnota	Jednotka	*Limit	TYP	Použitá metoda	Nejistota
teplota vzorku	10,4	°C	-	A	SOP OV 042	±1°C
pH	7,2		6,5 - 9,5	A	SOP OV 033	±0,3 i,pH

Výsledky zkoušení - chemické vyšetření

Ukazatel	Hodnota	Jednotka	*Limit	TYP	Použitá metoda	Nejistota
amonné ionty	<0,050	mg/l	max. 0,50	A	SOP OV 064 ²	-
barva	<2	mg/l Pt	max. 20	A	SOP OV 064.02 ²	-
dusičnany	<2,0	mg/l	max. 50	A	SOP OV 064.03 ²	-
dusitany	<0,020	mg/l	max. 0,50	A	SOP OV 064.04 ²	-
CHSK-Mn	<0,50	mg/l	max. 3,0	A	SOP OV 016 ²	-
chuť	přijatelná		přijatelná	A	SOP OV 062 ²	-
elektrická vodivost (25°C)	61,2	mS/m	max. 125	A	SOP OV 011 ²	±10%
pach	přijatelný		přijatelný	A	SOP OV 062 ²	-
Ca + Mg (tvrdost)	2,99	mmol/l	-	A	SOP OV 201.01 ²	±20%
zákal	0,60	ZF(n)	max. 5	A	SOP OV 044.01 ²	±20%
Fe (železo)	0,0520	mg/l	max. 0,20	A	SOP OV 201.01 ²	±20%

Výsledky zkoušení - mikrobiologické vyšetření

Ukazatel	Hodnota	Jednotka	*Limit	TYP	Použitá metoda	Nejistota
Escherichia coli	0	KTJ/100ml	max. 0	A	SOP OV 900 ²	-
koliformní bakterie	0	KTJ/100ml	max. 0	A	SOP OV 900 ²	-
počty kolonií při 22°C	0	KTJ/ml	max. 200	A	SOP OV 908 ²	-
počty kolonií při 36°C	0	KTJ/ml	max. 40	A	SOP OV 908 ²	-

Obr. 34 Rozbor Pramene Přiluky – únor 2017

Příloha 5 – Porovnání a shrnutí výsledků pro Pramen Příluky

Pramen Příluky byl během mého měřicího období podroben také rozborům pracovištěm Zdravotního ústavu se sídlem v Ostravě. Tabulka 18 proto navzájem porovnává mnou naměřené výsledky na pracovišti v Olomouci s výsledky objednanými městem Zlínem měřeními v Ostravě pro daný měsíc. V tabulce jsou taktéž shrnuty výsledky mikrobiologických vyšetření z ostravského pracoviště, které ale již nebyly předmětem mého sledování. Pokud některý z výsledků nevyhovoval limitu, byl v tabulce vyznačen tučně.

Tabulka 18 Porovnání výsledků chemického vyšetření a shrnutí mikrobiologického vyšetření pro Pramen Příluky

Ukazatel	Jednotka	Pracoviště	Měsíc a rok			
			květen 2016	srpen 2016	listopad 2016	únor 2017
Teplota	°C	Olomouc	10	12	11	11
		Ostrava	9,9	10,8	9,2	10,4
pH	-	Olomouc	7,40	7,39	7,29	7,32
		Ostrava	7,1	7,3	7,1	7,2
Konduktivita	mS·m ⁻¹	Olomouc	59,5	60,2	59,5	60,1
		Ostrava	61,3	60,6	61,1	61,2
Dusičnany	mg·l ⁻¹	Olomouc	<2,0	3,6	<2,0	<2,0
		Ostrava	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0
Dusitany	mg·l ⁻¹	Olomouc	<0,02	0,037	<0,02	<0,02
		Ostrava	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Amonné ionty	mg·l ⁻¹	Olomouc	<0,04	0,059	<0,04	<0,04
		Ostrava	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Železo	mg·l ⁻¹	Olomouc	0,0377	0,214	0,040	0,103
		Ostrava	0,045	0,054	0,042	0,052
TOC	mg·l ⁻¹	Olomouc	<1,0	1,1	<1,0	<1,0
CHSK _{Mn}		Ostrava	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50
Escherichia coli	KTJ/100ml*	Ostrava	0	0	0	0
Koliformní bakterie	KTJ/100ml		0	0	0	0
Počty kolonií při 22 °C	KTJ/ml		0	0	0	0
Počty kolonií při 36 °C	KTJ/ml		0	0	0	0

* zkr. KTJ – kolonie tvořící jednotka