

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI

PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA

Katedra fyzikální chemie



**Sledování vybraných kvalitativních ukazatelů podzemních vod
v oblasti Mohelnicka**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Autor:

Michaela Reblová

Studijní obor:

Aplikovaná chemie

Forma studia:

Prezenční

Vedoucí práce:

doc. RNDr. Taťjana Nevěčná, CSc.

Olomouc 2015

Bibliografická identifikace:

Autor:	Michaela Reblová
Název práce:	Sledování vybraných kvalitativních ukazatelů podzemních vod v oblasti Mohelnicka
Typ práce:	Bakalářská
Vedoucí práce:	doc. RNDr. Taťjana Nevěčná, CSc.
Pracoviště:	Zdravotní ústav se sídlem v Ostravě a Centrum hygienických laboratoří v Olomouci
Rok obhajoby práce:	2015
Abstrakt:	Cílem této bakalářské práce bylo sledování některých ukazatelů především anorganických, které ovlivňují podzemní vody. Bylo vybráno šest studní, které leží v blízkosti města Mohelnice. U nich byly stanoveny – pH, konduktivita, chloridy, sírany, dusičnany, amonné ionty, některé vybrané prvky a z organických ukazatelů TOC. Byl proveden popis studny a zaznamenán do mapy. Nakonec byly jednotlivé hodnoty porovnány s dalšími naměřenými hodnotami.
Klíčová slova:	Podzemní voda, vzorky vody, studny,
Počet stran:	64
Počet příloh:	3
Jazyk:	Český

Bibliographical identification:

Autor:	Michaela Reblová
Title:	Observation of the selected qualitative indicators of undergroundwater in the Mohelnice area
Type of thesis:	Bachelor
Supervisor:	doc. RNDr. Tat'jana Nevěčná, CSc.
Department:	Health Institute in Ostrava and Centre of Hygienic Laboratories in Olomouc
The year of presentation:	2015
Abstract:	<p>The aim of this Bachelor thesis was the monitoring of certain indicators mainly inorganic, that affect the ground water. Six wells, which lie near the city of Mohelnice were selected. For these wells the following properties were established – pH, conductivity, chlorides, sulphates, nitrates, ammonium ions, some of the selected elements and organic indicators of TOC. A description of the well was carried out and recorded in the maps. Finally, the individual values were compared with the other measured values.</p>
Keywords:	groundwater, sample water, (water) well
Number of pages:	64
Number of appendices:	3
Language:	Czech

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Sledování vybraných kvalitativních ukazatelů podzemních vod v oblasti Mohelnicka vypracovala sama pod vedením paní doc. RNDr. Taťjany Nevěčné, CSc., odborného konzultanta RNDr. Martina Halaty a s pomocí použité odborné literatury, dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a jsou uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

V Olomouci dne 11. 5. 2015

Podpis: _____
Michaela Reblová

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala paní doc. RNDr. Tat'janě Nevěčné, CSc. za odbornou pomoc, cenné rady a věcné připomínky, které mi během práce s ochotou poskytla.

Dále bych chtěla poděkovat panu RNDr. Martinu Halatovi a celému kolektivu Zdravotního ústavu se sídlem v Ostravě a v Olomouci za umožnění experimentální práce v jejich laboratořích, za odborné vedení bakalářské práce, trpělivost a ochotu, kterou mi v průběhu věnovali.

V poslední řadě bych chtěla poděkovat majitelům všech studen za poskytnutí vzorku vody.

Obsah

1. Úvod.....	7
2. Teoretická část	8
2.1. Voda a její výskyt v přírodě	8
2.2. Podzemní vody	9
2.3. Fyzikální chemické vlastnosti vody	11
2.3.1. Struktura vody	11
2.3.2. Teplota.....	13
2.3.3. Elektrická konduktivita	14
2.3.4. Rozpustnost látek ve vodě.....	15
2.3.5. Celková mineralizace	15
2.3.6. pH.....	16
2.4. Anorganické látky ve vodách	17
2.4.1. Kovy	17
2.4.2. Nekovy	21
2.4.3. Organické látky	23
3. Experimentální část.....	27
3.1. Použité chemikálie.....	27
3.2. Použité přístroje k měření.....	28
3.3. Odběr vzorku vody	28
3.4. Příprava činidel.....	31
3.4.1. Vybarvovací činidlo (VČ).....	31
3.4.2. Dichlorisokyanuratan sodný (DIK).....	31
3.5. Jednotlivé metody měření vzorků.....	31
3.5.1. Stanovení teploty.....	31
3.5.2. Stanovení pH.....	31
3.5.3. Stanovení konduktivity	32

3.5.4.	Stanovení amonných iontů	32
3.5.5.	Stanovení chloridů, síranů a dusičnanů	33
3.5.6.	Stanovení prvků (Na, Ca, Mg, K, Fe, Mn)	34
3.5.7.	Stanovení TOC	35
3.6.	Hydrometeorologická data	36
3.6.1.	Naměřená průměrná teplota	37
3.6.2.	Naměřené průměrné srážky	38
3.7.	Hydrogeologické mapy	39
4.	Výsledky a diskuze:	41
4.1.	pH	41
4.2.	Elektrická konduktivita	42
4.3.	Chloridy	43
4.4.	Sírany	44
4.5.	Dusičnany	45
4.6.	Amonné ionty	46
4.7.	TOC	47
4.8.	Prvky (Na, Ca, Mg, K, Fe, Mn)	48
5.	Závěr	57
6.	Summary	58
7.	Použitá literatura a zdroje	59
8.	Přílohy	61
8.1.	Příloha 1	61
8.2.	Příloha 2	63
8.3.	Příloha 3	63

1. Úvod

Voda se nachází všude kolem nás a je zcela nepostradatelnou složkou pro život člověka, rostlin, živočichů a řadu průmyslových odvětví. Tvoří základní podmínku pro život na Zemi. Pokrývá přibližně dvě třetiny zemského povrchu, což činí asi 71 %. Objem vody v mořích tvoří přibližně 1,33 miliard km^3 ¹. Vodu můžeme také nalézt v atmosféře, v místech, kde voda zamrzá nebo v horkých pramenech. Voda je nejčastější a nejběžnější rozpouštědlo, které je potřebné k řadě fyzikálních a chemických procesů. Voda se stala základem celé řady fyzikálních konstant².

Voda byla dlouho pokládána za dar přírody, která nic nestojí. Lidé ji volně používají ke každodennímu životu, ale zapomínají na skutečnost, že zásoby vody nejsou nekonečné. Její spotřeba souvisí s přibýváním obyvatelstva s rozvojem průmyslu a přílehlých odvětví³. Další důvod souvisí s nerovnoměrným rozdělením vod, které je zapříčiněno globálními změnami, podnebí na Zemi, ale i nerozumným plýtváním vody. Pro zajímavost - spotřeba vody na území bývalého Československa se zvýšila asi 4 krát (1950 – 1990). Po roce 1990 spotřeba vody klesla díky poklesu objemové průmyslové a zemědělské výroby, ale i díky výraznému zvýšení cen vodného (zrušení dotací pro kanalizace, vodovody).

Účelem této bakalářské práce bylo shromáždit data pro sledování kvality podzemních vod v oblasti Mohelnicka. Bylo vybráno 6 různých studní, které se nacházejí v různých lokalitách města Mohelnice a okolí, tak aby se dala porovnat kvalita vody i na základě typu podzemního podloží uvedených zdrojů. Odběry a měření byly prováděny v pravidelných měsíčních intervalech v období od května 2014 do dubna 2015. Pro sledování kvality byly stanovovány fyzikálně-chemické vlastnosti - pH, vodivost, tvrdost vody. Dále byla pozornost zaměřena na přítomnost různých anorganických forem dusíku - dusičnany, amonné ionty; celkového organického uhlíku a dalších iontů.

¹ KITTNER, Zdeněk. *Chemie vody a atmosféry*. 1. Vyd. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 1974, 4 – 5 s.

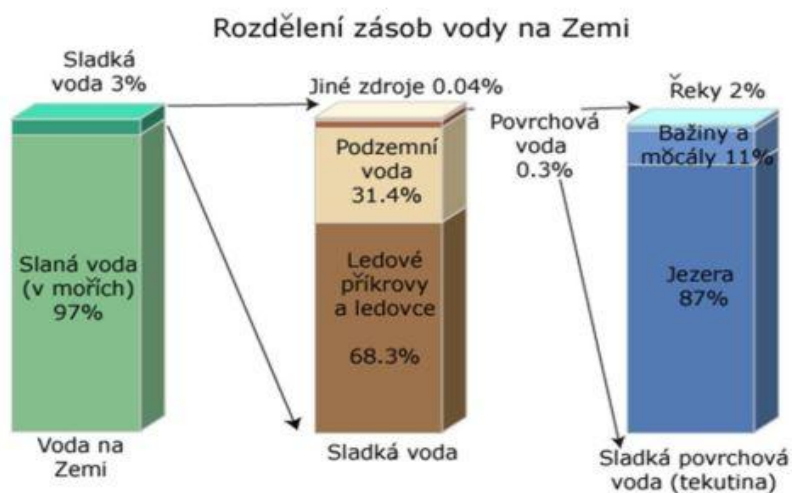
² Kabrhel, G. *Zásobování vodou a principy posuzování vod pitných*. Praha: Nákladem vlastním, 1899

³ KITTNER, Zdeněk. *Chemie vody a atmosféry*. 1. Vyd. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 1974, 5 s.

2. Teoretická část

2.1. Voda a její výskyt v přírodě

Voda je nezbytnou součástí pro život na Zemi. Výskyt vody na naší planetě je vyšší než na ostatních planetách. Největší část povrchu Země pokrývá slaná voda z moří a oceánů. Dalšími zdroji vody jsou ledovce v polárních oblastech, podzemní a povrchová voda. Voda je také přítomna v atmosféře⁴. Veškerá pozemská voda je zahrnována pod jeden společný název hydrosféra. Výjimku tvoří chemicky vázaná voda v minerálech, ale i vody obsažené v organické hmotě. Vyskytuje se ve třech skupenstvích pevném, kapalném a plynném. V pevném jako led, v kapalném jako samotná kapalina a plynném jako vodní pára.



Obrázek 1: Celkové rozdělení vody na Zemi⁵

Voda vyskytující se v přírodě může být různě znečištěna. Někdy ji lze považovat za velmi zředěný roztok různých plynů, anorganických a organických látek. Často jsou ve vodě rozptýleny koloidní látky a hrubší disperzoidy. Voda obsahuje i řadu rozpuštěných mikroorganismů. Přírodní voda může být složitou soustavou. Pouze destilovaná voda je považována za chemicky čistou⁶.

Složení přírodním vod je ovlivněno rozpustností tuhých látek a plynů, výměnou iontů mezi tuhou a kapalnou fází, chemickými oxidačně-redukčními pochody a biochemickými pochody. V přírodních vodách jsou umělým zdrojem anorganických a organických látek vody odpadní (průmyslové a splaškové). Z fyzikálního hlediska dělíme všechny látky, které jsou

⁴ Kabrhel, G. *Zásobování vodou a principy posuzování vod pitných*. Praha: Nákladem vlastním, 1899

⁵ Kabrhel, G. *Zásobování vodou a principy posuzování vod pitných*. Praha: Nákladem vlastním, 1899

⁶ KITTNER, Zdeněk. *Chemie vody a atmosféry*. 1. Vyd. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 1974, 32 s

obsažené ve vodě, na látky rozpuštěné a nerozpuštěné. Z chemického hlediska dělíme látky, které jsou obsaženy ve vodách na anorganické a organické. Mohou být přítomny buď v pravých roztocích jako iontově rozpuštěné látky (elektrolyty), nebo jako neiontově rozpuštěné látky (neelektrolyty), anebo látky nerozpuštěné.

Mezi iontově rozpuštěné látky jsou zařazeny z kationtů především Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Fe^{2+} , Mn^{2+} a z aniontů HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , NO_3^- , NO_2^- , PO_4^{3-} , CO_3^{2-} . Jde o typické makrokomponenty a patří do základního složení přírodních a užitkových vod. Je nutné s nimi počítat při všech látkových a hmotnostních bilancích. Mezi neiontově rozpuštěné látky patří sloučeniny křemíku, boru (u minerálních vod), titanu, rozpuštěné plyny a některé organické látky. Z rozpuštěných plynů je nejvýznamnější oxid uhličitý a kyslík, který je zařazen mezi makrokomponenty. V přírodních vodách se vyskytuje pouze malé množství organických látek. Výjimkou tvoří vody z rašelinišť. Tyto vody mohou být přítomny v iontové i v neiontové formě. V přírodních vodách se stanovují i další složky, ale jejich koncentrace jsou nízké, tudíž se do základních látkových a hmotnostních bilancí někdy nezahrnují. Jde o typické mikrokomponenty např.: amoniakální dusík, některé kovy (Fe, Mn, Al, Cu, Zn), dusitany, fosforečnany, fluoridy, některé formy sulfidické síry⁷.

2.2. Podzemní vody

Podzemní vody vznikají většinou vsakováním (infiltrací) srážkové a povrchové vody, které procházejí přes propustné vrstvy zemské kůry a stávají se součástí podpovrchového proudění. Voda se vyskytuje pod zemským povrchem v pásmu nasycení (póry v horninách jsou úplně zaplněny vodou). Vyskytuje se v přímém styku s horninami. Podpovrchové hydrologické procesy jsou hodně důležité, protože vlastnosti podzemních pevných složek ovlivňují velikost infiltrace a řídí tvorbu podpovrchového odtoku. Pohyb podzemní vody je pomalý, neboť doba jejího zdržení se pohybuje od desítek až do tisíců let na rozdíl od vody říční. Doba zdržení říční vody je něco kolem dvou týdnů. Pouze malá část podzemní vody vzniká kondenzací vodních par vystupujících ze zemského nitra⁸. Tento pohyb záleží na velikosti pórů a puklin v zemi. Pokud zrna zeminy obsahují větší průměr, dochází mezi nimi k tvorbě nekapilární průlin, kterými voda prostupuje poměrně rychle. Pokud je nekapilárních průlin málo, voda postupuje pomalu (nejčastější).

⁷ PITTEK, Pavel. *Hydrochemie*. 4. aktualiz. Vyd. Praha: VŠCHT, 2009, 29 s

⁸ KITTNER, Zdeněk. *Chemie vody a atmosféry*. 1. Vyd. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 1974, 67 s.

Typy podzemních vod:⁹

1. Průlinové – vyskytují se v pórech, usazených horninách a zvětralinách, pohyb vody je způsoben gravitací a vlivem hydrostatického tlaku. Dochází k zachycení suspendovaných a rozpuštěných látek (filtrace vody). Nejpriznivější podmínky poskytují sedimenty písčité nebo slepencové frakce. Složení vody se liší podle povahy prostředí, kterým voda prochází.
2. Puklinové – nacházejí se v puklinách, trhlinách či zlomech hornin. Rychlost proudění vody je zde již vyšší a kapacita zvodnění je mnohem nižší. Při průchodu podle obtížnosti se zbavuje znečištěných látek. Tyto vody mají význam jako zdroj pitné, užitkové vody pro vesnice nebo malá města.
3. Krasové – nacházejí se v horninách s krasovou propustností (vyluhování vápencových a dolomitických hornin). Pohyb vody je podobný jako v povrchových tocích. Zdrojem vody jsou srážky a povrchové toky, které pronikají do podzemí.

Mezi podzemní vody řadíme i vody ve studních, někdy důlní vody. Horniny podléhají zvětrávání a tím dochází k uvolnění anorganických látek do vody. Zdroje podzemní vody jsou hlavně vyhrazeny k zásobování obyvatelstva pitnou vodou. Podzemní vody se dělí podle chemického složení na prosté a minerální vody¹⁰. Prosté vody mají nízkou koncentraci rozpuštěných látek a nesplňují žádnou z podmínek minerální vody. Chemické složení závisí na složení půd a hornin, kterými voda protéká, na složení srážkových a povrchových vod v určité oblasti a chemickou skladbu vrstev, kterými voda prosakuje. Znečištění srážkových vod je závislé na stavu znečištění ovzduší, protože při jeho průchodu do sebe přijímá různé plyny (O_2 , N_2 , CO_2 , vzácné plyny), které odpovídá jejich rozpustnosti při určité teplotě a tlaku. Dále se do vody dostávají rozpuštěné i nerozpuštěné látky (sole, saze, prach, kouř, bakterie aj.), které znečišťují ovzduší. Díky pohlcenému CO_2 či SO_2 bývá srážková voda okyselená ($pH = 4$ až 5). Pokud je SO_2 obsažen ve větší míře v ovzduší, dochází k oxidaci až na kyselinu sírovou. V případech vyšší kyselosti srážkové (dešťové) vody může být toto velmi agresivní a může mít značný vliv na korozi betonu, železa, malty a dalších kovů.

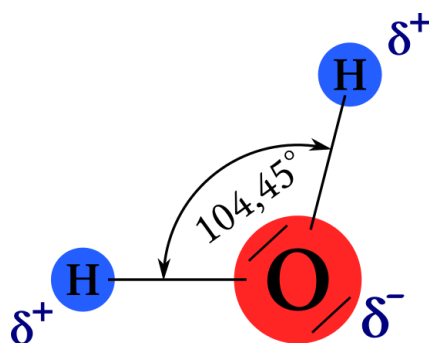
⁹ KRÁL, Jaroslav. *Chemie vody*. 1. Vyd. Praha: SNTL, 1974, 104 - 105 s.

¹⁰ KRÁL, Jaroslav. *Chemie vody*. 1. Vyd. Praha: SNTL, 1974, 104 - 105 s.

2.3. Fyzikální chemické vlastnosti vody

2.3.1. Struktura vody

Voda je chemická sloučenina a skládá se z atomů kyslíku a vodíku. Atomy v molekule vody jsou vázány kovalentně. Tato molekula je lomená a má vazebný úhel $104^{\circ}45'$ mezi vazbami H-O.



Obrázek 2: Struktura molekuly vody

Atomy kyslíku a vodíku mají rozdíl v elektronegativitě (společně s elektronovou hustotou na nevazebných párech), a proto molekula vody má nenulový dipólový moment, což má za následek řadu fyzikálních a chemických vlastností vody. Tato vlastnosti může být vhodná pro navázání v chemických sloučeninách donor-akceptorovou vazbou volného elektronového páru kyslíku (hydrát $\text{BeSO}_4 \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$). V komplexních sloučeninách je pak vázána vazbou vodíkovým můstkem, ovšem je to méně častý způsob. Dipólový moment způsobuje silné dipólové vazby mezi molekulami v kapalném a pevném stavu, což také způsobuje asociaci molekul vody za tvorby vodíkových můstků (vazeb). Vodíkové můstky vysvětlují relativně vysoké teploty tání, varu a vysokou tepelnou kapacitu vody (zadržují teplo) než u ostatních látek ^{11, 12}.

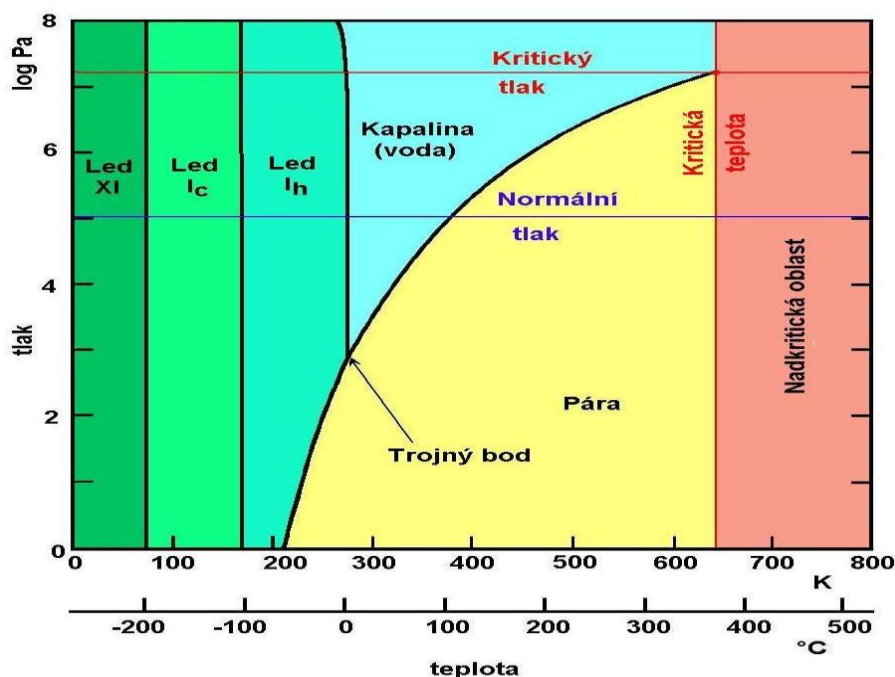
Molekula vody je polární a je tedy i polární rozpouštědlo, které je schopné napadat ionty v látkách s kovovou nebo iontovou vazbou, protože v molekulách dochází k disociaci, ionizaci nebo se štěpí na ionty. Polarita ve vodě způsobuje, že se v elektrickém poli určitým způsobem polarizují (orientují), obracejí se k nabitému tělesu svými opačně nabitými konci, ale dochází k oslabení silových účinků tělesa ve svém okolí. Elektricky nabitě částice se ve vodě buď přitahují, nebo odpuzují slaběji než v jiném prostředí ¹³.

¹¹ KAMENÍČEK, J. ŠINDELÁŘ, Z. PASTOREK, R. KAŠPÁREK, F. *Anorganická chemie*. 4. Vyd. Olomouc: UP v Olomouci, 2009, 50 – 51 s.

¹² SEMIDUBSKÝ, David. *Základy chemie pro bakaláře*. 1. Vyd. Praha: VŠCHT, 2011, 54 s.

¹³ KRÁL, Jaroslav. *Chemie vody*. 1. Vyd. Praha: SNTL, 1974, 50 – 51 s.

Voda se vyskytuje ve třech skupenstvích. V kapalně formě vody existují asociáty, které jsou sestaveny z 2 až 6 molekul vody. Za standardního tlaku (101,325 kPa) a v blízkosti teploty tání ($0\text{ }^{\circ}\text{C}$) je struktura kapalně formy vody velmi blízká tuhé modifikaci pevného ledu. Velikost asociátů tak vysvětluje změny hustoty se závislostí na teplotě. Největší hustotu má přibližně kolem $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ a dochází při ní k velkému vzniku asociátů. Nejběžnější modifikace je hexagonální (šesterečná) struktura se dvěma kratšími a dvěma delšími vodíkovými vazbami, ale může se vyskytovat v dalších osmi modifikacích. Jestliže dojde k tání ledu (otevřená struktura ledu), dochází k narušení struktury a dochází k těsnějšímu uspořádání molekul a nárůst hustoty (snížení objemu). Tento jev nazýváme anomálie vody. Ta je způsobena přetrváním nanoskopických klastrů se strukturou ledu (i nad teplotou tání a postupným rozpadem během zahřívání). V přírodě má nesmírně velký význam - zabraňuje zamrznutí všech vodních ploch až ke dnu^{14, 15}.



Obrázek 3: Fázový diagram vody¹⁶

Trojný bod je rovnovážný stav kapalně, plynné a pevné fáze ($T = 0,001\text{ }^{\circ}\text{C}$, $p = 0,61173\text{ kPa}$). V kritickém bodě se látka vyskytuje pouze v plynné fázi a zvýšením tlaku ji nelze zkapalnit ($T = 374\text{ }^{\circ}\text{C}$, $p = 22140\text{ kPa}$). Na obrázku jsou zobrazeny 3 křivky:

- Sublimační křivka – vyjadřuje rovnováhu mezi pevnou a plynnou fází a vyjadřuje závislost nasycené páry nad ledem

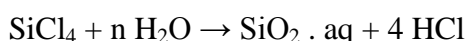
¹⁴ KAMENÍČEK, J. ŠINDELÁŘ, Z. PASTOREK, R. KAŠPÁREK, F. *Anorganická chemie*. 4. Vyd. Olomouc: UP v Olomouci, 2009, 50 – 51 s.

¹⁵ SEDMIDUBSKÝ, David. *Základy chemie pro bakaláře*. 1. Vyd. Praha: VŠCHT, 2011, 54 s

¹⁶ Fázový diagram vody [online]. [2015-04-28] Dostupné z < <https://www.google.cz> >

- Kondenzační křivka – vyjadřuje rovnováhu mezi plynnou a kapalnou fází, teplotní závislost tlaku nasycené páry nad kapalinou
- Křivka tuhnutí – křivka mezi kapalnou a pevnou fází a vyjadřuje závislost rovnovážného tlaku soustavy tvořené ledem na teplotě

Voda má schopnost hydrolyzovat (solvolyzovat) látky, jejichž centrální atom má velkou afinitu ke kyslíku a je dobrým protickým rozpouštědlem.



2.3.2. Teplota

Teplota je jednou z nejdůležitějších a nejvýznamnějších ukazatelů jakosti vod. Je též zařazena mezi nejdůležitější organoleptické ukazatele společně s barvou, zákalem, pachem a chutí. Teplota ovlivňuje chemickou a biochemickou reaktivitu a to i v malém teplotním rozmezí (od 0 °C do 30 °C)¹⁷. U vzorků podzemních vod se teplota může vyskytovat v rozmezí mezi 0 – 100 °C nezávisle na ročním období. Pro pitnou vodu je nejvhodnější teplota v rozmezí od 8 °C až do 12 °C, protože při vyšší teplotě dochází snáze ke zhoršení kvality vody a to především v mikrobiologii. Voda, která je teplejší a má více jak 15 °C, tak neosvěžuje. Voda, která je chladnější jak 5 °C může poškozovat zažívací trakt^{18,19}.

Teplota pramenité vody závisí na rychlosti proudění vody, dále na hloubce vrstev, odkud voda přitéká. Čím je hlubší pramen, tím je průměrná teplota vody větší, kolísání teploty je menší. Teplota vody u mělkých pramenů kolísá se zpožděním během ročních, denních období dle teploty ovzduší²⁰.

Teplota v povrchových vodách ovlivňuje silně biochemické pochody samočištění vody. Čím je teplota nižší, tím pomaleji pochody probíhají. U tekoucích vod mohou nastat teplotní změny (stálost denní, sezónní). Teplota u stojatých vod klesá oproti povrchu s její hloubkou vody²¹.

¹⁷ PITTER, Pavel. *Hydrochemie*. 4. aktualiz. Vyd. Praha: VŠCHT, 2009, 16 s.

¹⁸ HORÁKOVÁ, Marta. *Analytika vody*. 2. Vyd. Praha: VŠCHT, 2007, 71 s.

¹⁹ Vyhláška Ministerstva zdravotnictví, kterou se stanoví požadavky na pitnou vodu a rozsah a četnost její kontroly, č. 376/2000 Sb., částka 103, s. 4879-4891.2000.

²⁰ KRÁL, Jaroslav. *Chemie vody*. 1. Vyd. Praha: SNTL, 1974, 99 – 100 s.

²¹ KRÁL, Jaroslav. *Chemie vody*. 1. Vyd. Praha: SNTL, 1974, 100 s.

2.3.3. Elektrická konduktivita

Stanovení konduktivity (měrné vodivosti – schopnost porovnat roztoky, které vedou elektrický proud) je téměř běžnou součástí rozboru vody. Konduktivita je základní vlastnost roztoků elektrolytů.

$$\kappa = \frac{1}{R} \cdot \frac{l}{S} = G \frac{l}{S}$$

R ... elektrický odpor [Ω]

S ... průřez vodiče (plocha elektrod) [m^2]

l ... délka vodiče (vzdálenost elektrod) [m]

G ... konduktance [S]

Je to převrácená hodnota odporu v roztoku (v Ω), který je obsažen mezi dvěma elektrodami o ploše 1 m^2 , a jsou od sebe vzdáleny 1 m. Označuje se většinou symbolem κ (kappa). Konduktivita závisí na koncentraci iontů, jejich nábojovém čísle, pohyblivosti a na teplotě roztoku. Při změně teploty o $1 \text{ }^\circ\text{C}$ dojde ke změně konduktivity nejméně o 2 %, proto musíme před měřením vzorek vytemperovat. V případě sledování kvality vody se konduktivita většinou měří při $25 \text{ }^\circ\text{C}$ teplotě, anebo se na tuto teplotu přepočte. Starší údaje byly vztahovány k $20 \text{ }^\circ\text{C}$ (přibližný přepočet platí $\kappa_{25} = 1,116 \kappa_{20}$). Měření konduktivity nám umožňuje získat představu o koncentraci iontově rozpuštěných látek a celkové mineralizace ve vodě. Dá se též využít pro potřebné ředění vzorku a pro stanovení různých anorganických složek vod (např.: sírany, chloridy, dusičnany). Jednotkou elektrické vodivosti je siemens (S), jednotkou konduktivity je S/m (zpravidla se používá mS/m)²².

V užitkových i přírodních vodách s velmi malou koncentrací organických látek, je konduktivita mírou obsahu anorganických elektrolytů (aniontů, kationtů). V roztocích zředěných je konduktivita lineární funkcí koncentrace iontů. Odpadní a průmyslové vody, které obsahují ionizovatelné organické látky, musí být vztah konduktivity k rozpuštěným anorganickým látkám posuzován opatrně²³.

Povrchové a podzemní vody mívají konduktivitu 5 až 50 mS/m. U některé průmyslových vod se může hodnota vyskytovat vyšší než 10^3 mS/m. Průměrná konduktivita

²² HORÁKOVÁ, Marta. *Analytika vody*. 2. Vyd. Praha: VŠCHT, 2007, 72 – 73 s.

²³ PITTEK, Pavel. *Hydrochemie*. 4. aktualiz. Vyd. Praha: VŠCHT, 2009, 9 s.

pitných vod v ČR je kolem 40 mS/m. Pro kojeneckou a stolní vodu platí mezní hodnota konduktivity 100 mS/m (ČSN EN 27888) ²⁴.

2.3.4. Rozpustnost látek ve vodě

Voda jak přírodní tak odpadní obsahuje mnoho rozpuštěných anorganických a organických látek. Některé z těchto látek jsou považovány v chemické praxi za zcela nerozpustné. Z hygienického a hydrochemického hlediska neexistují látky, které by byly ve vodě nerozpustné. Skoro všechny kromě elementárních kovů se částečně rozpouštějí. Zvýšená mineralizace zvyšuje rozpustnost anorganických látek ve vodě, protože dochází ke zvýšení hodnoty iontové síly. Rozpustnost látek závisí částečně na teplotě. Anorganické a organické látky se většinou rozpouští endotermicky, protože rozpustnost se zvyšující teplotou roste. Látky, které se rozpouští exotermicky, jejich rozpustnost s rostoucí teplotou klesá. Rozpustnost organických látek ve vodě je miň závislá na vedlejších reakcích, jestliže disociaci. Rozpustnost těchto látek je z velké míry ovlivněna hodnotou pH, protože se formy nedisociované rozpouští méně. Rozpustnost plynů v kapalinách řídí Henryho zákonem. Rozpustnost plynů při nízkých tlacích je přímo úměrný parciálnímu tlaku plynu nad roztokem ²⁵.

$$x_A = k_H \cdot p_A$$

x_A ... molární zlomek složky A v kapalné fázi

k_H ... Henryho konstanta

p_A ... parciální tlak složky A v plynné fázi

2.3.5. Celková mineralizace

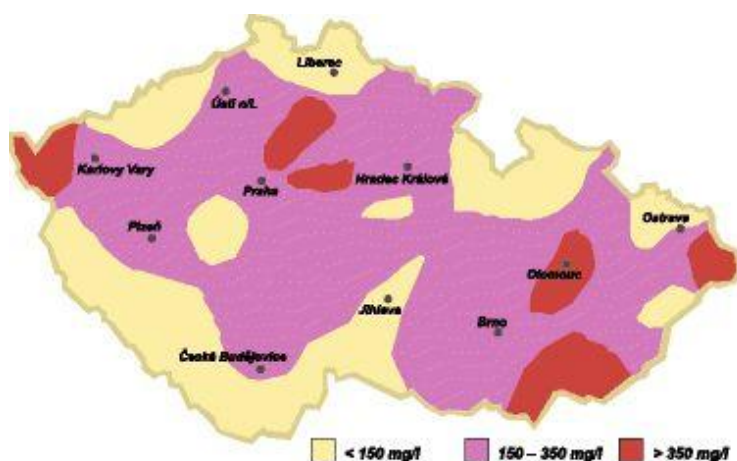
Celková mineralizace se vyjadřuje symbolem $\Sigma \rho$. Z matematického hlediska je to součet hmotnostních koncentrací všech rozpuštěných tuhých anorganických látek ve vodě (elektrolytů, neelektrolytů, ale s výjimkou rozpuštěných plynů). Vyjadřuje se v jednotkách mg/l, g/l nebo v látkové koncentraci Σc . Z naměřených hodnot rozboru vody vypočítáme mineralizaci, ale musí obsahovat makrokomponenty (HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- aj.), alkalické kovy a některé mikrokomponenty, které by mohli ovlivnit celkovou bilanci. Koncentrace těchto složek musí být v analyzované vodě dostatečně velké, abychom je nemohli v celkové

²⁴ Vyhláška č. 252/2004 Sb. Hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody

²⁵ PITTER, Pavel. *Hydrochemie*. 4. aktualiz. Vyd. Praha: VŠCHT, 2009, 24 - 25 s.

hmotnostní bilanci zanedbat. Z neelektrolytů se zahrnuje do výpočtu hlavně křemík, ale na konduktivitě se nepodílí²⁶.

U běžné pitné vody se mineralizace pohybuje v rozmezí 0,1 až 0,6 g/l, u mořské vody a oceánech se mineralizace pohybuje cca 35 g/l a v nejsilněji mineralizovaných vodách hlubokých pánví kolem 500 - 600 g/l. Čím je mineralizace nižší, tím lépe voda plní úlohu doplňování tekutin, dochází odvádění škodlivin z těla pryč. Tato voda je lehká, pocitově v ústech měkká a vypijeme jí podstatně více bez pocitu zavodnění a tlaku v žaludku. Málo mineralizované vody mají nízkou koncentraci Ca a Mg iontů, nízký obsah hydrogenuhličitanů (do 1 mmol/l). Tyto vody se nacházejí převážně v pohraničních oblastech. Vody s vyšší mineralizací obsahují vyšší obsah Ca, Mg iontů (tvrdost od 6-20° N) a hydrogenuhličitanů (1-3 mmol/l). Tyto vody se vyskytují ve středních, východních a z části v severních Čechách. Vyskytují se i oblasti podzemních vod s celkovou mineralizací větší než 500 mg/l. Tyto vody obsahují Ca a Mg iontů větším než 20 °N a obsahem hydrogenuhličitanů větším než 3 mmol/l²⁷.



Obrázek 4: Mapa mineralizace v ČR²⁸

2.3.6. pH

Stanovení pH je téměř vždy součástí rozboru všech druhů vod a má často velký význam pro posouzení vlastností analyzované vody (ČSN ISO 10523). pH vody závisí především na průběhu biochemických a chemických pochodů ve vodách. pH nás informuje o neutralitě, kyselosti nebo zásaditosti vody. Voda v neutrálním stupni má hodnotu pH = 7, kyselý roztok

²⁶ HORÁKOVÁ, Marta. *Analytika vody*. 2. Vyd. Praha: VŠCHT, 2007, 79 s.

²⁷ *Analýza a úprava vody* [online]. [2015-03-26]. < <http://www.analyzavody.cz> >

²⁸ *Analýza a úprava vody* [online]. [2015-03-26]. < <http://www.analyzavody.cz> >

má nižší a alkalický roztok má vyšší hodnotu pH. Vysoké či nízké hodnoty pH působí toxicky na vodní organismy přímo, ale i nepřímo. V souvislosti s uhličitánovou rovnováhou se v podzemních a povrchových vodách pH pohybuje mezi hodnotami 4,5 až 8,3. Pokud je toho rozmezí porušeno má to většinou za následek přítomnost huminových látek, kationty nebo sirovodík podléhající hydrolyze. Pokud se pH posune do alkalické oblasti (nad hodnotu 8) bývá ovlivňován intenzivní fotosyntetickou asimilací zelených organismů (dochází k vyčerpání volného CO₂)²⁹.

K měření pH se využívá potenciometrické metody. Tato metoda je založena na měření elektromotorické síly elektrochemického článku. Ve vzorku odebrané vody je ponořena kombinovaná pH elektroda, která je složena ze srovnávací a skleněné elektrody.

Dalšími významnými vlastnosti vody je povrchové napětí a viskozita vody.

2.4. Anorganické látky ve vodách

2.4.1. Kovy

Sodík a draslík

Sodík a draslík se pravidelně vyskytují v přírodních vodách. Obsah prvků v zemské kůře je asi 2,5 %. Do vody se dostávají vyluhováním slaných půd, solných ložisek (halit), rozkladem živců, živcových hornin, iontovou výměnou za vápník nebo hořčík nebo zvětráním některých hlinitokřemičitanů (albitu, ortoklasu, slíd aj.). Dalším zdrojem je výroba a aplikace hnojiv nebo sypaní komunikací v zimním období chloridem sodným. Sodné i draselné soli jsou dobře rozpustné. Ve vodách většinou převládají sodné ionty nad draselnými ionty. Půdou jsou draselné ionty zadržovány výměnou za sodíkové ionty. Draselné ionty si odebírají rostliny a je to jejich základní živina. Z rostlin se draslík dostává do těl živočichů a lidí. V látkovém metabolismu živých těl se draslík uvolňuje, dochází k výměně za sodík, odchází do půdy a odpadních vod^{30, 31}.

Sodík a draslík se ve vodách vyskytují převážně jako kationty Na⁺ a K⁺. Mají malou komplexní schopnost. Jsou řazeny mezi 4 základní kationty přírodních a užitkových vod, ale z kvantitativního hlediska jsou řazeny až za vápník a hořčík.

²⁹HORÁKOVÁ, Marta. *Analytika vody*. 2. Vyd. Praha: VŠCHT, 2007, 223 – 225 s

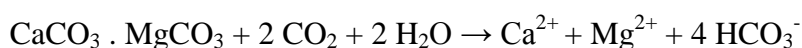
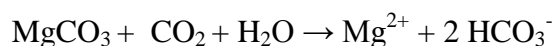
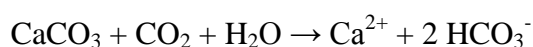
³⁰KRÁL, Jaroslav. *Chemie vody*. 1. Vyd. Praha: SNTL, 1974, 84 s.

³¹PITTER, Pavel. *Hydrochemie*. 4. aktualiz. Vyd. Praha: VŠCHT, 2009, 79 – 81 s.

V povrchových a podzemních vodách nejsou oba prvky úplně významné, ale jsou důležitými esenciálními prvky pro člověka. Koncentrace ve vodách pro draslík není limitován, ale pro sodík je limit 200 mg/l (ČSN EN ISO 17294-1, ČSN EN ISO 17294-2). kojeneckou vodu se uvádí 20 mg/l a pro pramenitou balenou vodu 100 mg/l. Lidské tělo sodík poměrně rychle z vody spotřebovává a vylučuje ho převážně močí. Nejvýznamnější úlohu mají sodík a draslík při identifikaci chemického složení vod a při kontrole výsledků rozboru vod. Stanovení obou prvků je součástí každého chemického rozboru vody^{32,33}.

Vápník a hořčík

Vápník společně s hořčíkem je v přírodě poměrně rozšířen. V zemské kůře je obsaženo asi 0,035 % vápníku a 0,020 % hořčíku. Často je vápník rozšířen ve vodách častěji než hořčík, ale není to pravidlem. Vápenaté a hořečnaté ionty se do vody dostávají rozpuštěním vápence (CaCO₃), dolomitu (CaCO₃ · MgCO₃), magnezitu (MgCO₃), sádrovce (CaSO₄ · 2H₂O) a jiných minerálů. Dalším zdrojem vápníku a hořčíku je vyluhování zvětralých vápenatých a hořečnatých hlinitokřemičitanů či rozpuštěný CO₂, který zvyšuje rozpustnost minerálů a podporuje zvětrání hlinitokřemičitanů³⁴.



Vápník a hořčík se v málo mineralizujících vodách vyskytují převážně jako kationty Ca²⁺ a Mg²⁺. Ve více mineralizujících vodách s vyšší koncentrací HCO₃⁻ a SO₄²⁻ se mohou tvořit iontové asociáty (nízké konstanty stability). Obsah vápenatých a hořečnatých iontů je v přírodních vodách důležitý ze zdravotních i chuťových důvodů. Voda, která má dostatek obsahu vápníku má příjemnou chuť a dobré fyziologické účinky. Voda, která má velký obsah hořčíku (nad 250 mg/l), se projevuje hořkou chutí. Koncentrace vápníku se v podzemních a povrchových vodách pohybuje od desítek do stovek mg/l. Průměrná koncentrace vápníku v pitných vodách je okolo 50 mg/l a průměrná hodnota hořčíku je kolem 10 mg/l (ČSN EN ISO 17294-1, ČSN EN ISO 17294-2)^{35,36}.

³² Vyhláška č. 252/2004 Sb. Hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah

³³ PITTEK, Pavel. *Hydrochemie*. 4. aktualiz. Vyd. Praha: VŠCHT, 2009, 81 s.

³⁴ PITTEK, Pavel. *Hydrochemie*. 4. aktualiz. Vyd. Praha: VŠCHT, 2009, 82 – 83 s.

³⁵ PITTEK, Pavel. *Hydrochemie*. 4. aktualiz. Vyd. Praha: VŠCHT, 2009, 82 – 84 s.

Vápník lze stanovit několika metodami. Můžeme použít metodu AAS nebo komplexometrickou titraci Chelatonem 3. Vápník lze též stanovit manganometricky (vápník ve formě šřavelanu) nebo gravimetricky, ale při dostupnosti přístrojů pro AAS význam těchto metod klesá³⁷. Blíže budou metody nejčastěji používané v praxi popsány v kapitole jednotlivé metody měření vzorků.

Tvrdost vody způsobují soli vápníku a hořčíku. Tvrdá voda na rozdíl od měkké sráží mýdlo, špatně pění, hůře se v ní vaří potraviny (luštěniny, zelenina, maso, čaj aj.), v průtokových ohřivačích způsobuje kotelní kámen, tudíž pro tyto věci není vhodná. Ze zdravotních důvodů tvrdá voda se považuje za nežádoucí. Tvrdost vody se vyjadřuje v milimolech na litr nebo v německých stupních °N³⁸.

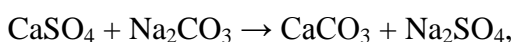
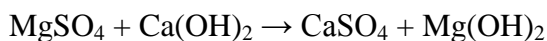
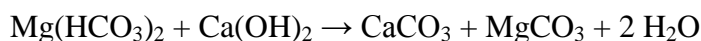
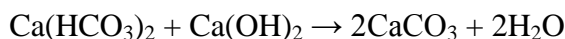
$$1 \text{ mmol} = 5,6 \text{ °N}$$

Známe tvrdost:

- Přechodnou (karbonátová) – způsobena HCO_3^- , mizí varem, hydrogenuhlčitany se rozkládají



- Trvalou (stálou) – způsobena vápenatými a hořečnatými solemi, varem nemizí, odstraňuje se chemicky, iontoměniče (speciálně upravené makromolekulární látky)



- Celkovou – součet obou tvrdostí

Železo

Železo se zcela běžně vyskytuje v přírodních vodách v nízkých koncentracích. V povrchových vodách je železo obsaženo v setinách až desetínách mg/l. Voda z velké části obsahuje asi 0,5 mg/l, výjimkou jsou vody pocházející z rašelinišť. Vody vykazují slabě kyselou reakci a železo je vázáno na látky huminového charakteru. Železo přítomné ve vodě

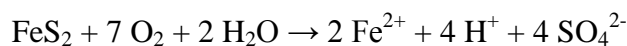
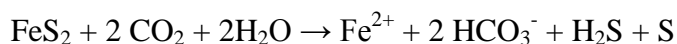
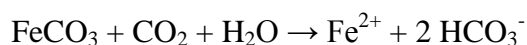
³⁶ Vyhláška č. 252/2004 Sb. Hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah

³⁷ HORÁKOVÁ, Marta. *Analytika vody*. 2. Vyd. Praha: VŠCHT, 2007, 110 – 111 s.

³⁸ KRÁL, Jaroslav. *Chemie vody*. 1. Vyd. Praha: SNTL, 1974, 85 s.

způsobuje často technické závady. Materiály ve styku se železem, jsou zbarveny do žluta až hněda. Z toho důvodu není železo vhodné pro zásobování v průmyslu. Z hygienického hlediska železo negativně ovlivňuje organoleptické vlastnosti vody – barvu, chuť a zákal. Dvojmocné železo je nevhodné pro chov ryb, protože alkalicky reaguje na žábrách, dochází k oxidaci na žábrech a následné hydrolyze. Nerozpustné sloučeniny Fe^{III} pokrývají žaberní lístky, dochází ke snížení respiračních ploch žaber a případně k následnému udušení ryb. Proto se pro chov ryb doporučuje koncentrace rozpuštěného železa maximálně 0,2 mg/l (ČSN EN ISO 17294-1, ČSN EN ISO 17294-2) ^{39,40}.

Výskyt rozpuštěného a nerozpuštěného železa ve vodách závisí především na pH, rozpustnosti sloučenin, tvorbě komplexů, oxidačně-redukčního potenciálu aj. V podzemních, povrchových vodách nebo u dna nádrží v bezkyslíkatém prostředí se železo vyskytuje v dvojmocné formě. V přírodních vodách (obsahuje kyslík) je železo ve formě trojmocného železa, což je to nejstabilnější forma železa. Do přírodních vod se železo dostává působením CO₂ na uhličitany, křemičitany, sulfidy nebo oxidací pyritu ⁴¹.



Mangan

Mangan často doprovází železné rudy. V přírodě se vyskytuje jako burel (MnO₂), braunit (Mn₃O₄). Většinou bývá manganu méně než železa, ale vyskytují se vody s větším obsahem manganu. Mangan se ve vodách může vyskytovat jako rozpuštěný i nerozpuštěný a v různých oxidačních formách. Nejběžnější jsou II, III, IV a může se vyskytnout i organicky vázaný. Výskyt a rozpustnost ve vodách jsou ovlivněny pH, obsahem rozpuštěného kyslíku, redoxním potenciálem prostředí a složením vody. Nejdůležitější formou výskytu manganu ve vodě za nepřístupu kyslíku je oxidační stupeň II, avšak ve vodách obsahující rozpuštěný kyslík je nestabilní. Mangan je stejně jako železo zdravotně nezávadný, ale při překročení 0,1 mg/l poškozují chuť vody, způsobuje zažloutnutí prádla, působí na průběh kvašení, vadí prádelnám, škrobárnám, papírnách, barvárnám a další (ČSN EN ISO 17294-1, ČSN EN ISO

³⁹ PITTER, Pavel. *Hydrochemie*. 4. aktualiz. Vyd. Praha: VŠCHT, 2009, 95 – 97, 103 – 104 s.

⁴⁰ Vyhláška č. 252/2004 Sb. Hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody

⁴¹ KRÁL, Jaroslav. *Chemie vody*. 1. Vyd. Praha: SNTL, 1974, 86 – 87 s.

17294-2). Z těchto důvodů se provádí při úpravě pitných vod odmanganování. Podstata odmanganování je oxidace manganu v oxidačním stupni II za vzniku směsi sloučenin manganu ve vyšším oxidačním stupni III a IV ($\text{MnO}_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$). Vytváří se vločkovitá suspenze, která bývá odstraňována separací. Nejrozšířenější metoda vylučování manganu z vody je oxidace hlavně vzdušným kyslíkem nebo chlórem^{42,43}.

2.4.2. Nekovy

Sloučeniny chlóru

Nejrozšířenější formou chlóru ve vodách jsou chloridy, chlornany, kyselina chlorná, elementární chlór a další. V přírodních vodách pocházejí chloridy z různých zdrojů a to především z hygienicky nezávadných, minerálních, ze zdrojů hygienicky závadných (odpadní vody). Dalším zdrojem chloridů v atmosférických vodách je mořská voda, posypové soli (NaCl , CaCl_2), které jsou používány v zimní období. Ty jsou pak spláchnuty do kanalizace a dostávají se do podzemní vody. Ve vodě jsou chloridy přítomné jako jednoduchý ion Cl^- , mají slabé komplexační schopnosti⁴⁴.

Chloridy společně se sírany, dusičnany, hydrogenuhličitanu patří mezi základní anionty, které se vyskytují v přírodních vodách. Chloridy jsou velmi dobře rozpustné a jejich koncentrace se zvyšující se mineralizací často roste a jsou chemicky i biochemicky ve vodách stabilní. Chloridy jsou hygienicky nezávadné, ale při vyšší koncentraci ovlivňují její chuť⁴⁵.

V ČR je pro pitnou vodu hranice 100 mg/l, ale pokud je způsobena vyšší koncentrace chloridů geologickým podložím zvyšuje se hranice do 250 mg/l⁴⁶. K zabezpečení pitné vody se používá technologie chlorování, slouží jako oxidační činidlo při úpravě a čištění vody. Elementární chlór má ve vodě oxidační a chlorační účinky.

Sírany

Sírany společně s chloridy jsou hlavní součástí aniontů v přírodních vodách a jsou skoro vždy přítomny. Koncentrace síranů ve vodě se vyjadřuje v mg/l nebo v mmol/l. V průmyslových oblastech můžou sírany překročit hodnotu 10 mg/l. Vysoké koncentrace síranů mají některé

⁴² PITTER, Pavel. *Hydrochemie*. 4. aktualiz. Vyd. Praha: VŠCHT, 2009, 106 – 107 s.

⁴³ Vyhláška č. 252/2004 Sb. Hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody

⁴⁴ PITTER, Pavel. *Hydrochemie*. 4. aktualiz. Vyd. Praha: VŠCHT, 2009, 169 – 170 s.

⁴⁵ PITTER, Pavel. *Hydrochemie*. 4. aktualiz. Vyd. Praha: VŠCHT, 2009, 169 – 170 s.

⁴⁶ Vyhláška č. 252/2004 Sb. Hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody

minerální vody, důlní vody z těžby uhlí a podzemní vody, které jsou kontaminované z výluhu z energetického popílku. Vysoké koncentrace ovlivňují organoleptické vlastnosti vody. Sírany nemají hygienický význam. Při vysoké koncentraci síranů ovlivňují chuť vody a spolu s vysokou koncentrací hořčíku, sodíku způsobuje laxativní (projímadlo) účinky. V ČR je pro pitnou vodu mezní hodnota 250 mg/l, ale nesmí být agresivní^{47, 48}.

Sloučeniny dusíku

Dusík je ve vodě obsažen v různých oxidačních stavech (-III, -I, 0, +I, +III, +V) a formách.

Dusičnany

Dusičnany se vyskytují téměř ve všech vodách a patří hlavní anionty, které se ve vodě vyskytují. Jejich koncentrace ve vodách vzrůstá z důvodů zemědělské činnosti, s vzrůstem obyvatel ale i s ovzduší. Dusičnany jsou obsaženy v nízkých koncentracích skoro ve všech vodách a jejich koncentrace je řádově v jednotkách mg/l. Větší koncentrace se nacházejí v podzemních vodách, kde dochází k intenzivnímu hnojení. Bylo zjištěno, že když se s velkou koncentrací dusičnanů používaly k přípravě pokrmů pro kojence. Projevilo se to zbarvením pokožky do modra (alimentární methemoglobinaemie), což mohlo skončit až smrtí pokud nedošlo k léčbě včas⁴⁹.

Norma pro pitnou vodu připouští pouze 50 mg/l dusičnanů a pro kojeneckou vodu je dokonce hodnota snížena na koncentraci 10 mg/l⁵⁰.

Dusičnany jsou konečným produktem mineralizace organicky vázaného dusíku. Jsou stabilní za oxických podmínek, ale za anoxických podmínek podléhají biologické denitrifikaci z vzniku elementárního dusíku⁵¹.

Amoniakální dusík

Amoniakální dusík se ve vodě vyskytuje v disociované (NH_4^+) i nedisociované (NH_3) formě. Amoniak se ve vodě rozpouští za vzniku hydrátu $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ a ten přímo disociuje na NH_4^+ a

⁴⁷PITTER, Pavel. *Hydrochemie*. 4. aktualiz. Vyd. Praha: VŠCHT, 2009, 182 – 184 s.

⁴⁸ Vyhláška č. 252/2004 Sb. Hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody

⁴⁹KAMENÍČEK, J. ŠINDELÁŘ, Z. PASTOREK, R. KAŠPÁREK, F. *Anorganická chemie*. 4. Vyd. Olomouc: UP v Olomouci, 2009, 103 s..

⁵⁰ Vyhláška č. 252/2004 Sb. Hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody

⁵¹ PITTER, Pavel. *Hydrochemie*. 4. aktualiz. Vyd. Praha: VŠCHT, 2009, 214 s.

OH⁻. Se zvyšující se teplotou dochází k lepší disociaci NH₄⁺ na NH₃. Poměr disociovaného a nedisociovaného formy ve vodě závisí na hodnotě pH⁵².

Amoniakální dusík je produkt rozkladu dusíkatých organických látek rostlinného i živočišného původu. Antropogenním zdrojem organického původu jsou hlavně splaškové odpadní vody, odpady zemědělských výroby a emise amoniaku v okolí závodů velkovýroby. Antropogenním zdrojem anorganického původu jsou dusíkatá hnojiva, která se infiltrací a splachem dostávají do podzemních a povrchových vod.

V podzemních vodách se vyskytuje amoniak ve velmi malých koncentracích, výjimkou jsou podzemní vody ropného původu a kontaminované podzemní vody fekáliemi či hnojivy. Za oxických podmínek je nestálý, snadno podléhá biochemické oxidaci (nitrifikaci). Chemická oxidace je obtížná a jediným činidlem k jeho oxidaci je chlor. Z hlediska ochrany životního prostředí představuje amoniak obrovskou hrozbu, protože nedisociovaná forma NH₃ působí velmi toxicky na ryby a zooplankton. Obsah amoniakálního dusíku je díky své toxicitě v pitné vodě limitován hodnotou 0,5 mg/l a patří mezi základní ukazatele při kontrole a klasifikaci jakosti vod (ČSN 757220 a ČSN 757221)⁵³. Amoniakální dusík také zvyšuje korozi mědi a sloučenin mědi, ale to závisí na pH a koncentraci amoniakálního dusíku⁵⁴.

2.4.3. Organické látky

Ve vodách jsou přítomny organické látky, které mají původ přírodní a antropogenní. Mezi přírodní znečištění patří lesní humus, výluhy z listů, produkty činnosti živočišných i rostlinných organismů, bakterií. Jsou to většinou látky biogenního původu (humínové látky, aminokyseliny, sacharidy, peptidy). Z antropogenního původu pocházejí různé druhy splaškových a odpadních vod, skládky, úprava vody po chloraci a z odpadů ze zemědělství⁵⁵.

V podzemních a povrchových vodách se obvykle vyskytuje směs různých látek a jsou to hlavně humínové kyseliny, fulvinové kyseliny, sacharidy, bílkoviny aj. Z organických látek, které se vyskytují ve vodách a mají zvláštní hygienický význam nebo význam pro

⁵² PITTER, Pavel. *Hydrochemie*. 4. aktualiz. Vyd. Praha: VŠCHT, 2009, 206 - 208 s.

⁵³ Vyhláška č. 252/2004 Sb. Hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody

⁵⁴ PITTER, Pavel. *Hydrochemie*. 4. aktualiz. Vyd. Praha: VŠCHT, 2009, 208 – 210 s.

⁵⁵ PITTER, Pavel. *Hydrochemie*. 4. aktualiz. Vyd. Praha: VŠCHT, 2009, 275 s.

vodárny a čistírny odpadních vod, lze vyjmenovat huminové látky, fenoly, uhlovodíky, tenzidy, pesticidy i komplexotvorné látky⁵⁶.

Organické látky mají vliv i na vlastnosti vody a to především na barvu, chuť, pach, pěnivost, povrchový film na povrchu (brání přístupu kyslíku do vody – oleje), karcinogenní, mutagenní, alergenní a teratogenní účinky, komplexní kapacitu vody. Komplexní kapacita je způsobena desorpcí toxických kovů ze sedimentů.

Organických látek je poměrně hodně, a proto stanovujeme celkovou koncentraci organických látek a pak případně některé látky či skupiny látek, pokud je potřeba. Celkově organické látky stanovíme metodami:

- Chemickou spotřebou kyslíku CHSK (COD, chemical oxygen demand),
- Celkový organický uhlík (TOC, total organic carbon)
- Biochemická spotřeba kyslíku BSK (BOD, biochemical oxygen demand)

Chemická spotřeba kyslíku CHSK

Chemická spotřeba kyslíku je případ redoxní reakce. Udává množství kyslíku, které se za přesně daných podmínek spotřebuje na oxidaci organických látek ve vodě oxidačním činidlem. CHSK patří mezi nespecifické ukazatele vody a jeho naměřená hodnota, která je stanovena nepřímým stanovením, slouží k odhadu organických látek, které jsou rozpuštěny ve vodě. Udává se v jednotkách mg/l (mg kyslíku odpovídá podle stechiometrie spotřebě oxidačního činidla na litr vody) nebo u velkého znečištění vod v g/l⁵⁷.

Při stanovování CHSK se používají dvě hlavní oxidační činidla častěji dichroman draselný (CHSK_{Cr}) a manganistan draselný (CHSK_{Mn}). U obou metod probíhá oxidace látek v kyselém prostředí, ale teplota a doba oxidace je u každé metody jiná. Stupeň oxidace se porovnává s ThSK (teoretická spotřeba kyslíku), která se uvádí v gramech či molech kyslíku, který je potřebný pro úplnou oxidaci 1 g (molu) látky podle stechiometrie až na vodu a oxid uhličitý. Poměr hodnot CHSK a ThSK se vyjadřuje v %⁵⁸.

$$ThSK = \frac{(4a + b - 2c) \cdot 8}{M}$$

a, b, c stechiometrické koeficienty sloučeniny C_aH_bO_c, M ... molární hmotnost

⁵⁶ KRÁL, Jaroslav. *Chemie vody*. 1. Vyd. Praha: SNTL, 1974, 98 s.

⁵⁷ HORÁKOVÁ, Marta. *Analytika vody*. 2. Vyd. Praha: VŠCHT, 2007, 273 - 274 s.

⁵⁸ PITTER, Pavel. *Hydrochemie*. 4. aktualiz. Vyd. Praha: VŠCHT, 2009, 278 s.

Manganistanová (Kubelova) metoda se používá hlavně pro pitné a přírodní vody. CHSK_{Mn} lze stanovit pouze ve vodách, které obsahují méně než 500 mg/l chloridů, jinak musíme vodu naředit nebo chloridy odstranit (ČSN EN ISO 8467). U této metody nemůžeme použít velkou koncentraci manganistanu, dále vysokou reakční teplotu, protože manganistan za takových podmínek podléhá autoredukci. Výhodou této metody je jednoduchost, malá časová náročnost, menší spotřeba činidel a energie. Nevýhodou manganistanové metody je, že nedojde ke kvantitativní oxidaci všech organických látek přítomných ve vodě, tudíž hodnota má převážně informativní charakter o znečištění vody⁵⁹.



Dichromanová metoda má vyšší vypovídací hodnotu o organickém znečištění hlavně odpadních vod, ale dá se použít i pro všechny ostatní vody. Tato metoda využívá větší koncentrace oxidačního činidla, vyšší teplotu oxidace, delší reakční dobu a jako katalyzátor při oxidaci se využívají ionty Ag^+ . Výhodou metody je vysoký stupeň oxidace organických látek, proto je tato metoda účinnější. Nevýhodou této metody je pracnost, časová náročnost, větší spotřeba energie a činidel.



TOC

Celkový organický uhlík znamená součet koncentrací organicky vázaného uhlíku, který může být přítomen ve vodě v rozpuštěné a nerozpuštěné formě (ČSN EN 1484). Dále se stanoví také kyanatany, elementární uhlík a thiokyanatany. Organický uhlík se ve vodě oxiduje na oxid uhličitý tepelným rozkladem (teplota je až 1000 °C za přítomnosti katalyzátoru), působením vhodného oxidačního činidla, ultrafialovým nebo jiným vysoce energetickým zářením. Metoda ultrafialového záření se používá pouze s kyslíkem (oxidační činidlo) a je přípustný pro neznečištěné vody s nízkou koncentrací TOC. Anorganický uhlík se odstraňuje vyubláváním z okyseleného vzorku jako CO_2 , nebo se stanoví zvlášť. Oxid uhličitý vzniklý přímo se stanoví přímo, nebo po redukcí (například CH_4). Konečné stanovení CO_2 se provádí několika způsoby:^{60, 61}

⁵⁹ HORÁKOVÁ, Marta. *Analytika vody*. 2. Vyd. Praha: VŠCHT, 2007, 256 - 257 s.

⁶⁰ PITTER, Pavel. *Hydrochemie*. 4. aktualiz. Vyd. Praha: VŠCHT, 2009, 300 – 302 s.

⁶¹ Vyhláška č. 252/2004 Sb. Hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody

- spektrofotometricky v infračervené oblasti světla
- odměrně (vhodné nevodné prostředí)
- tepelnou konduktivitou
- konduktometricky
- coulometricky
- CO₂ iontově selektivní membránou a plamenoionizační detekcí, používanou po redukce CO₂ mimo jiné na methan

TOC se řadí stejně jako například CHSK ke skupinovým ukazatelům, ale neposkytují informaci, o jakou organickou látku se jedná. Výhodou stanovení TOC je oproti CHSK úplná oxidace organických látek termickým rozkladem na CO₂, postihuje širší spektrum organických látek, mez stanovitelnosti je menší než u CHSK, používají se automatické analyzátory a nepoužívají se toxické látky. Nevýhodou této metody je oproti CHSK to že, nelze provádět kyslíková bilance a je nesrovnatelné s BSK (biochemická spotřeba kyslíku). Pro vyhodnocení různých forem uhlíku se v praxi používají symboly: ⁶²

- **TC** (Total Carbon) – součet koncentrací anorganicky a organicky vázaného, elementárního uhlíku, který je přítomen ve vodě
- **TIC** (Total Inorganic Carbon) – součet koncentrací elementárního uhlíku, všech forem CO₂, CO, kyanidů, kyanatanů a thiokyanatanů. Běžně se stanovuje analyzátozem pouze uhlík ve formě CO₂, HCO₃⁻, CO₃²⁻.
- **TOC** (Total Organic Carbon)
- **DOC** (Dissolved Organic Carbon) – součet koncentrací organicky vázaného uhlíku přítomné ve vodném roztoku ve sloučeninách. Tense nezachytí a projde skrz membránový filtr o velikosti pórů 0,45 μm.
- **NPOC** (Non-purgeable Organic Carbon) – organický uhlík netěkavých organických sloučenin
- **POC** (Particulate Organic Carbon) – nerozpuštěný organický uhlík, může být označen uhlík těkavých organických sloučenin.
- **VOC** (Volatile Organic Carbon) – uhlík těkavých organických sloučenin

Výsledky měření se uvádí v jednotkách mg uhlíku na litr, v pevných vzorcích se stanovení TOC uvádí v % uhlíku.

⁶² HORÁKOVÁ, Marta. *Analytika vody*. 2. Vyd. Praha: VŠCHT, 2007, 273 – 275 s.

3. Experimentální část

3.1. Použité chemikálie

- CZ – 9080 (1H) amonné ionty Analytika Astatol spol. s.r.o.
- CZ – 9072 (1H) chloridy Analytika Astatol spol. s.r.o.
- CZ – 9078 (1H) sírany Analytika Astatol spol. s.r.o.
- CZ – 9076 (1H) dusičnany Analytika Astatol spol. s.r.o.
- CZ – 9091 Ca, Mg, K, Na Analytika Astatol spol. s.r.o.
- CZ – 9019 (1N) Fe Analytika Astatol spol. s.r.o.
- 200.8 – CAL 1R – 1 Zn, Mn (kalibrace) Analytika Astatol spol. s.r.o.
- Kyselina dusičná konc. 65 % Merck KGaA (Darmstand)
- Dihydrát dichlorisokyanuratan sodný Lach-Ner, s.r.o.
- Hydroxid sodný Lach-Ner, s.r.o.
- Nitroprusid sodný Lach-Ner, s.r.o.
- Dihydrát citronan disodný Lach-Ner, s.r.o.
- Salicilan sodný Lach-Ner, s.r.o.
- Kyselina fosforečná Lach-Ner, s.r.o.
- Hydrogenftalát draselný Merck, Germany
- Total organic carbon (kalibrace) Teledyne Tekmar
- QC roztok Analytika Astatol spol. s.r.o.
- Roztok KCl Analytika Astatol spol. s.r.o.
- Kalibrační roztoky Merck KGaA (Darmstand)
- Vodné kalibrační roztoky Analytika Astatol spol. s.r.o.
- Reagenční proužky (dusičnany) Merck KGaA, Germany
- Anion multi – element standard II. Merck KGaA (Darmstand)
- Waters Ion Select™ High Mobility Anion Electrolyte Waters Corporation, Milford, Massachusetts 01757, USA

3.2. Použité přístroje k měření

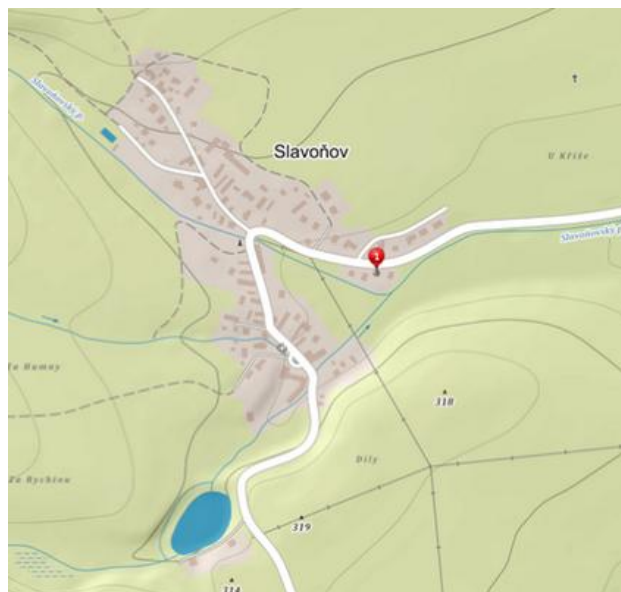
▪ Kapilární elektroforéza G 1602A	Agilent Technologies (USA)
▪ Spektrofotometr ICP- MS	Agilent Technologies (USA)
▪ Spektrofotometr Helios Beta	Spectronic Unicam (V. Británie)
▪ TORCH	Teledyne tekamar (USA)
▪ Digitální pH metr 540 GLP s přísl.	WTW GmbH (Německo)
▪ Konduktometr LF 538	WTW GmbH (Německo)
▪ Analytické váhy	Sartorius (Německo)
▪ Přesné váhy GF – 300 EC	AND (A & D Instruments LTD) (V. Británie)

3.3. Odběr vzorku vody

Odběry vody byly prováděny v pravidelných měsíčních intervalech v období od května 2014 do dubna 2015. Veškerá měření vzorků vod se uskutečňovala za konstantních podmínek a za použití přístrojů v akreditovaných laboratořích Zdravotního ústavu se sídlem v Ostravě na pracovišti v Olomouci. Stanovení vzorků muselo být stanoveno do 24 hodin po odběru vzorku. Vzorky vody byly před samotným měřením uchovány v plastových lahvích v chladu (nesmí být použity vzorkovnice ze sodného skla). PET lahve byly před odebráním vzorku vody vypláchnuty, vzorek vody byl vždy odpuštěn a láhev byla plněna středním proudem vody až po okraj uzávěru nádoby. Ve vzorcích vody byly stanoveny amonné ionty, dusičnany, sírany, chloridy, tvrdost vody, konduktivita, pH, teplota, a TOC. Bylo vybráno 6 odběrných míst.

1. Studna Slavoňov – Slavoňov 58, 789 01 Zábřeh

Obec Slavoňov je součástí obce Lukavice v okrese Šumperk. Obě tyto obce se nacházejí severozápadně od města Mohelnice. Studna, která je součástí rodinného domečku na okraji obce, je hluboká 6,5 m. Studna je kopaná a její podloží je složeno z hnědé hlíny, kamenu s pískem (přibližně v 6 metrech). Je důležité, že v okolí studny se pozemky používají pro pastvu ovcí. Proto lze předpokládat, že voda bude obsahovat zvýšené množství dusičnanů.



Obrázek 5: Mapa Slavoňov

2. Studna Troubelice – Troubelice 229, 783 83

Obec Troubelice se nachází východně od Mohelnice ve vzdálenosti 16 km a polohou patří do Olomouckého kraje. Studna je součástí rodinného domečku a je umístěna ve středu obce. Tato studna je vrtaná a její hloubka je 3,5 m. Podloží studny má hlinitopísčité povrch. Je důležité zmínit, že okolí studny se používá k zemědělské činnosti a nedaleko studny se nachází menší vinohrad. Z těchto důvodů lze předpokládat, že voda bude obsahovat zvýšené množství dusičnanů a bude obsahovat hodně rozpuštěných látek, které mohou způsobit vyšší tvrdost vody.

3. Studna Troubelice hřbitov – Troubelice, 783 83

Tato studna se nachází na kopci místního hřbitova. Studna je vrtaná a její hloubka je přibližně 7 m. V blízkosti zdroje vody protéká místní potok, okolí se používá k zemědělské činnosti a další vliv na kvalitu vody může mít i rozklad lidského těla. U tohoto zdroje můžeme tedy předpokládat zvýšené hodnoty dusičnanů, tvrdosti vody a některých látek, které jsou ve vodě rozpuštěny.

4. Studna Mohelnice – Dolní krčmy 9003, 789 85 Mohelnice

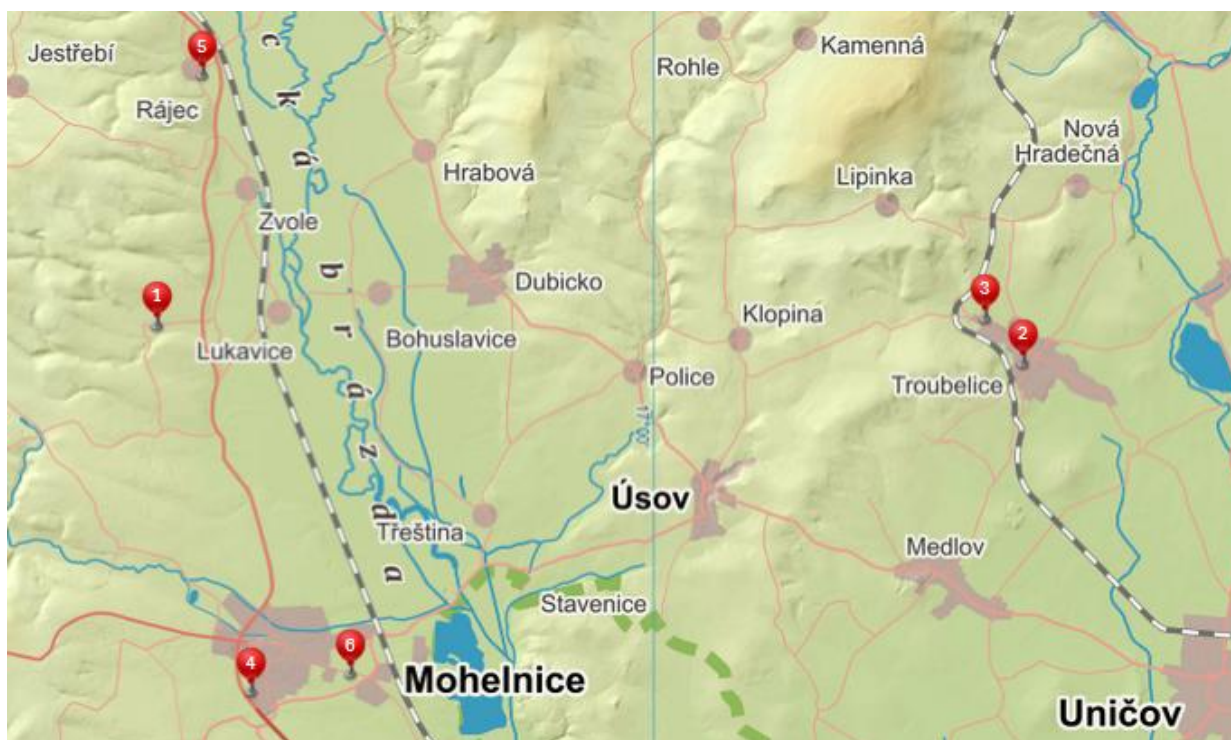
Město Mohelnice se nachází v šumperském okrese v Olomouckém kraji. Studna je umístěna v zahrádkářské oblasti na okraji Mohelnice. Tato studna je kopaná, její hloubka je 6,5 m a má pískovcové podloží. Nedaleko studny se nachází kompost a dálnice. Podloží studny se skládá z písku a jílu. U tohoto zdroje vody můžeme předpokládat zvýšené množství železa a další výskyt látek, které jsou ve vodě rozpuštěny.

5. Studna Rájec – Rájec 72, 789 01 Zábřeh

Obec Rájec se nachází severně od Mohelnice ve vzdálenosti asi 10 km. Rájec patří do okresu Šumperk, který se nachází v Olomouckém kraji. Studna je součástí rodinného domečku. Studna je kopaná a její hloubka dosahuje 8,5 m. Podloží této studny je víceřadé hlína, jíla a štěrk. Na rozdíl od ostatních studní je tento zdroj vody dopravován železnými trubkami a je používán pro pitné účely. Proto lze předpokládat, že u tohoto zdroje vody nebudou příliš překročené parametry.

6. Studna Mohelnice hřbitov – Družstevní 8, 789 85, Mohelnice

Tato studna se nachází v rovném terénu na okraji města na místním hřbitově. Studna je 8 m hluboká a její podloží jsou štěrky, písky a v malém množství jíly. V blízkosti zdroje vody jsou hroby s rozkládajícími těly a plochy určené k zemědělské činnosti. Z těchto důvodů lze předpokládat, že voda bude obsahovat hodně rozpuštěných látek, které mohou způsobit vyšší tvrdost vody a ovlivnit celkovou kvalitu vody.



Obrázek 6: Mapa všech odebraných vzorků

3.4. Příprava činidel

3.4.1. Vybarvovací činidlo (VČ)

V 1000 ml odměrné baňce se v demineralizované vodě nechá rozpustit salicylan sodný a dihydrát citronan trisodný. Dále se do baňky přidá demineralizovaná voda asi do objemu 950 ml a potom je přisypán dihydrát nitroprusid sodný. Po rozpuštění je baňka doplněna na celkový objem.

3.4.2. Dichlorisokyanuratan sodný (DIK)

V 500 ml odměrné baňce byl rozpuštěn hydroxid sodný. Baňka s roztokem byla ochlazená na teplotu v místnosti a dále byl přidán dihydrát dichlorisokyanuratan sodný. Musíme nechat pořádně rozpustit. Po rozpuštění byl roztok kvantitativně převeden do 1000 ml baňky a doplněn demineralizovanou vodou. Činidlo je uchováváno v lahvi z tmavého skla a je stále nejméně 2 týdny.

3.5. Jednotlivé metody měření vzorků

3.5.1. Stanovení teploty

Při odběru vody ze studny byla změřena teplota vody, která má vliv na další stanovení. V jednom případě, to byla studna Rájec, byla voda odebírána z kohoutku. Tento vzorek vody se musel nechat výrazněji odpustit než při odběru vody ze studny. Obecně platí, že čím je studna hlubší, voda je chladnější než u studen, které jsou těsně pod povrchem. Teploty jsou zaznamenány v rozmezí za rok odběru vzorku.

Tabulka 1: Naměřená teplota vzorků vody

Studna	Teplota [°C]
Slavoňov	7,7 – 8,5
Troubelice	8,5 – 10,1
Troubelice hřbitov	8,2 – 9,8
Mohelnice zahrada	8,1 – 8,7
Rájec	7,6 – 8,9
Mohelnice hřbitov	7,9 – 8,5

3.5.2. Stanovení pH

Ke stanovení pH jsem použila digitální pH metr 540 GLP s příslušenstvím. Před vlastním měření je nutno provést kalibraci přístroje, která byla prováděna každý pracovní den ráno. Kalibrace se stanovovala pomocí dvou standardních tlumivých roztoků (pH 4 a 7) a dále následovalo měření kontrolního roztoku, který byl zaznamenán do laboratorního deníku.

Teprve potom jsem mohla začít stanovovat svůj vzorek. Skleněná elektroda před každým stanovením musí být opláchnuta demineralizovanou vodou a otřena buničinou. Do kádinky jsem si odlila analyzovaný vzorek, vložila jsem skleněnou elektrodu a na displeji jsem přečetla hodnotu pH a elektrodu opět opláchnula a usušila. V době, kdy se s elektrodou nepracuje, musí být elektroda vložena do tlumivého roztoku, aby nedošlo k jejímu znehodnocení.

Hodnota pH vzorku je závislá na teplotě i vzhledem k disociační rovnováze. Díky tomu se nám při měření na pH metru uvádí i teplota vzorku.

3.5.3. Stanovení konduktivity

Elektrická konduktivita je schopnost iontů, které jsou obsažených ve vodě, vést elektrický proud a závisí na koncentraci a druhu iontů, teplotě a viskozitě roztoku (viz kapitola elektrická konduktivita). Ke stanovení konduktivity jsem použila konduktometr LF 538. Před vlastním měření je nutno provést kalibraci přístroje, která byla prováděna každý pracovní den ráno. Kalibrace se stanovovala pomocí kontrolního roztoku KCl o koncentraci 0,1 mol/l a naměřená hodnota byla zaznamenána do laboratorního deníku. Potom jsem mohla začít stanovovat svůj analyzovaný vzorek. Do kádinky jsem odlila vzorek vody a opatrně jsem vložila vodivostní celu, která byla vždy opláchnuta demineralizovanou vodou a osušena buničinou. Po ustálení hodnoty jsem si ji na displeji přečetla a vodivostní celu opět opláchnula a usušila. Elektrická konduktivita čisté vody při 25 °C je 5,483 $\mu\text{S}/\text{m}$.

3.5.4. Stanovení amonných iontů

Stanovení spočívá v reakci amonných iontů se salicylanem a chlornanovými ionty v přítomnosti nitrosopentakynoželezitanu (nitroprussidu sodného) a vzniká sloučenina, kterou spektrofotometricky měříme při vlnové délce 655 nm. Alkalickou hydrolyzou dichlorisokyanuratanu sodného se tvoří chlornanové ionty. Při pH 12,6 reaguje vznikající chloramin za přítomnosti nitroprussidu sodného se salicylanem sodným. Součástí činidla je i citronan sodný. Ten maskuje rušivé vlivy a to především vápníku a hořčíku.⁶³

Do 50 ml odměrných baněk bylo odpipetováno 25 ml analyzovaného vzorku a do slepého vzorku demineralizovaná voda. Dále byly přidány 4 ml VČ a 4 ml DIK. Nutno opláchnout hrdla baňky, aby nedošlo k dekontaminaci činidla. Odměrné baňky byly doplněny po rysku demineralizovanou vodou, dobře promíchány a baňky byly dány na hodinu do tmy.

⁶³ ČSN ISO 7150-1. *Stanovení amonných iontů*. Část 1: Manuální spektrofotometrická metoda. 1. Vyd. Praha: Český normalizační institut, 1984

Pro kontrolu stanovení byl připraven QC roztok. Do 200 ml odměrné baňky se odpipetovalo mikropipetou 100 µl/l (0,5 mg/l) baňka byla doplněna demineralizovanou vodou. Z tohoto zásobní roztoku bylo odpipetováno 25 ml roztoku do 50 ml odměrné baňky. Další pracovní postup proběhl stejným způsobem jako u stanovovaných vzorků.

Po uplynutí času byly vzorky spektrofotometricky stanoveny při vlnové délce 655 nm. Ke stanovení byly použity 1 cm plastové kyvety, které musely být vyplachovány a utírány do sucha před vložením do přístroje.

3.5.5. Stanovení chloridů, síranů a dusičnanů

Stanovení anorganických iontů jako jsou chloridy, sírany a dusičnany stanovujeme pomocí metody kapilární elektroforézy. Tato separační metoda je založena na odlišné pohyblivosti iontů v roztoku elektrolytu v elektrickém poli. Po elektroforetickém dělení, které probíhá v kapiláře, dochází k detekci jednotlivých aniontů při vhodně zvolené vlnové délce. V této metodě používáme referenční vlnovou délku 315 nm, při které nedochází při průchodu iontů ke změně absorpance a je od tohoto signálu odečten analytický signál, který je získaný při vlnové délce 254 nm. Jednotlivé anionty jsou identifikovány pomocí porovnání spekter a migračních časů s referenčními spektry, migrační časy analytických standardů a jejich referenční spektra a migrační časy (v kalibračních standardech) jsou získány za stejných podmínek, při kterých je prováděno i měření vzorků.

Vzorky před samotnou analýzou není potřeba speciálně upravovat ani konzervovat. Koncentrované vzorky je nutné podle potřeby naředit. V našem případě vzorky vody byly ředěny do 25 ml odměrných baněk podle naměřené vodivosti (viz. tabulka č. 2, 3).

Tabulka 2: Ředění vzorků

Vodivost [µS/cm]	Ředění
0 – 300	Neředí se
300 – 500	1/2
500 – 800	1/5
Nad 800	1/10

Tabulka 3: Ředění vzorků vody

Studny	Ředění
Slavoňov	1/5
Troubelice	1/10
Troubelice hřbitov	1/2
Mohelnice	1/10
Rájec	1/5
Mohelnice hřbitov	1/2

Jestliže vzorky obsahují nerozpuštěné látky, je nutné vzorek zfiltrovat přes mikrofiltr o velikosti pórů 0,45 µm. Po těchto případných úpravách se vzorky převedou do plastových vialek a můžeme je umístit do zásobníku v přístroji podle označení. Přístroj je obsluhován podle příslušných návodů. Po zapnutí přístroje je potřeba provést iniciaci přístroje – automaticky se nahraje naposledy používaná metoda a systém provede automatickou kalibraci. Po iniciaci musíme propláchnout kapiláru hydroxidem sodným, vodou a nakonec pufrem. Pokud jsme nezjistili žádné závady, můžeme zahájit analýzu. Získané údaje stanovovaných vzorků musíme vyhodnotit stejně jako standardy a kontrolní roztoky – integrace píku. Množství iontů ve vzorku je vypočítáno z rovnice kalibrační závislosti píků na koncentraci aniontů. Po ukončení analýzy je nutno provést proplach kapiláry nejprve vodou, dále hydroxidem, vodou a nakonec se oba konce kapiláry nechají ponořené do vody.

3.5.6. Stanovení prvků (Na, Ca, Mg, K, Fe, Mn)

Ultrastopová analytická metoda ICP-MS je založena na detekci a kvantitativním vyhodnocení kladně nabitých iontů některých izotopů měřených prvků. Tato metoda umožňuje analyzovat převážně všechny prvky od lithia až po uran. Tyto atomy prvků, než vstoupí do detektoru, jsou převedeny do formy M^{+64} . K takovému ději dochází v prostředí vysokofrekvenční plazmy ($T = 6000 - 8000 \text{ K}$). Vznikají ionty, částice bez elektrického náboje a fotony, které jsou soustavou štěrbin přiváděny do vakua, kde dochází ze svazku k postupnému oddělení fotonů a nenabitých částic. Svazek kladně nabitých iontů je veden do kvadrupólového hmotnostního detektoru. Díky rozdílné atomové hmotnosti a velikosti náboje dochází

⁶⁴ ČSN EN ISO 17294-2. Stanovení prvků metodou ICP-MS. Hmotnostní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem. Český normalizační institut. 2004

v kvadrupólovém separátoru k dělení částic. Kvadrupól se soustava, která se skládá ze čtyř kovových tyčí o délce 30 až 40 cm a průměru přibližně 10 mm. Na tyče se vkládá elektrické napětí, které je složeno ze stejnosměrné a vysokofrekvenční střídavé složky, ale protilehlé tyče musejí mít přibližně stejnou polaritu. Působení elektromagnetického pole – ionty vstupují do kvadrupólu a rozkmitají se. Za přesně daných podmínek lze docílit, že kvadrupólem proletí jen částice o definované hmotě a dopadnou na detektor. K detekci iontů se používá fotonásobič.

Pokud se stanovují všechny prvky ve vzorku vody, přidává se ke vzorku konc. kyselina dusičná (0,5 ml/100ml vzorku), která slouží ke konzervaci. Konzervace se provádí při doručení vzorku vody do laboratoře či namísto odběru.

Pro každý prvek se musí připravit alespoň 3 kalibrační roztoky a kalibrační blank (slepé stanovení). Kalibrační roztoky se připravují ze standartních roztoků ředěním a přidá se stejné množství kyseliny jako u vzorků. Kalibrační závislost se většinou proměřuje před každou analýzou vzorku.

Před každým měřením by se měl zkontrolovat stav hadiček, které přivádějí vzorek, IS do zmlžovače a odvádějí odpad. Dále kontrola tlaku argonu, stavu a hladiny oleje v pumpách a odpadové nádoby. Teprve potom můžeme zapnout chladicí zařízení a následně zapálit plazma. Kalibrační standardy a vzorky se umístí do dávkovače, napíší se názvy a pořadí vzorků, stanovovaná metoda, ředění vzorků a potom se aspiruje do plazmy. Mezi jednotlivým měřením se dávkovací systém musí promývat blankem nebo demineralizovanou vodou. Jestliže se výsledné koncentrace výrazně liší, než je kalibrační rozsah metody, musíme vzorek naředit nebo opakovat analýzu. Výsledky jsou automaticky vyhodnoceny přístrojem na základě změřené kalibrační křivky. Z výsledků stanovení vápníku a hořčíku vypočítáme tvrdost vody v jednotkách mmol/l (viz tabulka č. 22).

$$\text{Tvrdost vody} = \frac{M_{Ca}}{40,08} + \frac{M_{Mg}}{24,31}$$

3.5.7. Stanovení TOC

Ke stanovení TOC ve vzorcích vody jsem použila přístroj TORCH od firmy Teledyne Tekmar. Je to jednoúčelový katalyzátor. Vzorek vody byl přelit z platové láhve do skleněné lahvičky až po okraj. Nejprve musíme na kalibrovat přístroj podle návodu výrobce a připravit standardy. Kalibrace slouží k ověření analytického systému. Z výsledku stanovení kalibračním roztoků hydrogenftalanu draselného o různých koncentracích se sestrojí kalibrační křivka. Protože přidávaná voda, demineralizovaná voda a chemikálie obsahují

nějaké množství organického uhlíku, musíme z kalibrační křivky odečítat. Ta je sestrojena z hmotnostních koncentrací TOC (mg/l) oproti jednotkám specifické odezvy přístroje. Součástí kalibrace je i slepé stanovení organického uhlíku ve vodě.

$$\text{TOC} = \text{TC} - \text{TIC}$$

Před stanovením TOC musíme okyselený vzorek vody zbavit anorganického uhlíku a to probubláním plynem, který neobsahuje CO₂ a organické sloučeniny. Zbytek vzorku se nanese do katalyzátoru, kde se přemění organický uhlík na CO₂ při teplotě 750 °C. Ten nám přechází do IČ detektoru, který nám stanoví kolik je ve vzorku CO₂. Veškeré vstupy musí být čisté (bez organického uhlíku). TORCH je ideální pro odpadní vody a je vhodný pro hůře spalitelné sloučeniny.



Obrázek 7: TORCH – Teledyne Tekmar⁶⁵

3.6. Hydrometeorologická data

Pro zdůvodnění změn v naměřených datech, které byly porovnávány se změnami průměrných měsíčních teplot a průměrných měsíčních srážek s dlouhodobými průměry v časovém rozmezí od 1961 do 1990. Data byla po odborné konzultaci získána z webu Českého hydrometeorologického ústavu (průměrná data pro Olomoucký kraj).

⁶⁵ Teledyne Tekmar [online]. [2015-04-18]. Dostupné z <<http://www.teledynetekmar.com/products/TOC/Torch/literature.asp>>

3.6.1. Naměřená průměrná teplota

Tabulka 4: Průměrné měsíční teploty srovnané s dlouhodobým průměrem I (1961 – 1990)

Měsíc	Květen	Červen	Červenec	Srpen	Září	Říjen	Listopad	Prosinec
T	12,3	15,8	19,4	15,9	14,1	9,6	6,3	1,0
N	12,5	15,5	16,9	16,5	13,0	8,2	2,7	-1,3
O	-0,2	0,3	2,5	-0,6	1,1	1,4	3,6	2,3

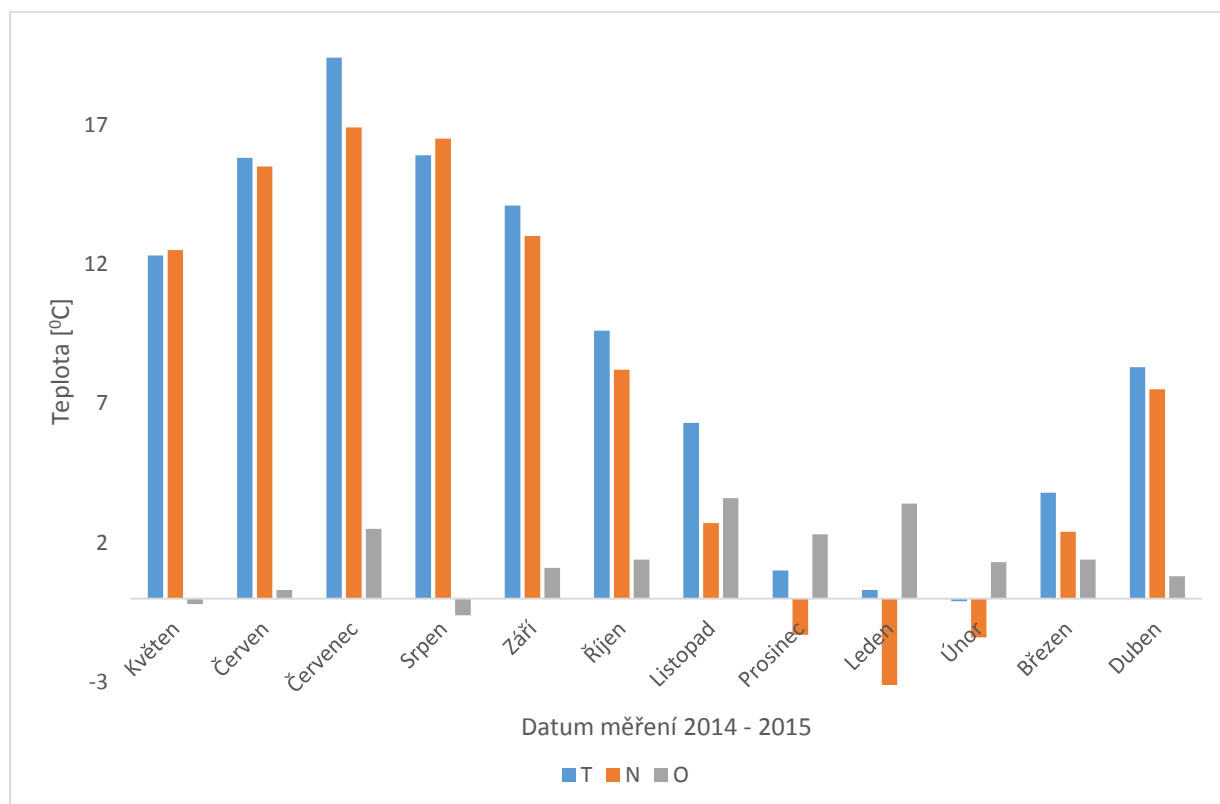
Tabulka 5: Průměrné měsíční teploty srovnané s dlouhodobým průměrem II (1961 – 1990)

Měsíc	Leden	Únor	Březen	Duben
T	0,3	-0,1	3,8	8,3
N	-3,1	-1,4	2,4	7,5
O	3,4	1,3	1,4	0,8

T ... teplota vzduchu [°C]

N ... dlouhodobý normál teploty vzduchu 1961-1990 [°C]

O ... odchylka od normálu [°C]



Obrázek 8: Průměrné měsíční teploty srovnané s dlouhodobým průměrem I, II (1961 – 1990)

3.6.2. Naměřené průměrné srážky

Tabulka 6: Průměrné měsíční srážky srovnané s dlouhodobým průměrem I (1961 – 1990)

Měsíc	Květen	Červen	Červenec	Srpen	Září	Říjen	Listopad	Prosinec
S	96	53	82	102	94	41	24	41
N	80	94	90	84	55	48	56	52
%	120	56	91	121	171	85	43	79

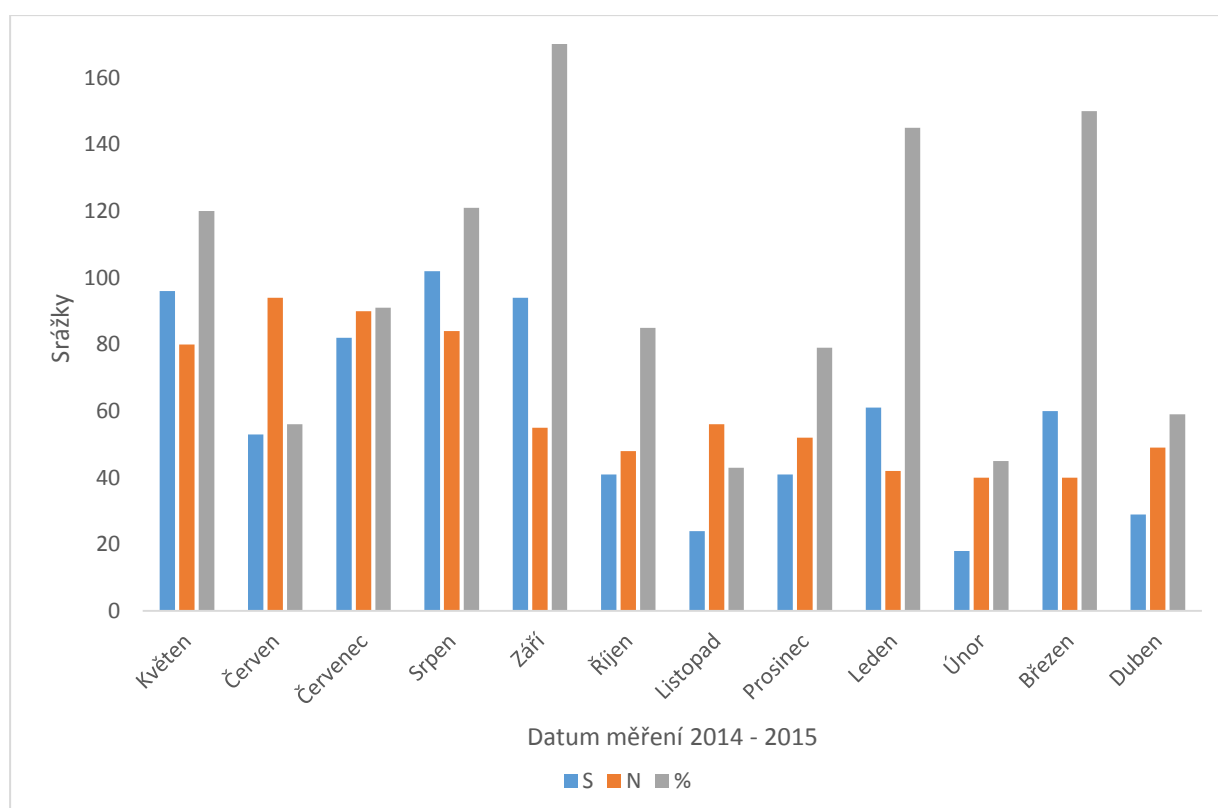
Tabulka 7: Průměrné měsíční srážky srovnané s dlouhodobým průměrem II (1961 – 1990)

Měsíc	Leden	Únor	Březen	Duben
S	61	18	60	29
N	42	40	40	49
%	145	45	150	59

S ...úhrn srážek [mm]

N ... dlouhodobý srážkový normál 1961-1990 [mm]

% ... úhrn srážek v % normálu 1961–1990



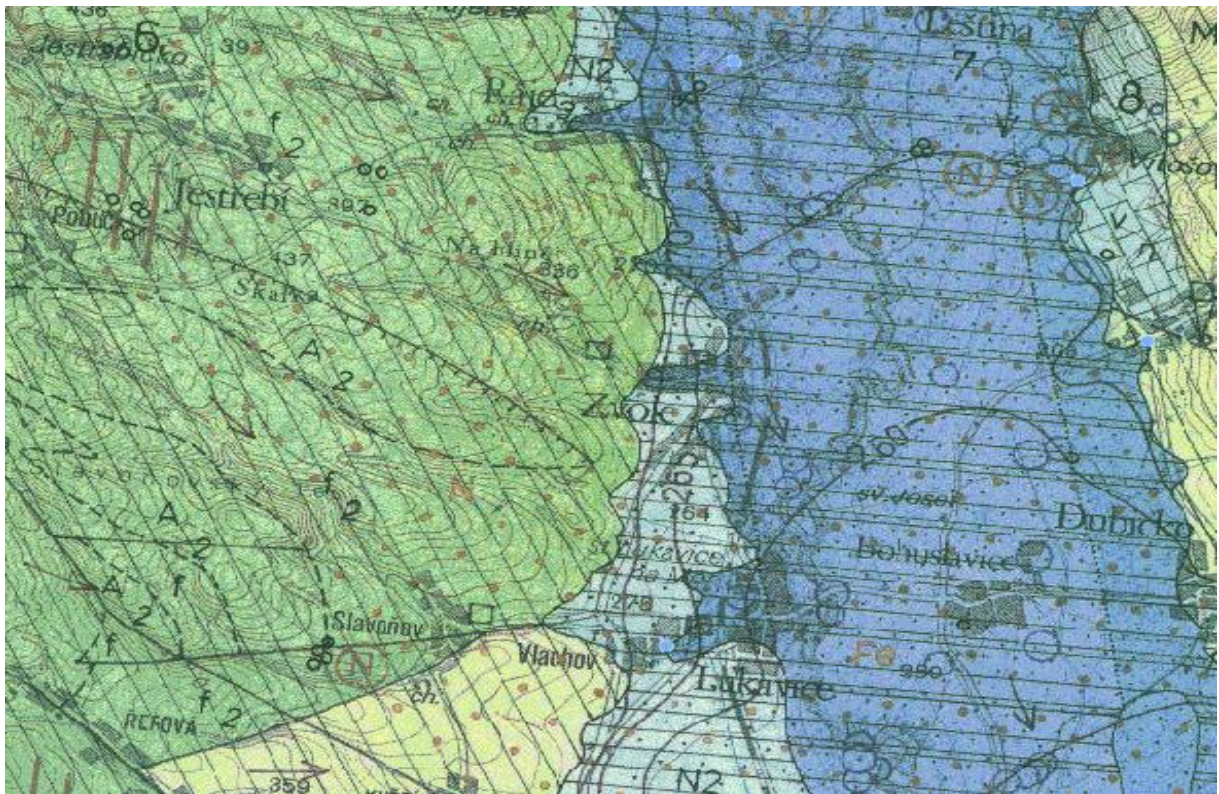
Obrázek 9: Průměrné měsíční srážky srovnané s dlouhodobým průměrem I, II (1961-1990)

3.7. Hydrogeologické mapy

Znázorněné hydrogeologické mapy znázorňují podzemní vodu, směr proudění vody, zvýšené faktory ve zdrojích vody a další informace. Legendy jsou umístěny v příloze 3.



Obrázek 10: Mapa Mohelnice



Obrázek 11: Mapa Rájce a Slavoňova



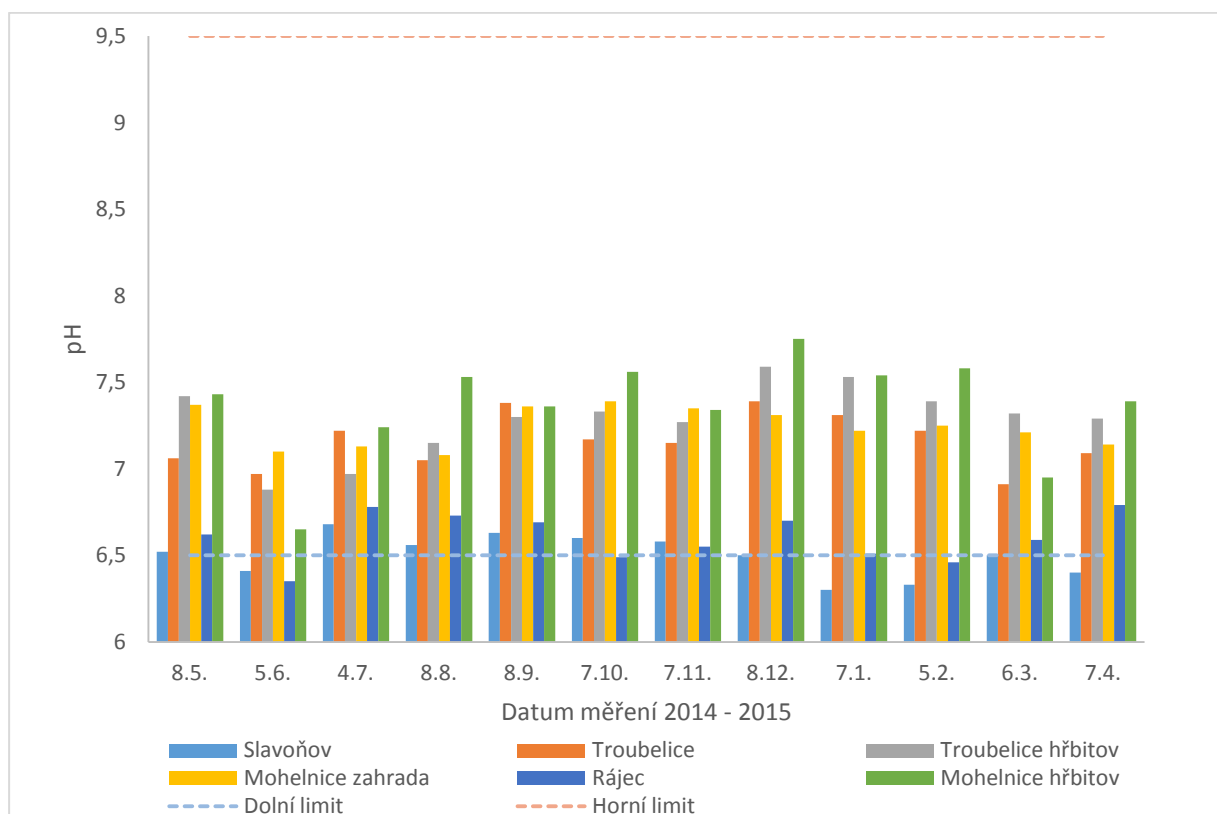
Obrázek 12: Mapa Troubelic

4. Výsledky a diskuze:

4.1. pH

Tabulka 8: Hodnoty pH v jednotlivých měsících a odběrných místech

Datum měření	pH			Limit: 6,5 – 9,5		
	Slavoňov	Troubelice	Troubelice hřbitov	Mohelnice Zahrada	Rájec	Mohelnice Hřbitov
8. 5. 2014	6,52	7,06	7,42	7,37	6,62	7,43
5. 6. 2014	6,41	6,97	6,88	7,10	6,35	6,65
4. 7. 2014	6,68	7,22	6,97	7,13	6,78	7,24
8. 8. 2014	6,56	7,05	7,15	7,08	6,73	7,53
8. 9. 2014	6,63	7,38	7,30	7,36	6,69	7,36
7. 10. 2014	6,60	7,17	7,33	7,39	6,49	7,56
7. 11. 2014	6,58	7,15	7,27	7,35	6,55	7,34
8. 12. 2014	6,50	7,39	7,59	7,31	6,70	7,75
7. 1. 2015	6,30	7,31	7,53	7,22	6,51	7,54
5. 2. 2015	6,33	7,22	7,39	7,25	6,46	7,58
6. 3. 2015	6,50	6,91	7,32	7,21	6,59	6,95
7. 4. 2015	6,40	7,09	7,29	7,14	6,79	7,39

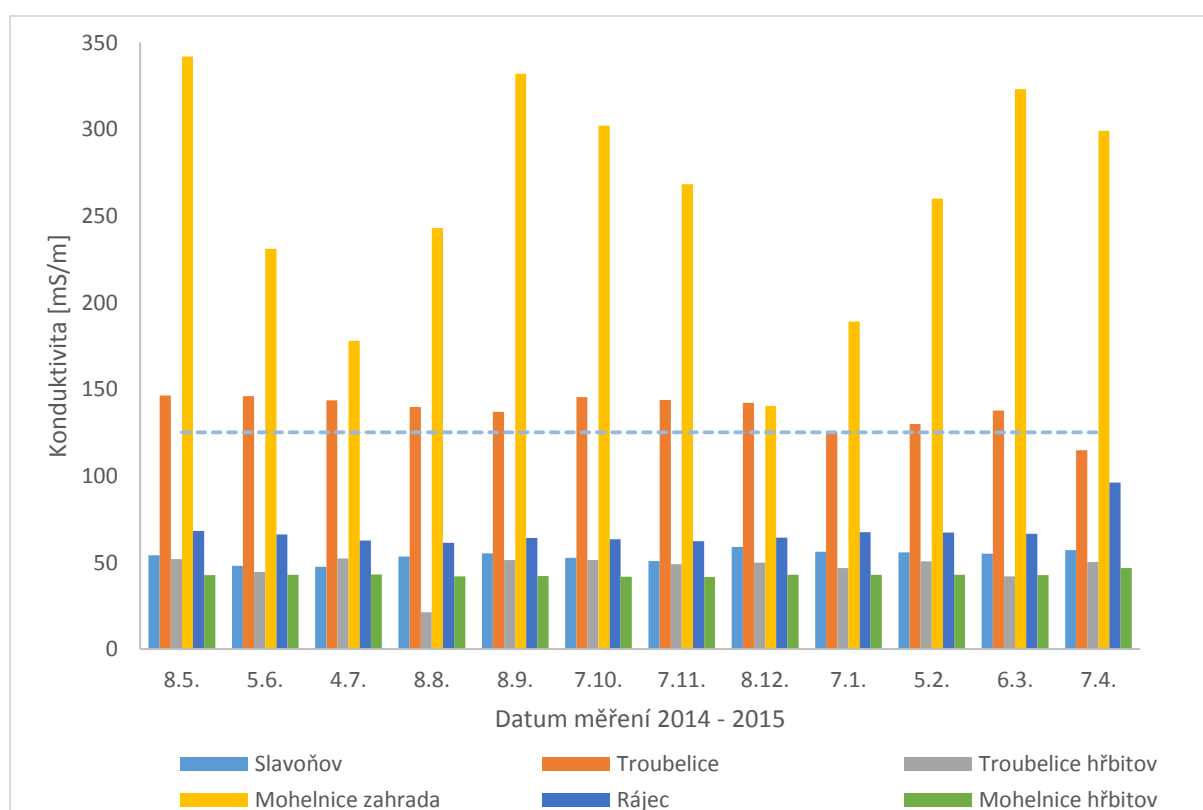


Obrázek 13: Hodnoty pH v jednotlivých měsících a odběrných místech

4.2. Elektrická konduktivita

Tabulka 9: Hodnoty konduktivity v jednotlivých měsících a odběrných místech

Datum měření	κ [mS/m]			Limit: 125 mS/m		
	Slavoňov	Troubelice	Troubelice hřbitov	Mohelnice Zahrada	Rájec	Mohelnice Hřbitov
8. 5. 2014	54,2	146	52,0	342	68,2	42,8
5. 6. 2014	48,0	146	44,5	231	66,1	42,9
4. 7. 2014	47,5	143	52,3	178	62,7	43,0
8. 8. 2014	53,4	140	21,2	243	61,4	42,0
8. 9. 2014	55,2	137	51,3	332	64,1	42,1
7. 10. 2014	52,6	145	51,3	302	63,4	41,8
7. 11. 2014	50,8	144	48,9	268	62,2	41,6
8. 12. 2014	58,9	142	50,0	140	64,4	42,9
7. 1. 2015	56,2	16	46,7	189	67,5	42,9
5. 2. 2015	55,8	130	50,7	260	67,3	42,9
6. 3. 2015	55,1	138	42,0	323	66,6	42,8
7. 4. 2015	57,1	115	50,2	299	96,0	46,7

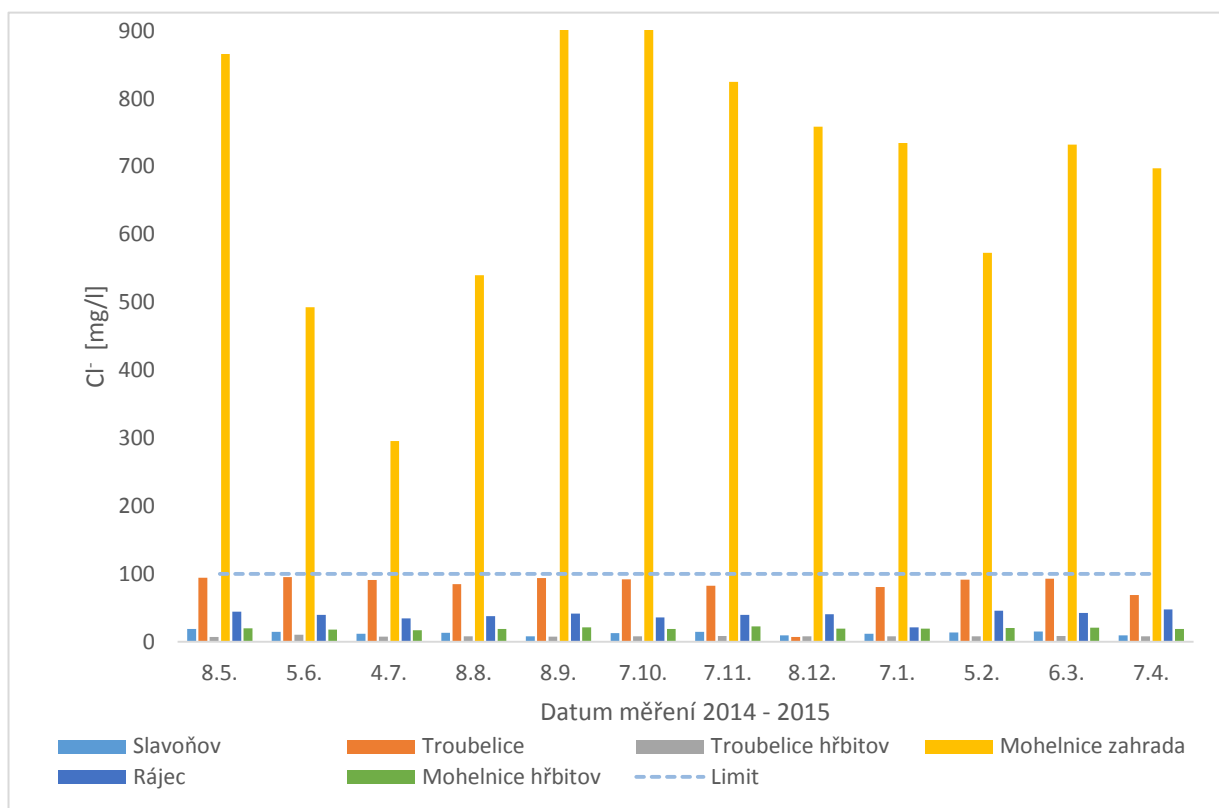


Obrázek 14: Hodnoty konduktivity v jednotlivých měsících a odběrných místech

4.3. Chloridy

Tabulka 10: Hodnoty Cl⁻ v jednotlivých měsících a odběrných místech

Datum měření	Cl ⁻ [mg/l]			Limit: 100 mg/l		
	Slavoňov	Troubelice	Troubelice hřbitov	Mohelnice zahrada	Rájec	Mohelnice Hřbitov
8. 5. 2014	18,8 / 19,1	94,6 / 95,1	7,06 / 7,01	866 / 869	44,2 / 39,7	19,6 / 19,4
5. 6. 2014	14,7 / 14,9	95,2 / 95,7	10,3 / 11,1	493 / 491	39,7 / 37,1	17,9 / 17,2
4. 7. 2014	11,6 / 11,4	91,1 / 91,8	7,54 / 7,60	295 / 299	34,4 / 34,8	17,1 / 17,8
8. 8. 2014	13,2 / 13,3	84,9 / 84,8	8,06 / 8,02	540 / 547	37,5 / 37,8	18,9 / 18,2
8. 9. 2014	7,89 / 7,93	93,8 / 93,7	7,47 / 7,50	922 / 928	41,7 / 41,4	21,4 / 21,9
7. 10. 2014	12,5 / 13,1	91,8 / 91,6	7,86 / 7,81	945 / 951	36,0 / 36,9	18,8 / 18,1
7. 11. 2014	14,8 / 14,0	82,6 / 82,4	8,26 / 8,32	825 / 820	39,4 / 39,6	22,8 / 22,0
8. 12. 2014	9,64 / 9,62	7,19 / 7,23	8,19 / 8,13	759 / 752	40,6 / 40,1	19,4 / 19,5
7. 1. 2015	11,8 / 11,1	80,6 / 81,2	8,07 / 8,11	735 / 741	21,0 / 22,5	19,4 / 19,4
5. 2. 2015	13,9 / 13,3	91,5 / 91,6	7,77 / 7,79	573 / 576	45,6 / 45,1	20,3 / 20,4
6. 3. 2015	15,1 / 14,7	93,0 / 92,7	8,47 / 8,53	732 / 739	42,6 / 43,1	20,8 / 20,2
7. 4. 2015	9,54 / 9,62	68,9 / 68,0	7,89 / 7,81	697 / 691	47,7 / 47,0	19,0 / 19,2

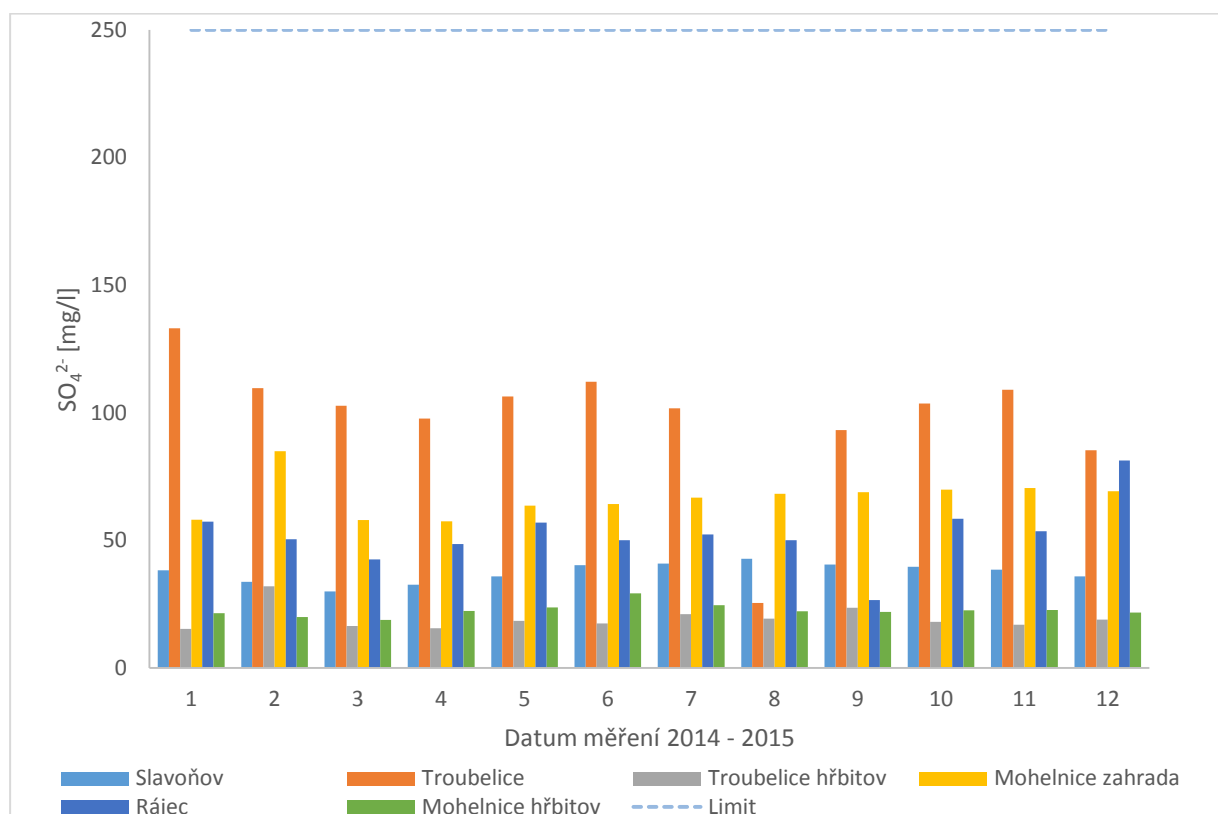


Obrázek 15: Hodnoty chloridů v jednotlivých měsících a odběrných místech

4.4. Sírany

Tabulka 11: Hodnoty SO_4^{2-} v jednotlivých měsících a odběrných místech

Datum měření	SO_4^{2-} [mg/l]			Limit: 250 mg/l		
	Slavoňov	Troubelice	Troubelice hřbitov	Mohelnice Zahrada	Rájec	Mohelnice Hřbitov
8. 5. 2014	38,2	133,1	15,3	58,2	57,4	21,5
5. 6. 2014	33,8	109,6	32,0	84,9	50,4	20,0
4. 7. 2014	30,1	102,8	16,5	57,9	42,6	18,8
8. 8. 2014	32,6	97,8	15,6	57,5	48,6	22,4
8. 9. 2014	35,9	106,3	18,5	63,6	57,0	23,7
7. 10. 2014	40,3	112,2	17,5	64,3	50,1	29,3
7. 11. 2014	41,0	101,7	21,1	66,8	52,3	24,6
8. 12. 2014	42,8	25,4	19,3	68,2	50,1	22,3
7. 1. 2015	40,6	93,2	23,6	68,9	26,6	22,0
5. 2. 2015	39,7	103,6	18,1	69,9	58,4	22,7
6. 3. 2015	38,6	109,0	17,0	70,6	53,6	22,8
7. 4. 2015	35,9	85,4	19,0	69,3	81,3	21,7

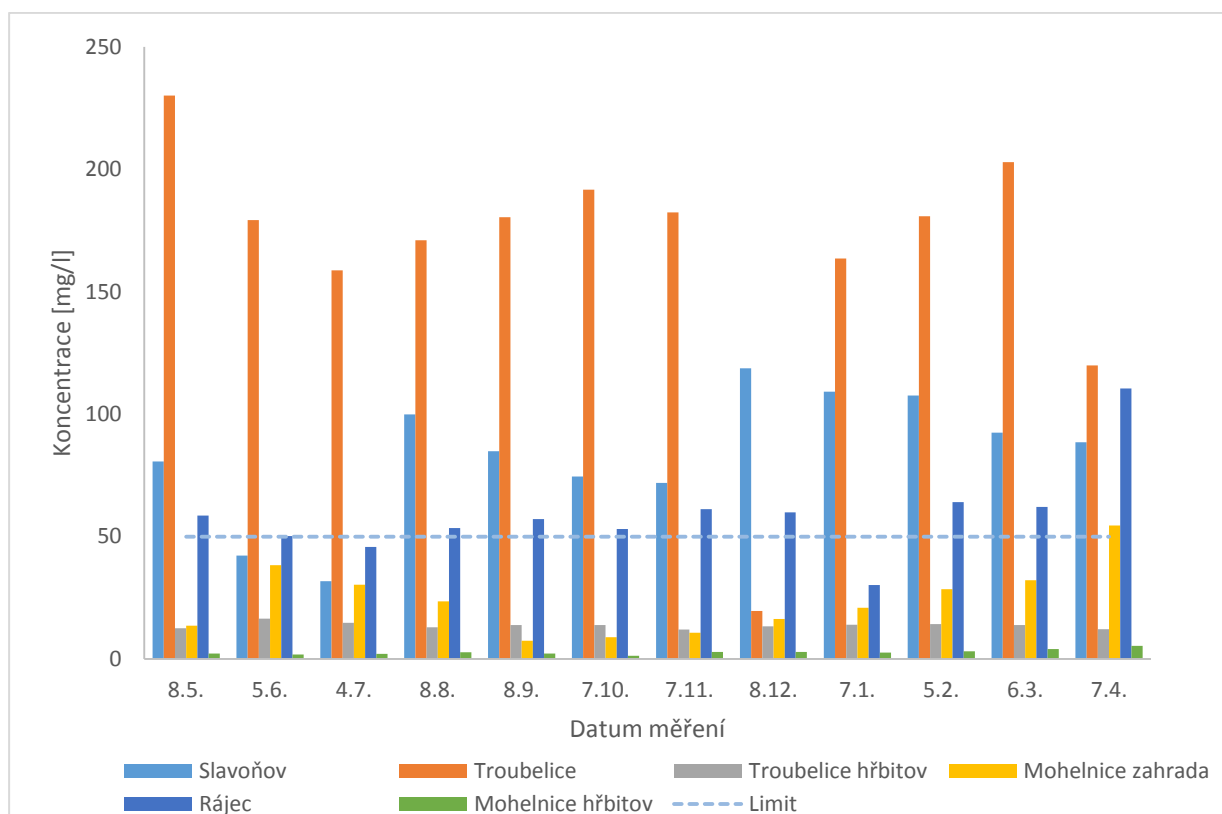


Obrázek 16: Hodnoty SO_4^{2-} v jednotlivých měsících a odběrných místech

4.5. Dusičnany

Tabulka 12: Hodnoty NO_3^- v jednotlivých měsících a odběrných místech

Datum měření	NO_3^- [mg/l]			Limit: 50 mg/l		
	Slavoňov	Troubelice	Troubelice hřbitov	Mohelnice zahrada	Rájec	Mohelnice Hřbitov
8. 5. 2014	80,7 / 81,1	230 / 231	12,6	13,6	58,6 / 58,4	2,3
5. 6. 2014	42,3 / 43,1	179 / 180	16,4	38,3	50,2 / 50,9	1,9
4. 7. 2014	31,8 / 31,2	158 / 158	14,7	30,3	45,8 / 46,2	2,1
8. 8. 2014	99,9 / 99,5	171 / 172	13,0	23,6	53,5 / 54,1	2,8
8. 9. 2014	84,8 / 85,4	180 / 181	13,9	7,5	57,1 / 57,5	2,3
7. 10. 2014	74,5 / 73,9	192 / 190	13,9	9,0	53,1 / 63,4	1,3
7. 11. 2014	71,9 / 71,6	182 / 183	12,1	10,7	61,2 / 61,8	2,9
8. 12. 2014	118,8/119,2	196 / 198	13,4	16,4	59,9 / 59,0	2,9
7. 1. 2015	109,2/109,9	174 / 176	14,1	20,9	30,2 / 30,5	2,6
5. 2. 2015	107,7/107,2	181 / 182	14,3	28,5	64,1 / 64,7	3,1
6. 3. 2015	92,5/93,1	203 / 202	13,9	32,2	62,1 / 62,9	4,1
7. 4. 2015	88,5/88,0	119 / 118	12,2	54,5 / 54,8	110,5/110,2	5,4

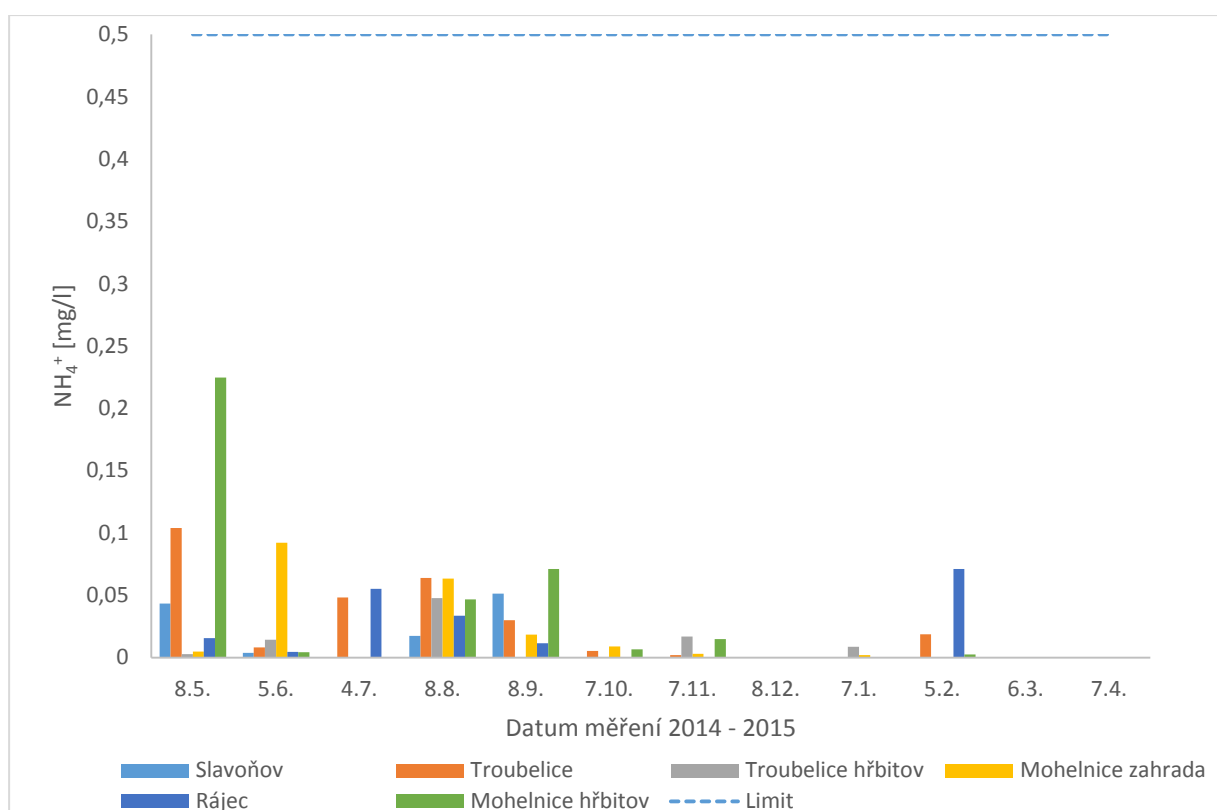


Obrázek 17: Hodnoty NO_3^- v jednotlivých měsících a odběrných místech

4.6. Amonné ionty

Tabulka 13: Hodnoty NH_4^+ v jednotlivých měsících a odběrných místech

Datum měření	NH_4^+ [mg/l]			Limit: 0,50 mg/l		
	Slavoňov	Troubelice	Troubelice hřbitov	Mohelnice Zahrada	Rájec	Mohelnice Hřbitov
8. 5. 2014	0,04	0,104	0,003	0,005	0,016	0,225
5. 6. 2014	0,004	0,008	0,014	0,092	0,005	0,0043
4. 7. 2014	< 0,002	0,048	< 0,002	< 0,002	0,055	< 0,002
8. 8. 2014	0,0174	0,064	0,048	0,063	0,034	0,048
8. 9. 2014	0,0514	0,030	< 0,002	0,0185	0,012	0,071
7. 10. 2014	< 0,002	0,005	< 0,002	0,009	< 0,002	0,007
7. 11. 2014	< 0,002	0,002	0,017	0,003	< 0,002	0,015
8. 12. 2014	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002
7. 1. 2015	< 0,002	< 0,002	0,009	0,002	< 0,002	< 0,002
5. 2. 2015	< 0,002	0,019	< 0,002	< 0,002	0,071	0,003
6. 3. 2015	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002
7. 4. 2015	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002

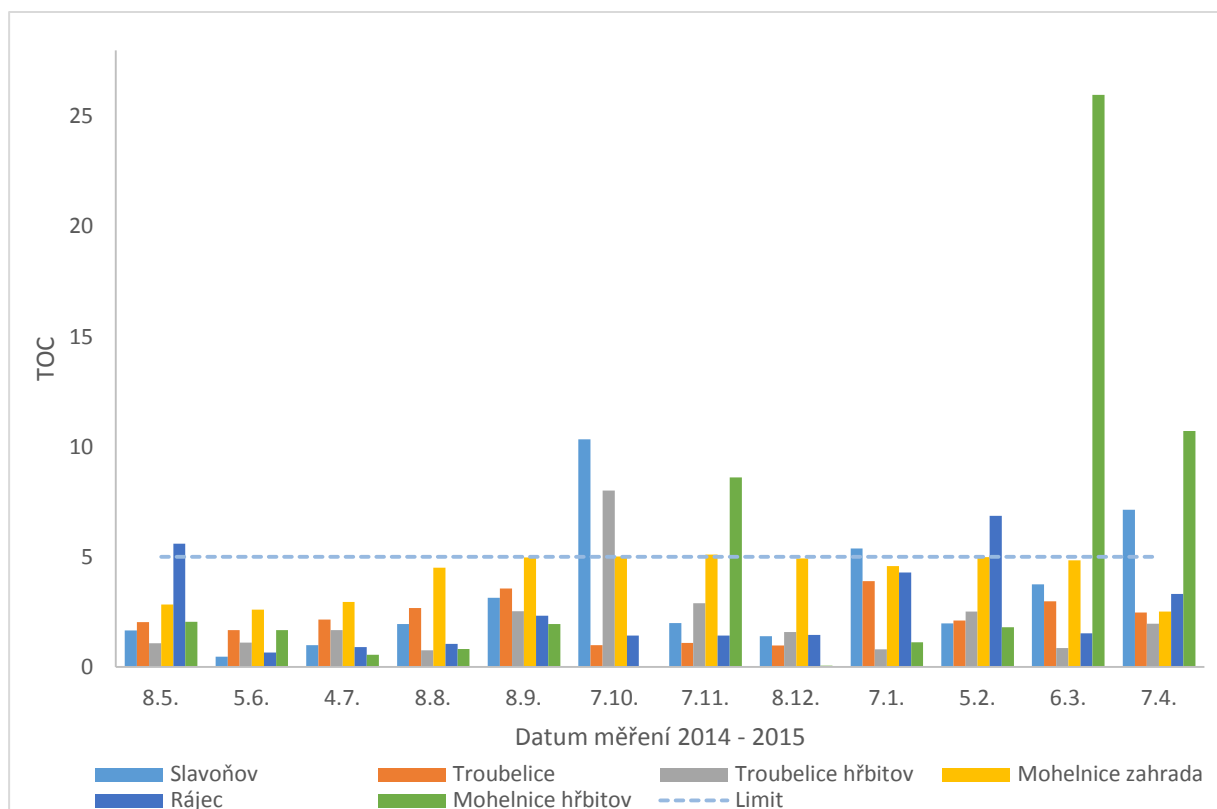


Obrázek 18: Hodnoty NH_4^+ v jednotlivých měsících a odběrných místech

4.7. TOC

Tabulka 14: Hodnoty TOC v jednotlivých měsících a odběrných místech

Datum měření	TOC			Limit: 5 mg/l		
	Slavoňov	Troubelice	Troubelice hřbitov	Mohelnice zahrada	Rájec	Mohelnice Hřbitov
8. 5. 2014	1,66 / 1,68	2,03	1,08	2,84 / 2,89	5,60 / 5,52	2,05 / 2,07
5. 6. 2014	0,47 / 0,53	1,68	1,11	2,60 / 2,64	0,66 / 0,68	1,68 / 1,72
4. 7. 2014	0,99 / 1,03	2,16	1,67	2,95 / 3,02	0,91 / 0,88	0,56 / 0,58
8. 8. 2014	1,95 / 1,91	2,68	0,75	4,51 / 4,49	1,05 / 1,01	0,82 / 0,84
8. 9. 2014	3,14 / 3,16	3,56	2,53	4,98 / 4,91	2,32 / 2,28	1,95 / 1,87
7. 10. 2014	10,3 / 9,7	0,99	8,00 / 7,91	5,02 / 4,94	1,42 / 1,39	0,00 / 0,02
7. 11. 2014	1,99 / 2,02	1,09	2,89	5,10 / 5,02	1,43 / 1,37	8,60 / 8,52
8. 12. 2014	1,40 / 1,45	0,98	1,58	4,93 / 4,95	1,45 / 1,48	0,06 / 0,12
7. 1. 2015	5,38 / 5,31	3,90	0,80	4,58 / 4,51	4,30 / 4,23	1,12 / 1,19
5. 2. 2015	1,98 / 1,99	2,11	2,51	4,98 / 4,93	6,86 / 6,74	1,81 / 1,91
6. 3. 2015	3,75 / 3,72	2,99	0,86	4,85 / 4,92	1,52 / 1,42	25,9 / 25,0
7. 4. 2015	7,14 / 7,08	2,48	1,96	2,52 / 2,57	3,31 / 3,25	10,7/9,91

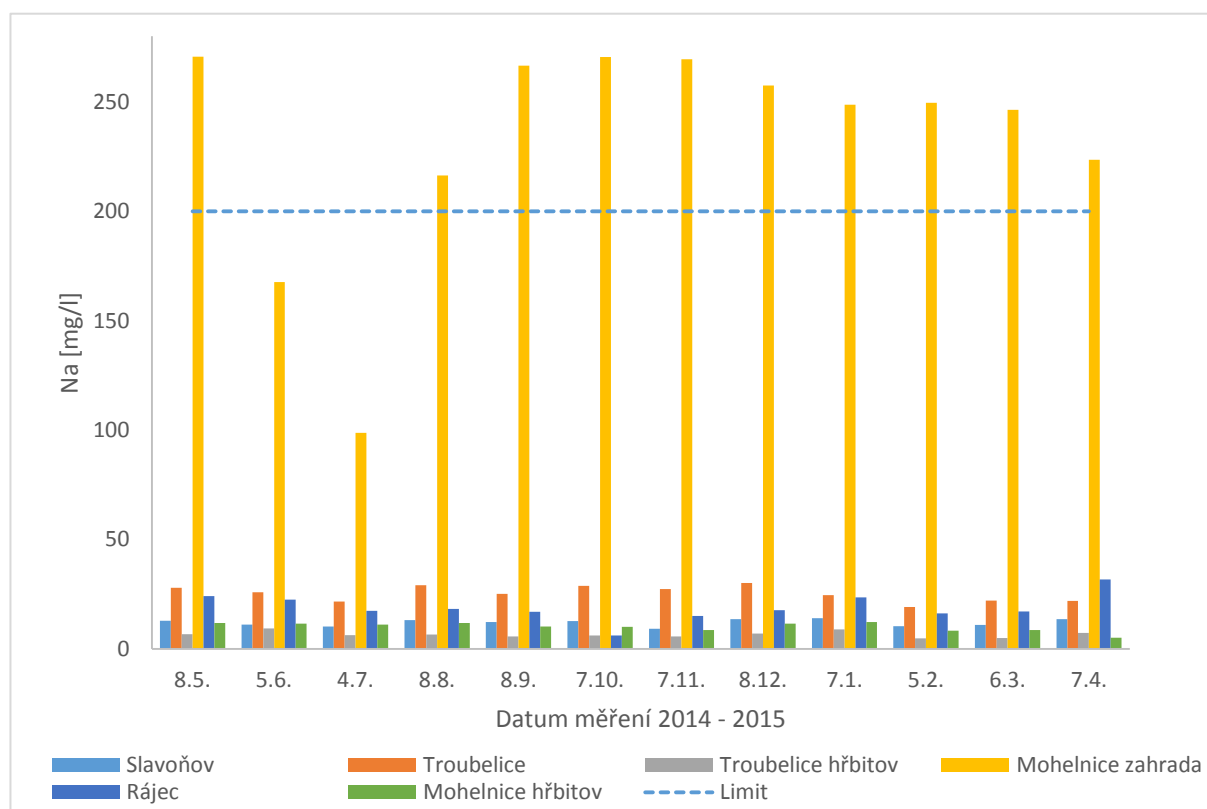


Obrázek 19: Hodnoty TOC v jednotlivých měsících a odběrných místech

4.8. Prvky (Na, Ca, Mg, K, Fe, Mn)

Tabulka 15: Hodnoty Na v jednotlivých měsících a odběrných místech

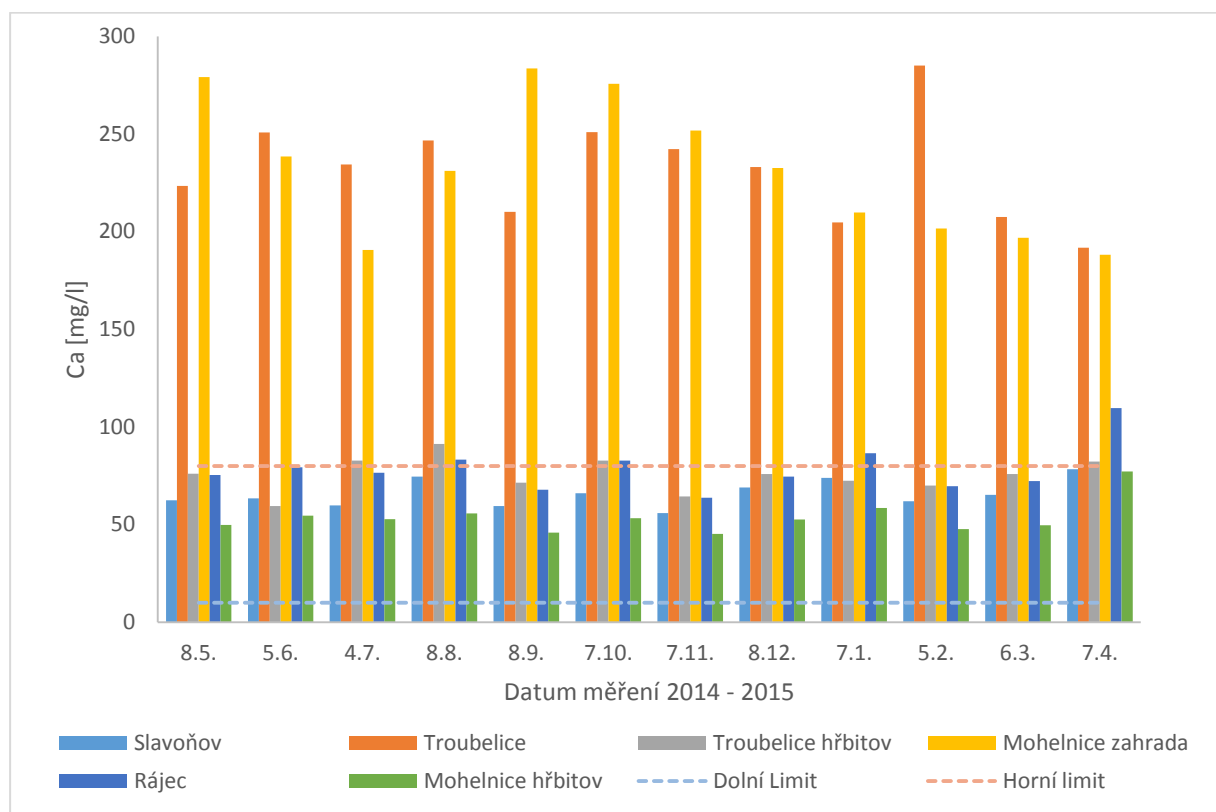
Datum měření	Na [mg/l]			Limit: 200 mg/l		
	Slavoňov	Troubelice	Troubelice hřbitov	Mohelnice zahrada	Rájec	Mohelnice Hřbitov
8. 5. 2014	12,9	28,0	6,74	271	24,1	11,9
5. 6. 2014	11,2	25,9	9,40	168	22,5	11,6
4. 7. 2014	10,4	21,7	6,35	98,8	17,4	11,2
8. 8. 2014	13,3	29,2	6,62	216	18,4	11,9
8. 9. 2014	12,4	25,3	5,78	267	17,0	10,3
7. 10. 2014	12,7	28,9	6,21	270	6,21	10,2
7. 11. 2014	9,33	27,5	5,72	269	15,1	8,74
8. 12. 2014	13,6	30,2	7,15	257	17,7	11,6
7. 1. 2015	14,1	24,6	8,98	249	23,6	12,4
5. 2. 2015	10,4	19,3	4,88	250	16,3	8,46
6. 3. 2015	10,9	22,1	5,10	246	17,2	8,66
7. 4. 2015	13,7	22,0	7,32	224	31,8	5,22



Obrázek 20: Hodnoty Na v jednotlivých měsících a odběrných místech

Tabulka 16: Hodnoty Ca v jednotlivých měsících a odběrných místech

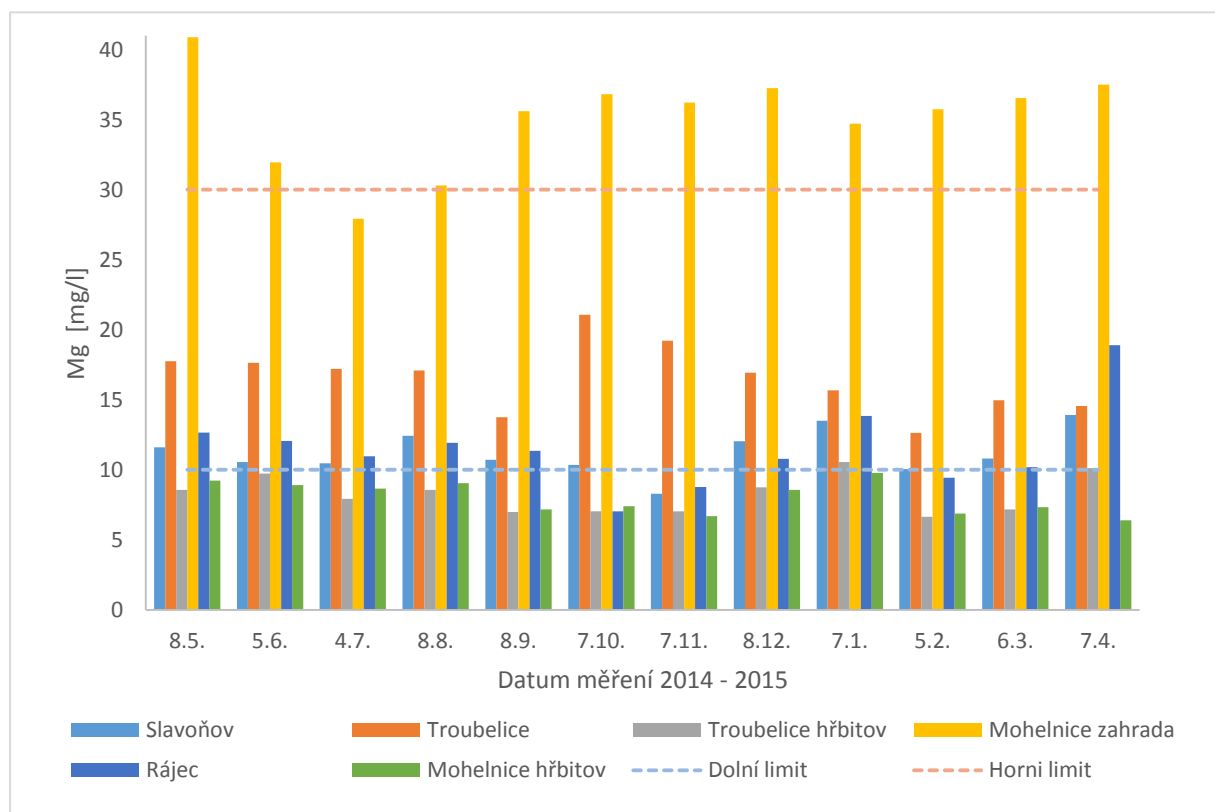
Datum měření	Ca [mg/l]			Limit: MH 30 mg/l, DH: 40 – 80 mg/l		
	Slavoňov	Troubelice	Troubelice hřbitov	Mohelnice zahrada	Rájec	Mohelnice Hřbitov
8. 5. 2014	62,3	223 / 225	76,1	279 / 270	75,4	49,7
5. 6. 2014	63,3	251 / 259	59,4	238 / 232	79,2	54,5
4. 7. 2014	59,7	234 / 231	82,8	191 / 199	76,6	52,7
8. 8. 2014	74,5	247 / 241	91,3	231 / 227	83,2	55,7
8. 9. 2014	59,4	210 / 218	71,4	284 / 286	67,9	45,8
7. 10. 2014	66,1	251 / 248	82,8	276 / 271	82,8	53,2
7. 11. 2014	55,8	242 / 238	64,4	252 / 259	63,8	45,2
8. 12. 2014	69,0	233 / 237	75,9	234 / 234	74,6	52,8
7. 1. 2015	73,9	205 / 214	72,4	209 / 214	86,4	58,4
5. 2. 2015	61,9	285 / 277	69,9	202 / 209	69,7	47,6
6. 3. 2015	65,2	208 / 206	75,9	197 / 196	72,2	49,5
7. 4. 2015	78,3	192 / 195	82,3	188 / 185	109,7	77,2



Obrázek 21: Hodnoty Ca v jednotlivých měsících a odběrných místech

Tabulka 17: Hodnoty Mg v jednotlivých měsících a odběrných místech

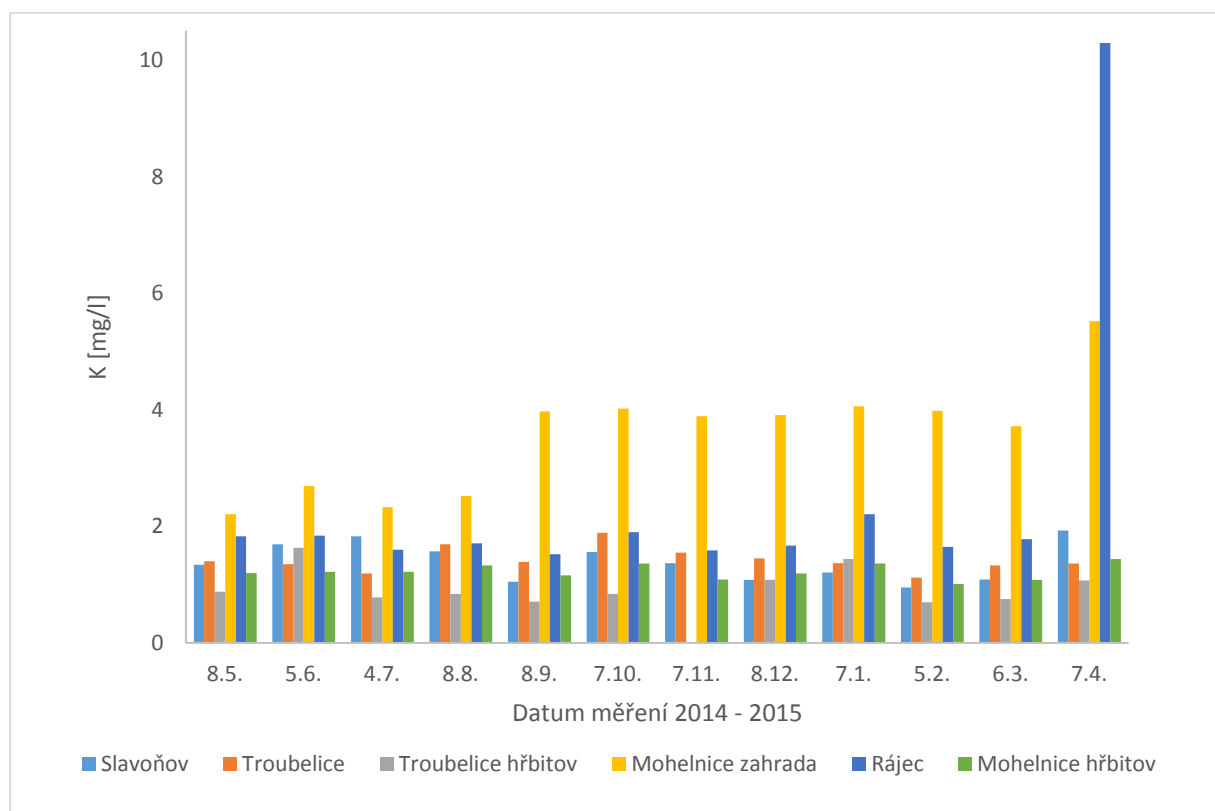
Datum měření	Mg [mg/l]			Limit: MH: 10 mg/l, DH: 20 – 30 mg/l		
	Slavoňov	Troubelice	Troubelice hřbitov	Mohelnice Zahrada	Rájec	Mohelnice Hřbitov
8. 5. 2014	11,6	17,8 / 17,6	8,6	40,9 / 41,5	12,7	9,2
5. 6. 2014	10,6	17,6 / 17,9	9,7	32,0 / 32,2	12,1	8,9
4. 7. 2014	10,5	17,2 / 17,5	7,9	27,9 / 28,3	11,0	8,7
8. 8. 2014	12,4	17,1 / 17,7	8,6	30,3 / 29,9	11,9	9,1
8. 9. 2014	10,7	13,8 / 14,5	7,0	35,6 / 35,1	11,4	7,2
7. 10. 2014	10,4	21,1 / 20,6	7,0	36,8 / 37,2	7,0	7,4
7. 11. 2014	8,3	19,2 / 18,8	7,0	36,2 / 36,9	8,8	6,7
8. 12. 2014	12,0	16,9 / 17,3	8,7	37,3 / 37,7	10,8	8,6
7. 1. 2015	13,5	15,7 / 15,2	10,5	34,7 / 34,2	13,8	9,8
5. 2. 2015	10,0	12,6 / 13,2	6,6	35,7 / 35,9	9,4	6,9
6. 3. 2015	10,8	15,0 / 15,4	7,2	36,5 / 36,7	10,2	7,3
7. 4. 2015	13,9	14,6 / 14,9	10,1	37,5 / 37,2	18,9	6,4



Obrázek 22: Hodnoty Mg v jednotlivých měsících a odběrných místech

Tabulka 18: Hodnoty K v jednotlivých měsících a odběrných místech

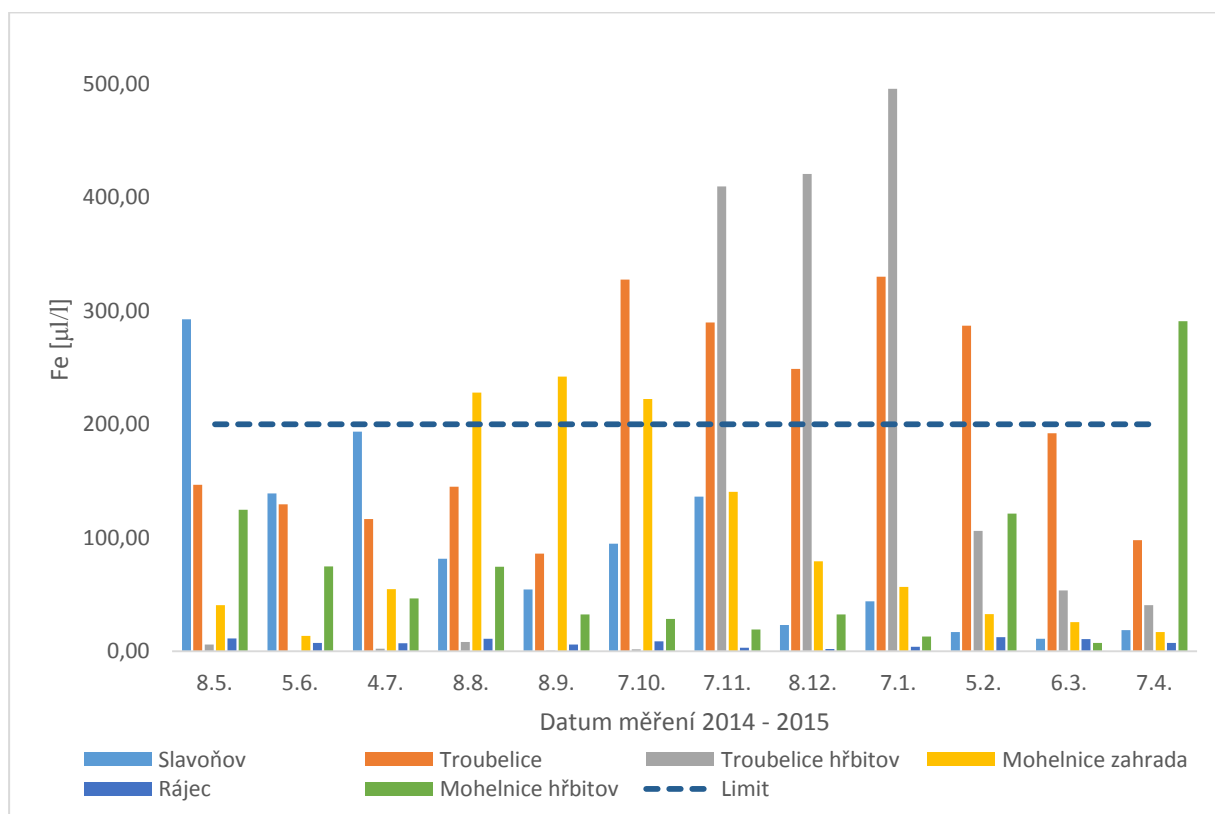
Datum měření	K [mg/l]			Limit: -		
	Slavoňov	Troubelice	Troubelice hřbitov	Mohelnice zahrada	Rájec	Mohelnice hřbitov
8. 5. 2014	1,34	1,40	0,88	2,21	1,83	1,20
5. 6. 2014	1,69	1,35	1,63	2,69	1,84	1,22
4. 7. 2014	1,83	1,19	0,78	2,33	1,60	1,22
8. 8. 2014	1,57	1,69	0,84	2,52	1,71	1,33
8. 9. 2014	1,05	1,39	0,71	3,97	1,52	1,16
7. 10. 2014	1,56	1,89	0,84	4,02	1,90	1,36
7. 11. 2014	1,37	1,55	0,00	3,89	1,59	1,09
8. 12. 2014	1,08	1,45	1,08	3,91	1,67	1,19
7. 1. 2015	1,21	1,37	1,44	4,06	2,21	1,36
5. 2. 2015	0,95	1,12	0,70	3,98	1,65	1,01
6. 3. 2015	1,09	1,33	0,75	3,72	1,78	1,08
7. 4. 2015	1,93	1,36	1,07	5,52	10,3	1,44



Obrázek 23: Hodnoty K v jednotlivých měsících a odběrných místech

Tabulka 19: Hodnoty Fe v jednotlivých měsících a odběrných místech

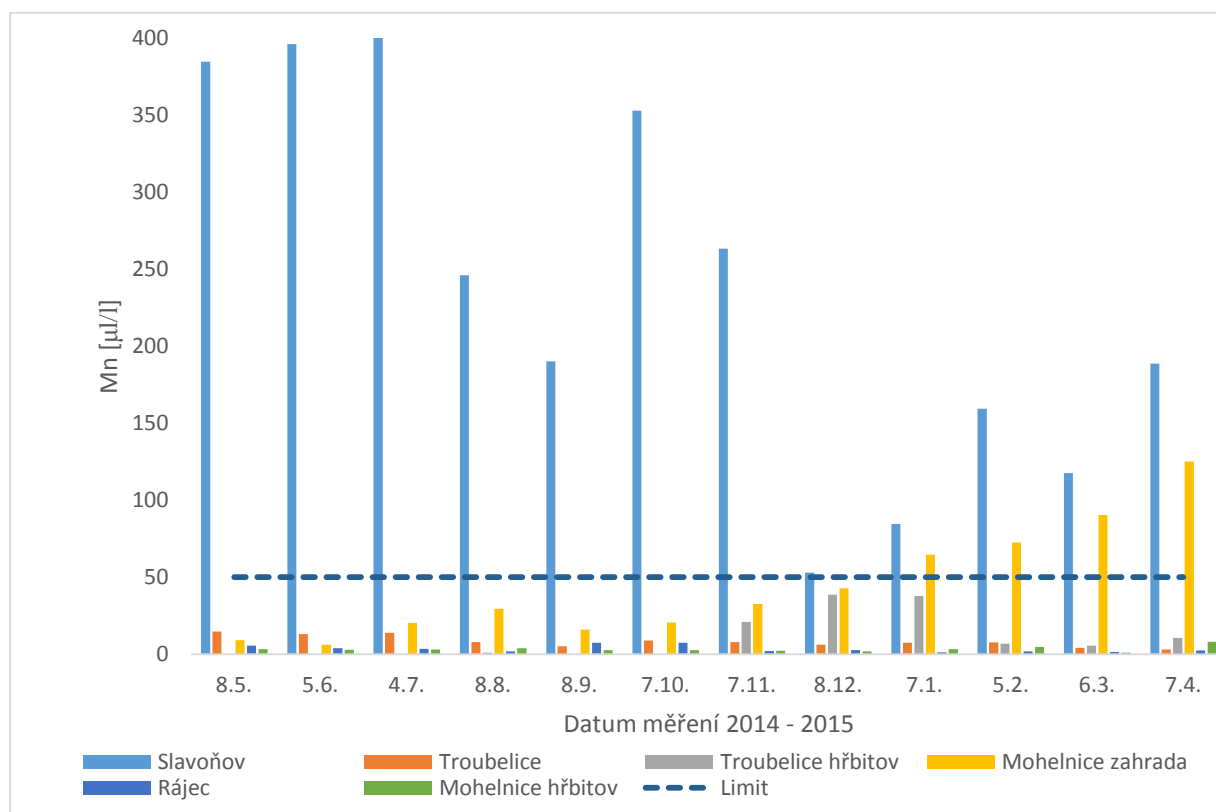
Datum měření	Fe [$\mu\text{g/l}$]			Limit: 200 $\mu\text{g/l}$		
	Slavoňov	Troubelice	Troubelice hřbitov	Mohelnice zahrada	Rájec	Mohelnice hřbitov
8. 5. 2014	292	147	6,05	40,6	11,5	125
5. 6. 2014	139	130	0,46	13,7	7,53	74,9
4. 7. 2014	194	117	2,42	54,9	7,29	46,5
8. 8. 2014	81,5	145	8,20	228	11,0	74,6
8. 9. 2014	54,6	86	0,67	242	6,06	32,5
7. 10. 2014	94,9	328	1,95	222	9,00	28,6
7. 11. 2014	136	290	409	141	3,36	19,3
8. 12. 2014	23,2	249	421	79,3	2,23	32,5
7. 1. 2015	44,1	330	495	56,8	4,14	12,9
5. 2. 2015	17,1	287	106	32,9	12,5	121
6. 3. 2015	11,2	192	53,7	25,8	10,9	7,43
7. 4. 2015	18,9	97,9	40,7	16,9	7,5	9



Obrázek 24: Hodnoty Fe v jednotlivých měsících a odběrných místech

Tabulka 20: Hodnoty Mn v jednotlivých měsících a odběrných místech

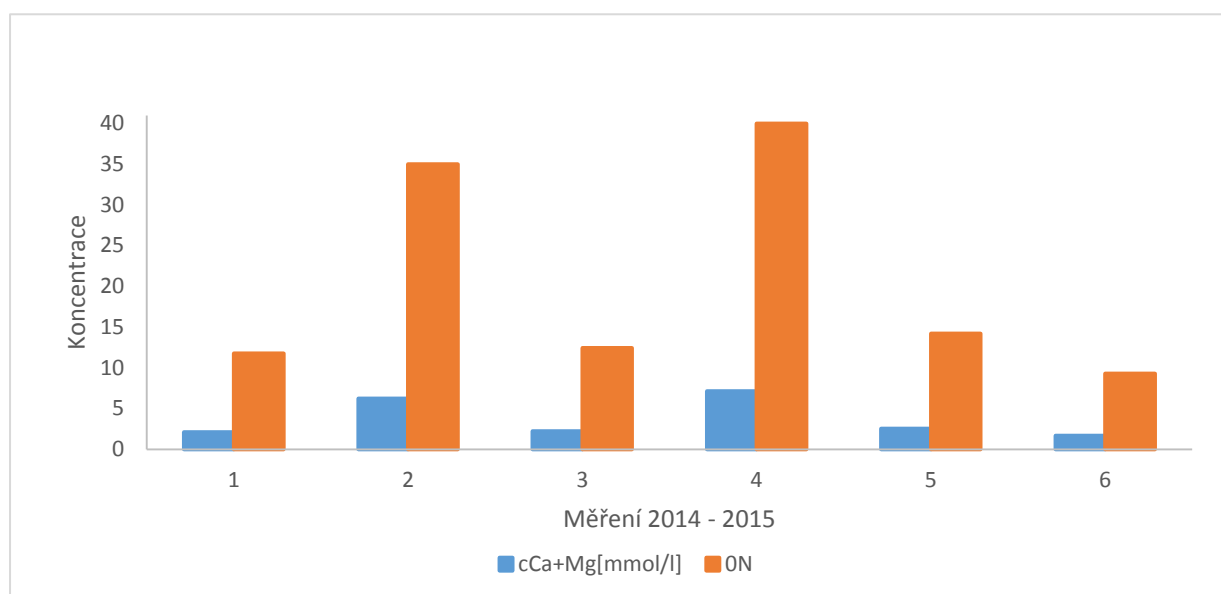
Datum měření	Mn [$\mu\text{g/l}$]			Limit: 50 $\mu\text{g/l}$		
	Slavoňov	Troubelice	Troubelice hřbitov	Mohelnice zahrada	Rájec	Mohelnice hřbitov
8. 5. 2014	385	14,7	0,22	9,17	5,56	3,18
5. 6. 2014	396	13,0	0,08	6,19	3,88	2,90
4. 7. 2014	402	13,8	0,03	20,4	3,41	2,96
8. 8. 2014	246	7,83	0,96	29,6	1,87	3,87
8. 9. 2014	190	5,06	0,06	16,0	7,52	2,58
7. 10. 2014	353	8,92	0,11	20,4	7,35	2,65
7. 11. 2014	263	7,74	20,9	32,6	1,96	2,12
8. 12. 2014	53,9	6,27	38,5	42,7	2,56	1,72
7. 1. 2015	84,5	7,41	37,7	64,6	1,12	3,35
5. 2. 2015	159	7,70	6,83	72,5	1,82	4,77
6. 3. 2015	118	4,13	5,55	90,3	1,46	1,06
7. 4. 2015	189	3,08	10,5	125	2,44	8,11



Obrázek 25: Hodnoty Mn v jednotlivých měsících a odběrných místech

Tabulka 21: Hodnoty tvrdosti vody v jednotlivých měsících a odběrných místech

Tvrdost vody	Doporučená hodnota: 2 – 3,5 mmol/l					
	Slavoňov	Troubelice	Troubelice hřbitov	Mohelnice zahrada	Rájec	Mohelnice hřbitov
c_{Ca+Mg}	2,10	6,25	2,22	7,15	2,54	1,66
0N	11,78	35,02	12,43	40,01	14,21	9,32
Typ vody (viz tabulka č. 23)	Středně tvrdá	Velmi tvrdá	Středně tvrdá	Středně tvrdá	Tvrdá	Středně tvrdá



Obrázek 26: Hodnoty tvrdosti vody v jednotlivých měsících a odběrných místech

Vzorky vody byly zařazeny do tvrdosti vod (viz příloha 2). Zvýrazněná data nesplňují jednotlivé limity ukazatele jakosti vod (viz. příloha 1). Některé parametry vody byly měřeny 2 krát z důvodu spolehlivosti metody. Měření je spolehlivé, jestliže při opakovaném měření za stejných podmínek a za použití stejné měřicí techniky dostaneme stejné výsledky.

Naměřené hodnoty vybraných ukazatelů, které byly stanovovány v uplynulých dvanácti měsících od května 2014 do dubna 2015, jsou shrnuty v tabulkách č. 8 až 21 a dále jsou znázorněny do grafů č. 1 až 14. Každý z těchto grafů odpovídá naměřeným hodnotám a tyto hodnoty jsou srovnány s jednotlivými limity jednotlivých ukazatelů kvality vody.

Z celkově naměřených výsledků můžeme usuzovat, že letní měsíce byly teplotně nadprůměrné a srážky v letních měsících byly spíše průměrné. Naopak zimní měsíce byly spíše srážkově podprůměrné, ale teplota byla výrazně vyšší než v uplynulých letech. Na podzim měly zvýšené srážky vliv na některé zvýšené ukazatele. V zimních měsících (prosinec, leden) došlo v některých případech ke zvýšení některých hodnot (např. železo, mangan). pH a konduktivita byla během celého roku téměř neměnné. Výskyt amonných iontů během roku se převážně nemění a pro jejich malý obsah v některých měsících bylo stanovení téměř neměřitelné. Výskyt chloridů se mění v závislosti rozpustnosti některých látek a posypových solí, které se dostanou do podzemní vody. Výskyt dusičnanů je převážně ovlivněn zemědělskou činností.

U studny „Slavoňov“ se potvrdil přítomnost dusičnanů, které byly způsobeny pastvou ovcí na nedalekém pozemku. U tohoto zdroje se vyskytuje vysoký obsah manganu a železa po většiny doby. V zimních měsících můžeme zaznamenat nepatrné zvýšení síranů, které může být zapříčiněno z výluhu popílku. V ostatních stanovených hodnotách zdroje vody téměř vyhověla normě, nebo nebyl prokázán výskyt. Podle hydrogeologické mapy by studna v 6,5 metrech hloubky měla dostačovat pro menší domácnosti. U zdroje v této oblasti se očekává výskyt dusičnanů.

U studny „Troubelice“ se potvrdil extrémní výskyt dusičnanů, který je zapříčiněn používáním hnojiv na sousedících intenzivně obhospodařovaných polích. Dále byla zvýšená i konduktivita, která souvisí s rozpuštěnými solemi ve vzorku vody. Byla potvrzená vyšší tvrdost vody. V zimních měsících bylo zaznamenáno zvýšení množství železa, než v letních měsících. V ostatních stanovených hodnotách zdroje vody vyhověl normě, nebo nebyl prokázán výskyt. Tento zdroj vody můžeme používat jako voda užitková pro zahrádkářské účely. Dle hydrogeologické mapy by studna mohla být vhodná pro větší odběry místní obce.

Studna „Troubelice hřbitov“ skoro ve všech stanovovaných parametrech vyhověla. Pouze v zimních měsících se zaznamenalo větší množství železa ve vodě, které lze odůvodnit starým oběhovým systémem a méně častým používáním dodávky vody. Tato voda splňuje parametry kvality vody pro pitné účely. Podle hydrogeologické mapy by zásoby vody ve studně mohly vystačit pro větší odběry místní obce.

Voda ze studny „Mohelnice zahrada“ převyšuje skoro všechny limity ukazatele vody. Je výrazně zvýšená konduktivita, která souvisí s rozpuštěnými látkami ve vodě. V zimních měsících došlo k poklesu obsahu železa ve vodě proti podzimnímu období, což neumíme vysvětlit. Mangan v jarních měsících naopak roste. Potvrdilo se, že voda neobsahuje téměř žádné dusičnany. V podzimních měsících byl zaznamenán vysoký obsah chloridů a sodíku, což může být důvodem solením silnic či rozkladu látek. Tvrdost vody hodně převyšuje doporučenou hodnotu. Celkový organický uhlík má v letních měsících tendenci růst, ale v zimních měsících se pohybuje kolem limitu. Tato voda se používá jako voda užitková a pro zahrádkářské účely, pro které je také vhodná. Tato studna podle hydrogeologické mapy by mohla být vhodná pro větší odběry a pro místní zásobování.

Studna „Rájec“ vyhověla téměř ve všech parametrech ukazatele vody pro pitné účely. Pouze v dusičnanech překračuje limit pitné vody, ale jen nepatrně. Potvrdilo se, že tento zdroj se může používat k pitnému účelu. V ostatních stanovených hodnotách zdroje vody vyhověl normě nebo nebyl prokázán výskyt. Tento zdroj je vhodný používat pro menší odběry jednotlivých domů.

Studna „Mohelnice hřbitov“ až nad očekávání splňuje většinu ukazatelů pitných vod. V jarních měsících se zvyšuje celkový organický uhlík a železo. Tvrdost této vody je docela nízká a nespadá do doporučené hodnoty. Voda je používána na zalévání na místním hřbitově. V ostatních stanovených hodnotách zdroje vody téměř vyhověla normě. Podle hydrogeologické mapy můžeme určit, že tento zdroj vody můžeme zařadit jako „menší skupinové vodovody“ (příloha 3).

5. Závěr

Tato bakalářská práce se zabývala sledováním vybraných ukazatelů a to převážně anorganických. Vybrány byly dusičnany, amonné ionty, sírany chloridy, protože většina těchto iontů se vyskytuje v podzemních vodách a do vody se dostávají z hnojiv či zemědělské činnosti. Dále byla stanovována elektrická konduktivita, pH, jednotlivé prvky obsažené ve vodě, tvrdost vody (obsah Ca^{2+} a Mg^{2+} iontů) a z organických ukazatelů bylo stanovováno TOC. Jeden krát za měsíc byly odebrány vzorky vody z vybraných šesti studní na Mohelnicku v časovém období od května 2014 do dubna 2015. U každé studně bylo zjištěno, v jaké lokalitě se nachází, co se vyskytuje v blízkosti studny, o jakou studnu jde (kopanou či vrtanou), jaké má studna podloží a jaká je její hloubka. Ze stanovených hodnot byly vytvořeny tabulky č. 8 až 21 a z těchto hodnot byly vytvořeny obrázky č. 1 až 14. V příloze 1 jsou pak uvedeny fyzikálně-chemické ukazatele pro jednotlivá stanovení vod, které vymezují limity pitné vody podle vyhlášky č. 252/2004.

Jednotlivá stanovení potvrdila nebo vyvrátila některé hypotézy, které byly zmíněné v kapitole odběru vzorku vody. Po vyhodnocení bylo zjištěno, že téměř žádná ze šesti studní nespĺňuje všechny limity pro pitnou vodu. Koncentrace dusičnanů jsou nepříznivé téměř pro všechny odebrané vzorky vody a nespĺňují tedy limit 50 mg/l. Dusičnany jsou způsobeny především zemědělskou činností. Chloridy jsou způsobeny zasolováním v určitých oblastech, které tím nechtěně znečišťují podzemní vody. Vzhledem k náročným finančním nákladům nebyla provedena biochemická analýza zdrojů vody, která je důležitá pro stav studen k pitnému účelu a majitelé studen ji většinou velmi podceňují. Ze šesti vybraných studní nepotvrdil žádný majitel dezinfekci studny.

Lidé si postupně začínají uvědomovat znečištění vod, které jsou zapříčiněny především zemědělskou činností, průmyslem, ale také lidmi samotnými. Díky tomu dochází k upravování legislativy České republiky. Legislativa Evropské unie je v mnohých parametrech přísnější.

6. Summary

This Bachelor thesis deals with the monitoring of the selected indicators mainly inorganic. Nitrates, ammonium ions and sulphates chlorides were selected, because the majority of these ions occur in the groundwater and they get into the water through fertilizers or agricultural activities. Then electrical conductivity, pH, the individual elements contained in water, hardness of water (the content of Ca^{2+} and Mg^{2+} ions) and TOC from organic indicators were determined. Once a month samples of water were taken from the selected wells in Mohelnicko in the time period from May 2014 to April 2015. For each well it was found what location it is located in, what occurs in the surroundings of the well, what type of well it is (dug or drilled), what kind of subsoil the well has and what is its depth. From the determined values the tables no 8 to 21 were created and from these values were also created charts no 1 to 14. In annex 1 are then given the physico-chemical indicators for the individual determination of water, which define the limits of drinking water according to the decree no. 252/2004.

Individual determinations confirmed or disproved some of the hypotheses that were mentioned in the chapter on the sampling of the water. After the evaluation it was found that almost none of the six wells meet all of the limits for drinking water. Almost all of the determinations of the water are unfavorable for the determination of the concentration of nitrate in excess of the limit of 50 mg/l. Chlorines are caused mainly by agricultural activities or salinisation in certain areas, which then inadvertently pollute the underground water. Given the challenges in funding costs the biochemical analysis of the sources of water was not carried out even though it is important for the status of the well for drinkable purpose and the owners of the wells often underestimate it. None of the owners of the six selected wells proved the disinfection of the wells.

People are gradually beginning to realize the pollution of the waters, which is caused mainly by agricultural activities, industry, but also the people themselves. This causes the editing of the legislation of the Czech Republic. Legislation of the European Union is stricter in many parameters.

7. Použitá literatura a zdroje

- 1) KITTNER, Zdeněk. *Chemie vody a atmosféry*. 1. Vyd. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 1974, 142 s.
- 2) PITTER, Pavel. *Hydrochemie*. 4. aktualiz. Vyd. Praha: VŠCHT, 2009, 579 s. ISBN 978-80-7080-701-9
- 3) HORÁKOVÁ, Marta. *Analytika vody*. 2. Vyd. Praha: VŠCHT, 2007, 335 s. ISBN 978-80-7080-520-6
- 4) Kabrhel, G. *Zásobování vodou a principy posuzování vod pitných*. Praha: Nákladem vlastním, 1899
- 5) KRÁL, Jaroslav. *Chemie vody*. 1. Vyd. Praha: SNTL, 1974, 181 s.
- 6) KAMENÍČEK, J. ŠINDELÁŘ, Z. PASTOREK, R. KAŠPÁREK, F. *Anorganická chemie*. 4. Vyd. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2009, 316 s. ISBN 978-80-244-2387-6.
- 7) *Analýza a úprava vody* [online]. [2015-03-26].
Dostupné z < <http://www.analyzavody.cz> >
- 8) ČSN EN ISO 17294-1. *Stanovení prvků metodou ICP-MS*. Hmotnostní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem. Český normalizační institut. 2005.
- 9) ČSN EN ISO 17294-2. *Stanovení prvků metodou ICP-MS*. Hmotnostní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem. Český normalizační institut. 2004
- 10) ČSN EN 1484. *Stanovení celkového organického uhlíku (TOC) a rozpuštěného organického uhlíku (DOC)*. Evropská komise pro normalizaci. 1997.
- 11) ČSN ISO 7150-1. *Stanovení amonných iontů*. Část 1: Manuální spektrofotometrická metoda. 1. Vyd. Praha: Český normalizační institut, 1984
- 12) ČSN ISO 10523. *Jakost vod. Stanovení pH*. Český normalizační institut, 2010
- 13) ČSN EN 27888. *Jakost vod. Stanovení elektrické konduktivity*. Český normalizační institut, 1996
- 14) Vyhláška č. 252/2004 Sb., Hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody.
Dostupné z < http://www.mzcr.cz/Legislativa/dokumenty/hygiena-obecna-a-komunalni_3544_1789_11.html >
- 15) Grmela, A. *Hydrogeologie*. Interní učební texty. Ostrava: VŠB-TU, 2004
- 16) ČSN EN ISO 8467. *Stanovení chemické spotřeby kyslíku manganistanem (CHSK_{Mn})*. Praha: Český normalizační institut, 1997

- 17) Vyhláška Ministerstva zdravotnictví, kterou se stanoví požadavky na pitnou vodu a rozsah a četnost její kontroly, č. 376/2000 Sb., částka 103, s. 4879-4891.2000.
Dostupné z < <http://www.psp.cz/sqw/sbirka.sqw?cz=376&r=2000> >
- 18) SEDMIDUBSKÝ, David. *Základy chemie pro bakaláře*. 1. Vyd. Praha: VŠCHT, 2011, 125 s. ISBN 978-80-7080-790-3.
- 19) *Mapy* [online]. [2015-03-30].
Dostupné z < <http://www.mapy.cz/zemepisna?x=15.6252330&y=49.8022514&z=8> >
- 20) *Teledyne Tekmar* [online]. [2015-04-18].
Dostupné z < <http://www.teledynetekmar.com/products/TOC/Torch/literature.asp> >
- 21) *Český hydrometeorologický ústav* [online]. [2015-04-19].
Dostupný z < <http://www.chmi.cz> >
- 22) *Hydrogeologické mapy* [online]. [2015-04-28]
Dostupné z < http://mapy.geology.cz/hydro_rajony/ >
- 23) Pavelková Chmelová, R., Frajer, J. *Základy hydrologie*. Distanční studijní opora, Olomouc: UP, 2013.
Dostupné z: < <http://geography.upol.cz/soubory/studium/e-ucebnice> >

8. Přílohy

8.1. Příloha 1

Tabulka 22: Fyzikální a chemické ukazatele⁶⁶

Číslo	Ukazatel	Symbol	Jednotka	Limit	Typ limitu	Doplnění
1	pH	pH		6,5 – 9,5	MH	19, 29
2	Konduktivita	κ	mS/m	125	MH	19, 21
3	Vápník	Ca	mg/l	30	MH	14
				40 – 80	DH	15
4	Hořčík	Mg	mg/l	10	MH	14
				20 - 30	DH	15
5	Vápník + hořčík	Ca + Mg	mmol/l	2 – 3,5	DH	15
6	Sodík	Na	mg/l	200	MH	-
7	Železo	Fe	$\mu\text{g/l}$	0,20	MH	34
8	Mangan	Mn	$\mu\text{g/l}$	0,05	MH	22
9	Chloridy	Cl^-	mg/l	100	MH	18, 19
10	Sírany	SO_4^{2-}	mg/l	250	MH	19
11	Dusičnany	NO_3^-	mg/l	50	NMH	13
12	Celkový organický uhlík	TOC	mg/l	5,0	MH	12
13	Amonné ionty	NH_4^+	mg/l	0,50	MH	-

Použité zkratky a vysvětlivky:¹³

NMH – nejvyšší mezní hodnota

MH – mezní hodnota

DH – doporučená hodnota (§ 3 odst. 1 zákona č. 258/2000 Sb., ve znění zákona č.274/2003Sb.)

KTJ – kolonie tvořící jednotka

12 – Bez abnormálních změn. Nemusí se stanovovat u zdrojů dávajících méně než 10 000 m³ vody denně.

13 – Musí být dodržena podmínka, aby součet poměrů zjištěného obsahu dusičnanů v mg/l děleného 50 a zjištěného obsahu dusitanů v mg/l děleného 3 byl menší nebo rovný 1. Součet poměrů odpovídá svým významem nejvyšší mezní hodnotě.

⁶⁶ Vyhláška č. 252/2004 Sb. Hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody

14 – Mezní hodnota představuje minimum. Platí pro vody, u kterých je při úpravě uměle snižován obsah vápníku a hořčíku. Pro všechny vody platí, že tam, kde je to možné, by se mělo usilovat o dosažení doporučené hodnoty.

15 – Doporučená hodnota (optimální koncentrace) je stanovena ze zdravotního nikoli technického hlediska.

18 – V případě kdy vyšší hodnoty chloridů jsou způsobeny geologickým prostředím, se hodnoty považují za vyhovující až do 250 mg/l. Pro balené pitné vody, které jsou uměle doplňovány minerálními látkami, platí mezní hodnota 250 mg/l.

19 – Voda by neměla působit agresivně vůči materiálům rozvodného systému zahrnující i domovní instalace. Posouzení agresivity se provádí podle TNV 75 7121 Požadavky na jakost vody dopravované potrubím.

21 – Je měřeno při 25 °C.

22 – V případech, když jsou hodnoty manganu vyšší ve zdroji surové vody a jsou způsobeny geologickým prostředím, hodnoty manganu se považují za vyhovující požadavkům až do 0,20 mg/l, ale nesmí docházet k nežádoucímu ovlivnění organoleptických vlastností vody.

29 – Pro balené nenasycené vody a pro pitnou vodu dopravovanou kontejnery lze připustit hodnotu pH od 4,5. Pro balenou pitnou vodu (obsažen CO₂ uměle či přírodně) se může pohybovat hodnota i níže. U vod, které mají přirozeně nižším pH (6,0 až 6,5) se považují za splněné požadavky vyhlášky, ale voda nesmí působit agresivně vůči materiálům rozvodného systému i vnitřního vodovodu.

34 - V případech, když jsou hodnoty železa vyšší ve zdroji surové vody a jsou způsobeny geologickým prostředím, hodnoty manganu se považují za vyhovující požadavkům až do 0,50 mg/l, ale nesmí docházet k nežádoucímu ovlivnění organoleptických vlastností vody.

8.2. Příloha 2

Tabulka 23: Tvrdost vody⁶⁷

Voda	mmol/l	°N	Příklad
Velmi měkká	< 0,5	< 0,28	Destilovaná, dešťová, sněhová, demineralizovaná voda
Měkká	0,7 – 1,25	3,9 – 7	Pramenitá a vodovodní voda
Středně tvrdá	1,26 – 2,5	7,1 – 14	Vodovodní, říční voda, voda z rybníků
Tvrdá	2,51 – 3,75	14,01 – 21	Vodovodní, studniční voda
Velmi tvrdá	> 3,76	> 21,1	Studniční, minerální, vodovodní voda z krasových a vápenatých oblastí

8.3. Příloha 3

KLASIFIKACE HORNIN PODLE TRANSMISIVITY (upraveno podle Krásného 1986, 1990)

Barva v mapě	Koeficient transmisivity T		Odpovídající srovnávací regionální parametry		Označení transmisivity horninového prostředí	Vodohospodářský význam - výše transmisivity naznačuje prostředí s následujícími předpoklady využití podzemní vody	Přibližná vydatnost jednotlivých vrtů při snížení cca 5 m (l/s)
	m ² /s	m ² /d	specifická vydatnost q (l/s.m)	index transmisivity Y=log (10 ⁶ q)			
1 2	6.10 ⁻³	500	5,0	6,7	velmi vysoká	velké soustředěné odběry regionálního významu (velké skupinové vodovody)	> 25
3 4	1.10 ⁻³	100	1,0	6,0	vysoká	soustředěné odběry menšího regionálního významu (menší skupinové vodovody)	5-25
5 6	1.10 ⁻⁴	10	0,1	5,0	střední	větší odběry pro místní zásobování (menší obce)	0,5-5
7 8	1.10 ⁻⁵	1	0,01	4,0	nizká	menší odběry pro místní zásobování (jednotlivé domy)	0,05-0,5
9 10	1.10 ⁻⁶	0,1	0,001	3,0	velmi nízká	jednotlivé malé odběry pro místní (individuální) zásobování při omezené spotřebě	0,005-0,05
11 12					nepatrná	zajištění zdrojů pro individuální zásobování obyvatelstva i při velmi omezené spotřebě obtížné, často nemožné	< 0,005

Obrázek 27: Legenda k hydrogeologickým mapám

⁶⁷ Grmela, A. *Hydrogeologie*. Interní učební texty. VŠB-TU Ostrava, 2004