

Univerzita Palackého v Olomouci

Přírodovědecká fakulta

Katedra fyzikální chemie

Sledování kvality podzemních vod v závislosti na poloze zdroje v oblasti Dražanské
vrchoviny a okolí

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Autor:	Ondřej Smyslil
Vedoucí práce:	doc. RNDr. Taťjana Nevěčná, CSc.
Studijní program:	B 1407 Chemie
Studijní obor:	Ekochemie
Forma studia:	Prezenční

Olomouc 2014

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma: „Sledování kvality podzemních vod v závislosti na poloze zdroje v oblasti Dražanské vrchoviny a okolí“ vypracoval samostatně a použil jsem pramenů, které cituji a uvádím v přiložené bibliografii.

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

V Olomouci dne

.....

Ondřej Smyslil

1 Úvod.....	6
2 Teoretická část.....	8
2.1 Voda a její koloběh v přírodě.....	8
2.2 Druhy vod	8
2.2.1 Rozdělení vod podle výskytu.....	8
2.2.1.2 Podzemní vody	9
2.2.1.3 Minerální vody.....	10
2.2.1.4 Povrchové vody	11
2.3 Fyzikálně chemické vlastnosti	12
2.3.1 pH.....	12
2.3.2 Elektrolytická konduktivita.....	13
3.3 Teplota.....	14
2.4 Organoleptické vlastnosti vody.....	14
2.4.1 Barva	14
2.4.2 Zákal	15
2.4.3 Pach.....	15
2.4.4 Chuť	16
2.5 Anorganické látky ve vodách.....	16
2.5.2 Nekovy ve vodách	23
2.5.2.1 Sloučeniny chlóru	23
2.5.2.2 Sloučeniny síry	24
2.5.2.3 Sloučeniny fosforu.....	24
2.5.2.4 Sloučeniny dusíku.....	25
2.6 Organické látky ve vodách.....	27
2.6.1 Pesticidy.....	27
2.7 Stanovení vybraných anorganických iontů.....	28
2.7.1 Kapilární zónová elektroforéza.....	28
3 Experimentální část.....	29
3.1 Použité chemikálie	29
3.2 Použité přístroje	31
3.3 Příprava alternativních činidel	32
3.3.1 Alternativní činidla pro stanovení železa.....	32
3.3.3 Alternativní činidla pro stanovení amonných iontů.....	34
3.3.4 Alternativní činidla pro stanovení dusitanů	34
3.6 Stanovení konduktivity	39
3.7 Stanovení zákalu	39
3.8 Stanovení celkové tvrdosti vody chelatometrickou titrací.....	40

3.9 Stanovení chemické spotřeby kyslíku.....	40
3.9.1 Oxidace manganistanem draselným	40
3.9.2 Oxidace dichromanem draselným	41
3.10 Stanovení některých anorganických iontů (chloridy, sírany, dusičnany) pomocí kapilární zónové elektroforézy.....	41
3.11 Spektrofotometrické stanovení vybraných anorganických iontů.....	43
3.11.1 Spektrofotometrické stanovení železa	43
3.11.2 Spektrofotometrické stanovení manganu.....	43
3.11.3 Spektrofotometrické stanovení amonných iontů	44
3.11.4 Spektrofotometrické stanovení dusitanových iontů.....	44
4 Výsledky a diskuze.....	45
5 Závěr.....	53
6 Summary.....	54
7 Literatura.....	55

Poděkování:

Velice rád bych poděkoval doc. RNDr. Taťjaně Nevěčné, CSc. za její trpělivost, rady a připomínky při sepisování mé bakalářské práce.

Dále bych chtěl poděkovat konzultantce Mgr. Haně Studené, konzultantce mé práce, za její vstřícnost a pomoc při získávání experimentálních dat souvisejících s experimentální částí mé bakalářské práce a především společnosti Moravská vodárenská a. s. za umožnění zpracování bakalářské práce v jejich laboratořích a v neposlední řadě i jejím zaměstnancům působícím na pracovišti ČOV v Olomouci za jejich upřímný a laskavý přístup.

Bibliografické údaje:

Jméno a příjmení autora:	Ondřej Smyslil
Název práce:	Sledování kvality podezrných vod v závislosti na poloze zdroje v oblasti Dražanské vrchoviny a okolí
Typ práce:	Bakalářská
Pracoviště:	Katedra fyzikální chemie
Vedoucí práce:	Doc. RNDr. Tat'jana Nevěčná, CSc
Rok obhajoby práce:	2015
Abstrakt:	V rámci jedenácti měsíců od května 2013 do dubna 2014 byla jednou měsíčně prováděna analýza spodních vod z jedenácti studní vyskytujících se v oblasti Dražanské vrchoviny a okolí. Ve vzorcích byly stanoveny chemické ukazatele kvality pitných vod, které souvisejí s polohou zdroje. Stanoveny byly koncentrace železa [Fe], manganu [Mn], chloridů [Cl ⁻], síranů [SO ₄ ²⁻], dusitanů [NO ₂ ⁻], dusičnanů [NO ₃ ⁻], amonných iontů [NH ₄ ⁺], dále celkové tvrdosti vody [T _{Ca+Mg}], a chemická spotřeba kyslíku [CHSk _{Mn}], ukazující na organické znečištění vod. Z výsledků vyplývá, že u většiny vzorků se potvrdily zvýšené koncentrace Ca ²⁺ a Mg ²⁺ iontů, které jsou indikátorem celkové tvrdosti vody a souvisejí s typem geologického podloží této oblasti, dále se v daném období prokázaly téměř pravidelně překročeny limity dusičnanů, které jsou důsledkem, intenzifikace, zemědělské činnosti v mikroregionu Haná.
Klíčová slova:	Studna, geologické podloží, podzemní voda
Počet stran:	
Počet příloh:	0
Jazyk:	český

Bibliographic informatic:

Author's first name and surname: Ondřej Smyslil

Title: Monitoring of groundwater quality depending on the source position in Drahany and surroundings

Type of thesis: Bachelor

Department: Department of Physical Chemistry

Supervisor: Doc. RNDr. Tat'jana Nevěčná, CSc.

The year of presentation: 2015

Abstract: Within eleven months from May 2013 to April 2014 was conducted on a monthly analysis of eleven groundwater wals occuring in Drahany and surroundings. In the samples were determined by chemici indicators of drinking water quality related to the position of the source. Values were determined concentrations of iron [Fe], manganese [Mn], chloride [Cl⁻], sulfate [SO₄²⁻], nitrite [NO₂⁻], nitrates [NO₃⁻], amonium [NH₄⁺], more total water hardness [T_{Ca+Mg}] and the chemical oxygen demand [CHSk_{Mn}], showing the pollution of the water. Finally I would like to mention that in the most of the samples were confirmed elevated levels of Ca²⁺ and Mg²⁺ ions, which are indicators of total hardness of water treatment and related to the type of geological bedrock in this area I would also like to point out to the increased almost regularly exceeded nitrate levels, which as a reset, of the intensification of agricultural aktivty in mikroregion Hana.

Keywords: Well, geology bedrock, ground water

Number of pages:

Number of attachments: 0

Language: Czech

1 Úvod

Jako první se o zasazení základů analytiky vod zasloužil francouzský chemik A. L. Lavoisier. Na vzestupu hydrochemie se značně podílel v 18. a 19. století balneologický průzkum, který dostal tento vědní obor do popředí zájmů laické i odborné společnosti a především růst průmyslu, který začal neustále zvyšovat nároky na kvalitu vod, které souvisejí s množstvím polutantů obsažených ve splaškových a průmyslových vodách. Na základě tohoto faktu se dospělo k názoru, že je potřeba toto znečištění zredukovat prostřednictvím vývoje metod analýzy vod, které jsou mocným nástrojem vedoucím k odstranění tohoto znečištění.

Na přelomu druhé poloviny 19. století byla zvýšená publicita zabývající se analýzou vod a začal se pomalu, ale jistě, vytvářet obor chemie a technologie vody, jehož zlatá éra byla na počátku 20. století. První publikaci zabývající se hydrochemií napsal roku 1948 O. A. Alekin [4], který zde shrnul veškeré vědomosti a poznatky, kterých bylo dosaženo dřívější realizací experimentů.

V polovině 20. století byl pohled na hydrochemii z větší části empirický. Výjimkou bylo posuzování některých fyzikálně-chemických a biologických procesů odehrávajících se ve vodách. Tento problém vyřešili vydáním publikace *Aquatic Chemistry* autoři W. Stumm a J. J. Morgan [5], kteří poukázali na nutnost odlišení několika forem výskytu anorganických látek přítomných ve vodách, jejichž přítomnost predikovali s pomocí výpočetní chemie, dále se zabývali vznikem anorganických i organických komplexotvorných sloučenin, které se odlišují svými fyzikálními, chemickými a biologickými účinky, které umožňují pochopit a popsat dopady procesů, které jsou součástí všech druhů vod.

Na konci 19. století bylo zpracováno několik samostatných projektů související s výstavbou vodárny v Praze. V průběhu několika posledních let v 19. století přinesl největší užitek komplex Hanamannových referencí o jakosti vod v povodí řek Labe a Ohře.

V současné době je příčinou snížení jakosti povrchových a podzemních vod převaha ekonomických zájmů člověka nad ochranou svého životního prostředí, která souvisí s porušením přírodní rovnováhy, jejíž ustavení trvalo mnoho let. Jedná se především o znečištění výše zmíněných druhů vod činností člověka spojených s pracemi zejména v zemědělství a mnoha odvětvích průmyslu. Při práci na své BP jsem nejdříve provedl pečlivý výběr lokalit, které reprezentují vzorky odebraných ze studní, které jsou

využívány jako zdroj pitné vody. V případě méně kvalitní vody jsou tyto studny využívány jako zdroje závlahové vody.

V návaznosti na to byly po dobu jedenácti měsíců sledovány chemické ukazatele kvality pitných vod v závislosti na ročním období a poloze zdroje.

2 Teoretická část

2.1 Voda a její koloběh v přírodě

V přírodních vodách se ve větší míře vyskytují izotopy $^1\text{H}_2^{16}\text{O}$ a v menší míře $^2\text{H}_2^{16}\text{O}$. Chemické reakce látek přítomných v $^2\text{H}_2^{16}\text{O}$ jsou pomalejší a v tomto deuterovaném prostředí dochází ke snížení rozpustnosti. Vlivem toho, že tenze par $^2\text{H}_2^{16}\text{O}$ nabývá nižších hodnot než tenze par $^1\text{H}_2^{16}\text{O}$ a dalších stabilních izotopů kyslíku, velmi často dochází při skupenských přeměnách ke změnám izotopového složení. Při odpařování se do vody dostávají těžší izotopy a naopak při kondenzaci nasycených par je voda o tyto izotopy ochuzena. Vody, jež vznikají řadou meteorologických pochodů a vody související s přeměnou tuhého skupenství na kapalné mají menší obsah D_2O než vody, které jsou přítomny v podzemí. Po provedení izotopové analýzy lze jednoznačně rozhodnout, jestli voda obsažená v horninách je atmosférického či spíše fosilního původu.

Jedna vlastnost vody, která je pro chemii velice významná, je to, že voda má dipólový charakter, který je důsledkem rozdílných elektronegativit vazebných partnerů. Významnou vlastností molekuly vody je její schopnost vodíkové můstky, které jsou příčinou asociace těchto molekul. V rámci anomálie nedochází k zamrznání nádrží až ke dnu a dochází tím k teplotní stratifikaci a proudění v nádrži. Povrchového napětí, které u vody dosahuje hodnoty $72 \text{ mN}\cdot\text{m}^{-1}$ při teplotě 25°C . Mimo jiné tento fyzikální jev zapříčiňuje kapilární elevaci.

2.2 Druhy vod

2.2.1 Rozdělení vod podle výskytu

2.2.1.1 Atmosférické vody

V atmosféře se vyskytují tzv. atmosférické vody, které nejsou zohledňovány podle toho, ve kterém skupenství se vyskytují. Atmosférickou vodu, která dopadá na zemský povrch nazýváme atmosférickými dešti, které jsou důsledkem změny skupenství v atmosféře. Tyto srážky můžeme rozdělit na kapalné (děšť, voda) a tuhé (sníh, kroupy). V oblastech s vysokým podílem zalesnění jsou nejvíce důležité podkorunové srážky. Co se týká chemické kvality srážek, tak se tvoří dvojím způsobem. Prvním z nich je promývání aerosolů v ovzduší, druhým promývání zpod oblaku. Nejnižší vrstva atmosféry, která nejeví přítomnost škodlivých polutantů, má přibližně toto složení: 78,09% dusíku, 20,95% kyslíku, 0,93% argonu, 0,03% oxidu uhličitého [2] a snižující se koncentrace jiných látek v přítomných v ovzduší. Důležité jsou znečišťující látky, které jsou v ovzduší zastoupeny. Zdroje těchto látek můžeme rozdělit na přírodní (vulkanická činnost, mikrobiální činnost) a antropogenní (automobilová doprava, lokální topeniště, zdroje znečištění závislé na typu průmyslového podniku). Srážkové vody obsahují mj. dusík a fosfor, které hrají významnou roli ve výživě rostlin. Jak suchozemských, tak vodních, kde v důsledku zvýšeného množství fosforu dochází k eutrofizaci vod. Tyto vody jsou charakteristické především zanesením těžkých kovů do jiných složek životního prostředí odkud se velmi těžko odstraňují.

2.2.1.2 Podzemní vody

Jako podzemní vody chápeme vody, které jsou v kontaktu s horninovým podložím. Tento celek zahrnuje vody, které jsou též součástí různých odvodňovacích systémů, studní a vrtů. Lokality obsahující podzemní vodu jsou upřednostněny jako přísun pitné vody pro obyvatelstvo. Podzemní vody můžeme členit na prosté a minerální.[1] První z nich jsou charakterizovány velmi malou koncentrací rozpuštěných látek a z pohledu několika kritérií je nelze použít jako minerální vodu. K pohybu podzemních vod dochází většinou póry hornin nebo puklinami vyvřelých či jinak pozměněných hornin. Takovou specialitou jsou krasové oblasti, které vytvářejí síť kanálků pomocí nichž se voda pohybuje. Vhodné podmínky zajišťující dostatečnou jakost vody jsou přibližně v hloubce 10 km.[1] K znovuoobnovení zásob podzemních vod dochází pomocí těchto dějů - průsakem srážkových

či povrchových vod, zkondenzováním par přítomných v půdě v případě oblastí s vulkanickou činností zkondenzováním par vzniklých z magmatu. Fosilní voda pocházející z uplynulých geologických etap je přítomná v dutinkách různých hornin, pocházejících z uplynulých geologických etap dále juvenilní voda se vyskytuje v přítomnosti magmatu a poprvé se dostává do koloběhu vody, který je neodmyslitelnou součástí přírody. Co se týká kvality podzemních vod, tak je nutné zohlednit skutečnost, jestli vzorek pochází z pramene mělkého či hlubšího vrtu. Nutno podotknout, že nejnáchylnější ke znečištění jsou dva výše uvedené zdroje podzemních vod a naopak vody hlubších vrtů jsou zasaženy nejméně. Teplota pramene nezasahujícího příliš do hloubky je okolo 10 °C a naopak vody vyvěrající z podzemí mají teplotu přes 20° C, která je charakteristická pro termální vody. Hodnoty pH se pohybující se od 5,5 do 7,5 jsou udržovány v tomto rozmezí pomocí vápenato-uhličitanové rovnováhy. V podzemních vodách jsou obsaženy větší koncentrace oxidu uhličitého, který je doprovázen výskytem HCO_3^- . Klasifikace podzemních vod se dělí na hydrochemickou (zohledňuje převažující ionty a jejich kombinace) a balneologickou (uvažuje množství a kvalitu minerálů). [3]

2.2.1.3 Minerální vody

Na tyto vody se vztahuje legislativa daná zákonem 164/2001 Sb. o přírodních léčivých zdrojích, zdrojích přírodních minerálních vod, přírodních léčebných lázní a lázeňských místech. Celkovou analýzou vod musí být zhodnoceny tyto ukazatelé: teplota, organoleptické vlastnosti, hodnota pH, oxidačně redukční potenciál, osmotický tlak, atd. Kontrolní rozborů těchto vod musí obsahovat tyto ukazatele: např. teplota, hodnota pH, Na^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Fe^{3+} , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , NO_2^- , NO_3^- , I^- . Kvalitativní složení více či méně přímo závisí na geologicko-hydrologických podmínkách, které se vyskytují v určité oblasti. Termální vody se vyskytují tam, kde přírodní podmínky umožňují vodě sestoupit do nejhlubších vrstev, kde vlivem tlakových podmínek vyvěrají zpátky na zemský povrch. Prostá termální voda především díky teplotě, která dosahuje teploty přes 20° C, si udržuje vlastnosti, které jsou charakteristické pro minerální vody. Na základě teploty, která je změřená při vývěru, lze usuzovat na hloubku, ve které voda vznikala. Uhličitě vody se nacházejí ve větších hloubkách a vyznačují se především vyššími hodnotami koncentrace oxidu uhličitého, přičemž zastoupení minerálů ve vodě je velmi nízké. Ve studních, které se vyskytují v oblastech bohatých na uhličitě vody se v nevětraných prostorech volný oxid uhličitý udržuje v nižších hladinách, a proto dochází k intoxikaci osob v těchto objektech.

Česká republika disponuje velmi širokou rozmanitostí minerálních vod např. v oblasti

jihomoravského kraje se nacházejí např. vody uhličitě (Luhačovice, Březová), síranové (Šaratice, Zaječice) a siričné (Napajedla, Petrov). Doprava minerálních vod na zemský povrch souvisí s kvalitativní změnou chemického složení.

Jako důsledek výše zmíněných změn je tzv. sintrování, přičemž dochází k vypuzování zřídelných usazenin. K vypuzování dochází především u CaCO_3 , hydratovaných oxidů Fe^{3+} a síry v elementárním stavu. Tyto sedimenty jsou charakterizovány vlastností, která spočívá v záhytu určitých stopových prvků. Jestliže se léčivé vody používají delší dobu, může to vést i ke škodlivým projevům, proto je doporučováno omezit každodenní příjem. Co se týká kvality balených přírodních minerálních vod, tak ta je upravena pomocí vyhlášky Ministerstva zdravotnictví č. 275/2004.

2.2.1.4 Povrchové vody

Jsou všechny vody nacházející se na povrchu Země, které protékají zalesněnými úseky, dutinkami pod povrchem apod. Tyto vody můžeme rozdělit na kontinentální a mořské. Z pohledu znečištění jsou členěny na citlivé (vlivem většího množství živin dochází ke snížení kvality vod, přičemž je zapotřebí navýšení výkonu na čistírnách odpadních vod, aby došlo k odstranění těchto závadných nutrientů) a zranitelné oblasti, u kterých jsou příčinou zvýšené koncentrace znečišťujících látek, přičemž dochází ke snížení kvality vod. Původce znečištění můžeme rozdělit na bodové (voda vypouštěná z čistírny odpadních vod do recipientu), plošné (vodní eroze), difúzní (bodové zdroje znečištění jsou unášeny po celém toku řeky. Velmi často je rozebíráno také tepelné znečištění, které způsobováno zvýšením teploty recipientu. Přítomnost minerálních látek se pohybuje v intervalu od 100 mg l^{-1} do 500 mg l^{-1} , přičemž nejnižší hodnoty se vyskytují v oblasti pramene a níže položených částí toku, naopak nejvyšší hodnoty byly dosaženy při koncentraci 1000 mg l^{-1} . Množství rozpuštěných látek dosahuje u neznečištěných toků jednotek mg l^{-1} , v případě přívalu většího množství vody může nabývat desítek až stovek mg l^{-1} . Čisté vody dosahují hodnot pH v intervalu od 6,0 do 8,5, což souvisí s uhličitanovým tlumivým systémem, výjimkou jsou rašeliniště, ve kterých se hodnota pH snižuje pod 4,0. Organické látky můžeme podle původu rozdělit na přírodní, do kterých patří např. humínové látky, které jsou zpravidla obsaženy v půdách a antropogenní organické látky pocházející nejčastěji ze splaškových a průmyslových odpadních vod. Pro neznečištěné tekoucí vody se ukazatelé organického znečištění ustalují na řádu desítek mg l^{-1} , přičemž se vzrůstajícím organickým znečištěním roste i hodnota těchto ukazatelů. Velkým problémem je odstranění specifických organických látek (organické halogenderiváty, fenoly, tenzidy a pesticidy),

kteře nelze tradiční technologií z vody eliminovat. Kvalitativní složení vodotečí se mění v závislosti na délce a šířce toku a podle doby trvání této změny rozlišujeme povrchové vody na krátkodobé a dlouhodobé. Vlivem interakce vody a horninového podloží či jiných znečišťujících látek může docházet ke zvýšení koncentrací minerálů a látek organické povahy. Povrchové vody jsou využívány jako rezervoár pitné nebo užitkové vody s možností rekreace či chovu ryb. V jiných případech slouží jako cílové místo pro uložení vyčištěných splaškových a průmyslových vod, které významně ovlivňují biologickou rovnováhu. Míra znečištění se stanovuje pomocí emisních limitů (maximální koncentrace škodlivých látek v odpadní vodě směřující do vodního útvaru), imisní limity (množství škodlivin obsažených ve vodním útvaru, které by při výpusti vyčištěných odpadních neměly být navyšovány). V současné době je používáno hodnocení znečištění podle systému podle ČSN 75 7221, který klasifikuje kvalitu povrchových vod v závislosti na výskytu v určitých lokalitách a v určitém čase. Pomocí této normy se voda podle mezních hodnot, které jsou charakterizovány pro jednotlivé chemické ukazatele kvality, dělí do pěti tříd:

- neznečištěná voda
- mírně znečištěná voda
- znečištěná voda
- silně znečištěná voda
- velmi silně znečištěná voda.

Co se týká vyjádření komplexních informací o kvalitě vod, tak jsou vyjádřeny pomocí chemických ukazatelů, kterými jsou např. biochemická spotřeba kyslíku, chemická spotřeba kyslíku dichromanem, amoniakální dusík, dusičnanový dusík, celkový fosfor. Z hlediska jednoduchosti úpravy na pitnou vodu lze povrchové vody rozdělit do třech kategorií: A1-surové vody, které potřebují nenáročnou fyzikální úpravu a dezinfekci, A2-surové vody, které užívají tradiční fyzikální a chemickou úpravu a dezinfekci, A3-surové vody, které potřebují náročnější fyzikální a chemickou úpravu a dezinfekci. Kvantitativní složení stojatých vod se odlišuje především ve vertikálním směru a souvisí se změnami ročního období i v rámci jednoho dne. Vertikální stratifikace je spojena se změnou teploty, množstvím přítomného kyslíku a oxidu uhličitého, a dále s procesy spojené s biochemickými přeměnami. Eutrofizace je spojena se zvyšující se koncentrací minerálních živin (fosfor, dusík), které umožňují rozmnožení autotrofním organismům, jejichž toxiny

mají značný vliv na kvalitu vody. Eutrofizace má největší dopad na stojaté vody, avšak v tocích dochází k projevům eutrofizace, a to především na dolních částech toku.

2.3 Fyzikálně chemické vlastnosti

Mezi fyzikálně chemické ukazatele kvality vod patří např. pH, konduktivita, oxidačně-redukční potenciál, které jsou důležitými ukazateli znečištění podzemních vod.

2.3.1 pH

K měření pH je využíváno potenciometrické metody, která slouží k měření elektromotorické síly elektrochemického článku, který se skládá ze vzorku, srovnávací a měřicí elektrody (v běžné analytické praxi nejčastěji skleněné elektrody). Jelikož je potenciál skleněné elektrody přímo úměrný aktivitě vodíkových iontů, tak se tato koncentrace vodíkových iontů vyjadřuje pomocí

p-funkce, která je vlastně záporným dekadickým logaritmem aktivit hydroxoniových iontů. Závislost elektromotorického napětí na aktivitě hydroxoniových iontů pro teplotu 25° C vystihuje tato rovnice:

$$EMN = K + 0,059 \log [H^+] = K - 0,059 \text{ pH}$$

Jestliže je pH roztoku <1, tak se v této oblasti vyskytuje kyselá chyba, která je způsobena vychýlením skutečné hodnoty koncentrace vodíkových iontů z lineárního rozsahu měření elektrody důsledkem změn aktivit H⁺ přítomných v roztoku. V dalším případě je to alkalická chyba, která se vyskytuje v roztocích s hodnotami pH >11 a je způsobená zvýšenou přítomností Na⁺ souvisejících elektrolytické disociací molekuly NaOH, jejíž Na⁺ se přímo podílí na potenciálu, který se ustanovuje na povrchu elektrody. Krajní hodnoty praktické stupnice jsou nadefinovány pomocí primárních standardních srovnávacích roztoků. [16,17] .

2.3.2 Elektrolytická konduktivita

Schopnost iontů vést elektrický proud v roztoku elektrolytů a závisí především na koncentraci iontů, druhu iontů, teplotě a viskozitě roztoku. Je běžně označována řeckým písmenem κ , které představuje reciprokou hodnotu odporu měřeného roztoku mezi dvěma elektrodami o ploše 1m² a vzdálenosti 1m. Jednotkou je S.m⁻¹, ale v praxi pracujeme

s jejím násobkem $\mu\text{S}/\text{cm}^{-1}$.

Matematická definice konduktivity

$$\kappa = G./A$$

Vlastní měření provádíme pomocí vodivostní cely, kterou umístíme do analyzovaného roztoku tak, aby byly ponořeny obě elektrody, které jsou obvykle zhotoveny z platiny, titanu, pozlaceného niklu či grafitu. Tato soustava je zapojena do elektrického obvodu takovým způsobem, aby se minimalizoval procházející elektrický proud na elektrodách, a tím se zabránilo polarizaci elektrod a následné elektrolýze. Na základě hodnot naměřených s pomocí konduktometrie můžeme např. usuzovat na tvrdost vody v některých lokalitách, které jsou dále rozebírány v experimentální části této práce. [16,17]

3.3 Teplota

Tento ukazatel výrazně ovlivňuje biochemickou a chemickou aktivitu už při velmi malém rozsahu teplot, které ve svém důsledku ovlivňují chemickou kinetiku.

Teplota je faktor nezbytný při numerickém výpočtu rovnovážných konstant, agresivity vody a jiných vlastností. Teplota podzemních vod závisí na hloubce, která má za důsledek obohacení vod o různé chemické složky, jejichž přítomnost je dána typem geologického podloží. Podzemní vody mají až na výjimky stále stejnou teplotu, která prakticky vůbec není ovlivňována střídáním čtyř ročních období, přičemž roční průměr teplot vody přítomných v hloubkách kolem 11 m dosahuje přibližné hodnoty kolem 10°C . Změny teplot jsou důsledkem doplňování podzemních zásob průsakem povrchových a srážkových vod. Nezanedbatelný význam má také vliv teploty na rozpustnost kyslíku ve vodách přítomných na povrchu a také na samočištění toků, které je důsledkem biochemických procesů. Teplota pitných vod je stanovena v intervalu od 8 do 12°C a jiné teploty jsou doporučovány v průběhu jarních a letních měsíců.

2.4 Organoleptické vlastnosti vody

Mezi základní organoleptické vlastnosti kvality vod patří teplota, barva, zákal, chuť, pach. Jsou to vlastnosti, které lze detekovat s využitím smyslových orgánů, a proto se mluví o

senzorické analýze.

2.4.1 Barva

Barvu rozlišujeme podle toho, jestli je původu přírodního nebo antropogenního. Přírodní vody jsou zbarveny do žlutohnědé barvy, které je ovlivňována přítomností huminových látek (např. fulvokyselin) a jiného nerozpuštěného podílu, který může ovlivňovat barvu vody. Skutečná barva vody je zapříčiněna přítomností látek, které pronikají šíří pórů o velikosti 0,45 μm a zdánlivou barvu vytvářejí koloidně rozptýlené rozpuštěné i nerozpuštěné částice, které jsou přítomny ve vzorku. Barva souvisí s hodnotami pH a se změnami barevností barviva, které podléhá oxidačně- redukčním dějům. Při nedostatku vzduchu dochází ke snížení oxidačních stavů dané látky odpovídající za zbarvení vzorku vody, a tím dochází k vytvoření bezbarvých formy, která jsou prekurzory relativní stálosti vody. Barva a její intenzita u přírodních a užitkových vod se porovnává se škálou standardních roztoků, kterou jsou připravovány nejčastěji z hexachloroplatičitanu draselného a v menší míře z chloridu kobaltitého. Barva se v konečných výsledcích udává jako hmotnostní koncentrace platiny (mg) v 1 litru. Spektrofotometr je používán k objektivnímu stanovení barvy vody. V České republice jsou výsledky průměrných stanovení barvy vyjádřeny obsahem 4 mg l⁻¹ Pt.

2.4.2 Zákal

Je způsoben menší průhledností s ohledem na výskyt málo rozpuštěných látek organické a anorganické povahy, které jsou v roztoku rozptýleny nejčastěji ve formě koloidů. Zákal je způsoben přítomností těchto látek např. jílových minerálů, hydratovaných oxidů kovů a dalšími organismy jak živočišného, tak rostlinného původu. V podzemních vodách jsou za snížení průhlednosti odpovědné především látky anorganické povahy, zatímco zákal u povrchových vod je způsoben splachem orniční vrstvy a přítomností fytoplanktonu. Stanovení zákalu se provádí pomocí metody, jejíž principem je snížení zářivého toku způsobeného interakcí záření se vzorkem. Semikvantitativně lze zákal stanovit s pomocí tzv. průhledové zkoušky nebo zkušební deskou. Zákal kvantitativně měří pomocí turbidimetru, přičemž dochází ke snížení zářivého toku, který je způsobeno množstvím nerozpuštěných látek nebo zařízením, které se liší pouze umístěním detektoru a pracuje na principu šíření světla do všech stran vlivem interakce záření s koloidními systémy

obsaženými v roztoku. V tomto případě mluvíme o nefelometrii. Jednotlivá stanovení se srovnávají se standardem, který obsahuje suspenzi formazinu, a proto výsledky stanovení vztahujeme ke standardu a udáváme je ve formazinových jednotkách, které jsou závislé na použité metodě. Pro stanovení zákalu u pitných vod je udávána mezní hodnota 5 ZF.

2.4.3 Pach

Je způsoben velmi malým znečištěním určitými látkami, které upozorňují na včasné provedení laboratorního rozboru. Pach degraduje pitnou vodu a jeho přítomnost se nesmí vyskytnout ani při zvýšení její teploty. Přírodní vody jsou charakterizovány látkami, které neodmyslitelně patří do těchto vod a jsou prekurzory různých pachů. Výše uvedené zdroje pachu voda dostává při vzniku svého chemického složení a jsou označovány jako zdroje primární. Na druhé straně můžeme odlišit zdroje, které vodě naopak dodávají sekundární pach a jejich příčinou je hygienizace vod, která se nejčastěji zabezpečuje pomocí chlorace. Jestliže je dosaženo prahové koncentrace pachotvorné látky, potom je druh pachu závislý na její koncentraci. V poslední době je v popředí zájmů kvalitativní analýza biologických látek, které jsou původci zápachu. Slovní hodnocení druhu pachu je rozděleno pomocí těchto pachů např. rašelinový, plísňový, hnilobný, fekální či zemitý intenzita pachu se hodnotí pomocí stupnice, která nabývá hodnot 0-5. Teplota vody musí být v průběhu zkoušky ustálena na 25 °C, při vyšších teplotách 40 a 60 °C se určuje intenzita pachu, která by nebyla při nižších teplotách zřetelná. Stanovení prahového čísla pachu se provádí podle ČSN EN 1622 (75 7330).

2.4.4 Chuť

Chuť je do určité míry ovlivňována množstvím vápníku, železa, manganu, hořčíku, zinku, mědi, chloridů. Prahové koncentrace látek, které jsou původci chuti, velmi významně závisí na přítomnosti určitých látek ve vodě a také na množství kationtů a aniontů obsažených ve vodě. Při pH 6,5 až 7,5 dosahuje voda nejlepší chuti. Látky anorganické povahy mající velmi dobrý vliv na chuť jsou zastoupeny hydrogenuhličitanem a vápníkem zatímco látky, které mají zhoršený vliv na chuť jsou železo, měď, mangan, zinek. Rostoucí teplota vede ke zhoršení hodnocení chuti, a proto se k analýze používá vzorek o teplotě 15 až 20 °C. Vody posuzované z hlediska organoleptických vlastností s nižším obsahem minerálů, lze velmi těžko hodnotit pozitivně a celková mineralizace překračující hodnoty koncentrací minerálů nad 800 mg l⁻¹, již svou chutí neuspokojuje chuťové buňky.

2.5 Anorganické látky ve vodách

Výskyt určitých forem anorganických látek je úzce spjat s hodnotou pH, oxidačně-redukčním potenciálem či rovnovahami charakterizovanými vznikem komplexů. Prvky se v roztoku můžou vyskytovat ve formě kationtů, aniontů a také neelektrolytů. Rozdělení jednotlivých prvků na kovy, polokovy a nekovy souvisí se zaplňováním jejich elektronových vrstev.

2.5.1 Kovy a polokovy ve vodách

Jestliže hovoříme o prostředí, které je znečištěno kovy, nebo polokovy mluvíme velmi často o dvou skupinách, které rozdělují prvky podle jejich vlastností na těžké (hustota překračuje hodnotu přes 5000 kg m^{-3}) a toxické. Pod pojmem esenciální neboli nezbytné kovy se sdružují takové prvky, které patří do výše uvedené skupiny a velice významně ovlivňují biologické funkce v organismu. Většina kovů ve vodných roztocích podléhá hydrolyze až na některé výjimky, kterými jsou např. alkalické kovy, vápník a hořčík, a proto jsou ve vodě přítomny v poměrně vysokých koncentracích. Mnoho kovů je schopno tvořit komplexy, které jsou navzájem od sebe odlišovány konstantou stability. Jednotlivé komplexy se podle stupně disociace odlišují svou toxicitou. Některé kovy a polokovy jsou schopny podléhat biochemickým přeměnám, z nichž některé z těla odstraňují cizorodé látky. Jiné kovy jsou schopny katalyzovat reakce probíhající ve vodném prostředí a tím urychlovat dosažení rovnováhy. Toxické látky jako jsou rtuť, kadmium, olovo a arsen jsou velmi přísně omezovány jejich koncentrace před výpustí do recipientu. Z hlediska toxicity jsou pro nás významné ionty kovů, zatímco komplexy anorganické a organické povahy pro nás představují menší rizika, alespoň co se týká míry toxicity. Nejčastějšími analytickými metodami používaných pro stanovení kovů ve vodách jsou AAS a UV-VIS, které jsou založeny na interakci hmoty se zářením.

Sodík a draslík

V zemské kůře jsou zastoupeny pouze 2,5 %. Jejich zvyšující se koncentrace ve vodě je dána zvětráváním hlinitokřemičitanů např. albitu a ortoklasu a také zvýšením těžby v solných ložiscích. V odpadních vodách jsou přítomny z výroby, kde dochází k neutralizacím a produkci draselných a sodných solí, značný podíl je připisován i regeneraci iontoměničů. Ve vodách se vyskytují s největší pravděpodobností jako jednoduché kationty Na^+ a K^+ patřící mezi základní složky přítomné v přírodních vodách. V čistých

oblastech se přítomnost sodíku a draslíku pohybuje v atmosférických vodách v koncentracích desetin až setin mg l^{-1} . Jsou hojně obsaženy v lidském těle jako nezbytné prvky, které jsou důležité pro funkci organismu. V České republice u vody sloužící pro pitné účely je stanovena mezní hodnota 200 mg l^{-1} . Při léčbě chorob žlučových cest a žaludečních chorob je významná voda s vyšším obsahem sodíku a hydrogenuhličitanů. Vody bohaté na draslík jsou charakteristické mírou přirozené radioaktivity, která je spojena s přítomností izotopu ^{40}K .

Vápník a hořčík

V přírodě jsou tyto prvky hodně zastoupeny, avšak jejich koncentrace v zemské kůře se u vápníku pohybuje na 0,035% a u hořčíku 0,020%. Ke zvýšení jejich koncentrace ve vodě dochází především rozkladem vápenatých a hořečnatých látek patřících do skupiny hlinitokřemičitanů a prostřednictvím odpadních vod mající svůj původ v průmyslových výrobcích, ve kterých dochází k neutralizacím pomocí hydroxidu vápenatého a jiných alkalických látek s obsahem vápníku. Ve vodách s nízkou mineralizací jsou obsaženy ve formě Ca^{2+} a Mg^{2+} , naproti tomu ve vodách s vyšším obsahem minerálních látek, hydrogenuhličitanů a síranů může docházet k tvorbě iontových asociátů a navíc vápník může tvořit komplexy s humínovými látkami. V podzemních a povrchových vodách se množství vápníku udává od desítek do stovek mg l^{-1} , přičemž množství hořčíku obsaženého ve vodě je o něco nižší a pohybuje se v intervalu hodnot od jednotek do desítek mg l^{-1} . V České republice je průměrné množství vápníku na hodnotě 50 mg l^{-1} , u hořčíku se pohybujeme kolem 10 mg l^{-1} . Synergickým působením vápníku a hořčíku byl v hydrochemii vyčleněn pojem tvrdost vody, který avšak v mnoha lidech evokuje prisouzení stejných vlastností těmto dvěma prvkům lišícími se v určitých biologických a chemických vlastnostech. V tomto ohledu je na tvrdost vody pohlíženo jako na tradiční pojem, který je neustále užíván širokou laickou i odbornou veřejností. Jako velmi málo rozpustné sloučeniny vápníku bych jmenoval CaCO_3 , podvojný uhličitan $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$, CaSO_4 , CaF_2 , naopak u hořčíku jsou to sloučeniny uhličitan hořečnatý, hydroxid hořečnatý. V průmyslu jsou zvýšené hodnoty koncentrací těchto prvků mnohdy nežádoucí z důvodu snižování kvality výrobních procesů a s tím související růst nákladů. Ve vodách bohatých na hořčík s vysokým obsahem aniontů vlivem této skutečnosti dochází ke snížení kvality vody. Celková koncentrace vápenatých a hořečnatých iontů by se měla pohybovat v intervalu hodnot od $2,0$ až do $3,5 \text{ mmol l}^{-1}$, přičemž mezní hodnoty stanovují koncentraci pro vápník

na 30 mg l⁻¹ a pro hořčík koncentraci 10 mg l⁻¹.

Hliník

V přírodě je jeho výskyt spojen s tvorbou hlinitokřemičitanů ve formě albitu, anortitu, kaolinitu, kryolitu, spinelu. Zdrojem znečištění jsou odpadní vody z různých podniků zabývajících se úpravou hliníku, papírenstvím a zpracováním kůže. Ve vodách je obsažen, rozpuštěný hliník ve formě iontů, nerozpuštěný hliník a hliník, který je obsažen v organických látkách. Hlinité ionty podléhají hydrolyze, která je spojena s tvorbou hydroxokomplexů, přičemž složení je závislé na teplotě na vlastnostech roztoku a na celkovém množství přítomného hliníku. Polyaluminiumchlorid nachází své uplatnění především v oblasti čištění odpadních vod a dále je používán jako srážecí činidlo. Kromě hydroxokomplexů hliník tvoří i jinak modifikované komplexy např. sulfátokomplexy, fluorokomplexy, křemičitanové komplexy. Ve vodě je neškodný, ale v prostředí žaludečních kyselin dochází k existenci Al³⁺, který je ovšem v alkalickém prostředí střev částečně zneutralizován. Ve vodách s vyššími koncentracemi hliníku a v kyseljším prostředí může docházet k vyplavování hlinitého iontu, který působí toxicky na kořenový systém rostlin. V České republice je množství hliníku omezeno mezní hodnotou na koncentraci 0,2 mg l⁻¹ pro pitné vody a 0,05 mg l⁻¹ pro kojenecké a pramenité vody.

Železo

Vyskytuje se ve sloučeninách např. pyritu, lepidokrokitu, magnetovci, limonitu a sideritu. Tyto látky jsou charakterizovány nízkými součiny rozpustnosti, a proto je voda železem pocházejícím z těchto sloučenin velmi málo obohacena. Vysoké hodnoty koncentrací železa jsou obsaženy v důlních vodách, kde došlo k oxidaci pyritu a k jeho následné reakci s vodou. To, v jakých formách se železo bude vyskytovat, je ovlivněno především hodnotami pH a oxidačně-redukčním potenciálem. V redukčních podmínkách podzemních a povrchových vod se železo vyskytuje v druhém oxidačním stupni. Oxidací hydroxidu železnatého vzniká hydratovaný oxid železitý, který lze z vody odstranit v silně alkalickém prostředí. Na této reakci je založeno odstraňování železa z vody. Ve vodách bohatých na hydrogenuhličitan s vyšším stupněm organického znečištění je nejvíce zastoupeno hydratované železo ve druhém oxidačním stupni. Hodnota pH je úzce spojena s rychlostí oxidace železa na třetí oxidační stupeň, přičemž oxidace železa může být ovlivňována

přítomností jiných látek, které mohou být ve formě kationtů nebo aniontů. V rámci technologií se uplatňuje železo v extrémních oxidačních stavech, např. v šestém oxidačním stavu, ve kterém má velmi silné oxidační schopnosti a dezinfekční účinky spojené s likvidací mikroorganismů, které jsou odolné vůči chlorovaným přípravkům. Železo je příčinou žlutého až hnědého zabarvení technických součástí, které jsou v přímém kontaktu s vodou a navíc způsobuje zhoršení organoleptických vlastností. Stanoveným imisním standardem je množství železa o koncentraci 2 mg l^{-1} , v případě závlahy je tato hodnota povýšena na 10 mg l^{-1} . Elementární železo je využíváno k odstranění alkyhalogenidů a polyhalogenovaných sloučenin z vod, přičemž v tomto případě je nutností, aby reakce probíhala v kyselém prostředí.

Mangan

Mangan se do vody dostává převážně z rud jako je např. burel, pyroluzit, braunit, hausmanit, manganit, dialogit. Lidskou činností se mangan do životního prostředí dostává zejména jako součást odpadních vod pocházejících z metalurgických a chemických provozů. V prostředí s redukčními vlastnosti se vyskytuje iont Mn^{2+} , který je velice stabilní pouze v prostředí, které obsahuje velmi malé množství kyslíku a v případě, jestliže hovoříme o rozpuštěných formách, tak nejčastěji dochází k výskytu hydratovaného kationtu, jehož reaktivita značně závisí na hodnotách pH. Jestliže mluvíme o odstranění manganu z vod, tak nejprve dochází k oxidaci Mn^{2+} , která se provádí v silně alkalickém prostředí na směs produktů, které jsou odlišovány pomocí součinů rozpustnosti a následnou filtrací. Výhodou tohoto procesu je současné odstranění manganu i amonných iontů, které jsou schopny adsorpce na povrchu částic manganu. Mangan se zúčastňuje mnoha oxidačně-redukčních dějů, které jsou příčinou rozložení koncentrace manganu v celé hloubce vodní nádrže. Je to nepostradatelný prvek pro organismy a je příčinou velmi významného zhoršení organoleptických vlastností vod. V České republice je množství manganu upraveno mezní hodnotou na koncentraci $0,05 \text{ mg l}^{-1}$ a ve vodě pro závlahu je doporučována nejvyšší hodnota do 3 mg l^{-1} .

Kadmium

Při zpracování rud obsahujících kadmium dochází k současnému znečištění odpadních vod a atmosféry. V zemědělství používaná fosforečnanová hnojiva jsou velice často doprovázena přítomností kadmia, které se stává nedílnou součástí kalů, pocházejících z

čističek odpadních vod. Mezi významné znečišťovatele odpadních vod patří také podniky, které se zabývají galvanickým pokovováním a produkcí Ni-Cd baterií. Kadmium se může vyskytovat ve formě iontu nebo ve formě různých komplexů např. hydroxokomplexů, karbonatkomplexů, sulfatkomplexů atd. Ve vodě přítomné rozpuštěné kadmium může mít vliv na adsorpci či desorpci tohoto kovu na sedimentech obsažených ve vodních tocích. Tento prvek se řadí mezi velice nebezpečné jedy, které je nebezpečný kvůli své bioakumulaci. Co se týká kadmia v pitné vodě, tak je limitováno pomocí mezní hodnoty na koncentraci 5 mikrogramů l-1. U průmyslových odpadních vod je jeho limit stanoven pro koncentraci 0,1 mg l-1 a je zařazen do seznamu zpoplatněných ukazatelů znečištění.

Rtuť

Hlavní výskyt rtuti je ve sloučenině, která se jmenuje cinabarit. Tento prvek znečišťuje ovzduší především spalováním fosilních paliv a následně vlivem klimatických podmínek dochází k mokré depozici a srážky se dostávají i se zbytky rtuti do povrchových vod. Dalším významným zdrojem znečištění jsou průmyslové odpadní vody z podniků využívajících ve svých technologiích elektrolýzu NaCl amalgámovým způsobem, dále jsou to fungicidy, jejichž součástí je rtuť a konzervační látky používané v průmyslu. Ve vodě se rtuť vyskytuje ve formách Hg^0 , Hg^{2+} a jsou přítomné také chlorokomplexy a komplexy jejichž donory jsou organickými ligandy. Z organických derivátů je nutné uvést sloučeniny alkylhydrargyria, které zastupuje methylhydrargyrium a dimethylhydrargyrium. Přeměna formy anorganické na organickou probíhá s řadou biochemických reakcí, které závisí na teplotě, koncentraci vodíkových iontů a hodnotě oxidačně-redukčního potenciálu. K odstraňování rtuti z odpadních vod se využívá technologie založená na srážení rtuťnatých iontů s diethyldithiokarbamátem sodným za vzniku velmi málo rozpustné sraženiny, také dochází velmi často k provzdušňování. Ve vodách můžou probíhat i demethylační reakce, při kterých dochází k rozpadu alkylderivátů a vzniku anorganických sloučenin. Sloučeniny rtuti mají vysokou schopnost kumulace v orgánech jako jsou játra, ledviny či mozek, který je neurotoxicky ovlivňován. V České republice je nejvyšší mezní hodnota pro koncentraci rtuti v pitné vodě 1,0 μ l pro kojenecké vody nesmí přesáhnout hodnotu 0,5 mikrogramů.

Olovo

Olovo se vyskytuje nejčastěji ve sloučeninách galenitu a v menší míře v anglesitu, cerusitu a hydrocerusitu. V současné době patří mezi zdroje znečištění sloučeninami olova odpadní

vody pocházející z podniků, které se zabývají zpracováním rud obsahujících olovo. Dále jsou to metalurgický průmysl a produkce akumulátorů. Mezi dominující rozpuštěné formy olova řadíme iont Pb^{2+} a karbonatokomplexy, jejichž tvorba je ovlivňována změnami hodnot pH. Při vyšším pH dochází k tvorbě hydroxokomplexů a dikarbonatokomplexů. Jeho kumulační koeficient se pohybuje stabilně v řádu 10^5 , přičemž nebezpečnost olova tkví v tom, že dochází k vazbě na SH skupinu enzymů a důsledkem toho může docházet k jejich dysfunkci. Jako jiné těžké kovy má neurotoxické účinky a je považován za možný karcinogen. V České republice platná legislativa určuje pro pitnou vodu nejvyšší mezní hodnotu $0,01 \text{ mg l}^{-1}$ pro kojeneckou vodu $0,005 \text{ mg l}^{-1}$ a stanovuje limit pro vypouštění odpadních vod znečištěných olovem do veřejné kanalizace na hodnotu $0,1 \text{ mg l}^{-1}$.

Arsen

V přírodě jsou poměrně zastoupeny sloučeniny arsenu v sulfidech např. pyritu, realgaru, auripigmentu, jejichž rozkladem dochází k uvolňování arsenu do podzemních vod. Arsen je velmi dobře zachytáván na sedimenty, které pomocí oxidů a jílových částic mají velmi dobře vyvinuté sorpční vlastnosti. V důsledku spalování fosilních paliv, hutního a kožedělného průmyslu používáním pesticidů na bázi arsenu, dochází ke zvyšování koncentrací tohoto prvku ve vodách. Ve vodách je přítomen ve třetím a pátém oxidačním stupni. Oxidace arsenu spojená s chlorací při úpravě surových vod probíhá velmi rychle a doba potřebná na oxidaci arsenu je závislá především na použití hygienizačního činidla. Naopak k redukcí arsenu dochází při použití síranu železnatého nebo sulfidů. Podobně jak tomu bylo u rtuti, tak i arsen je schopen tvořit methylderiváty např. methylarsan, dimethylarsan, trimethylarsan. Arsen se velmi často sorbuje na hydratované oxidy, které jsou součástí různých plavenin, sedimentů, a tím způsobují anorganické znečištění říčních toků. Z hlediska toxicity jsou na tom mnohem lépe As^{5+} než As^{3+} ionty, které jsou vysoce toxické. Je zařazován mezi nervové jedy, které se kumulují v určitých tkáních. Dále je příčinou poruch srdeční činnosti a hyperkeratózy. K odstraňování železa se využívá redukce elementárním železem ve formě nanočástic, které se vyznačuje velkou plochou povrchu a v kyselém prostředí je dosahováno velmi dobré účinnosti odstranění tohoto polutantu. Velice dobře mají k odstranění arsenu ze znečištěných vod nakročeno vědci z RCPTM Olomouc, kteří provedli řadu studií, které se věnují této problematice a s pomocí nano Fe^0 provádějí experimenty směřující k odstranění arsenu z pitných vod [20]. V České republice je ve vodách limitována nejvyšší mezní hodnota arsenu na koncentraci $0,01 \text{ mg l}^{-1}$, pro kojenecké vody $0,005 \text{ mg l}^{-1}$.

Křemík

V zemské kůře je zastoupen přibližně 27 % a dochází ke slučování s elektro pozitivními prvky za vzniku hlinitokřemičitanů. Zvětrávání je hlavním důsledkem zvyšování koncentrací alkalických kovů a křemíku v pitných vodách. Jako nežádoucí látka se vyskytuje v průmyslových odpadních vodách mající svůj původ ve výrobě skla a keramických materiálů. Ve vodách jsou křemičitany obsažené ve velmi malém množství. Ve vodách, které mají hodnotu pH pod 9 jednotek, je křemík obsažen ve formě Si(OH)_4 a naopak při pH převyšujícím 9 jednotek je přítomný ve vodách v iontové formě. Křemík svým chováním předurčuje převážně chemické a biologické vlastnosti vod. Velký podíl má i tlumivé kapacity, která je pro křemík významná v alkalické oblasti a souvisí se vznikem tetrahydrogenkřemičité kyseliny. Křemík je velmi významný u korozi materiálu, kde plní úlohu inhibitoru tohoto procesu. Jeho účinkem mohou vznikat nánosy, které jsou spojeny s jeho vysokými koncentracemi ve vodách určených k napájení kotlů a může docházet až k poškození stěn těchto zařízení. Je řazen mezi nezbytné prvky, které nejsou žádným způsobem.

2.5.2 Nekovy ve vodách

2.5.2.1 Sloučeniny chlóru

Chloridy se vyskytují ve vodách v oblastech spojených s ložiskem kamenných a draselných solí, dále jsou součástí odpadů pocházejících z živočišné výroby nebo souvisí s údržbou komunikací v zimních měsících. Jsou obsaženy ve vodách, které vznikají v chemickém průmyslu, při zabezpečování hygienizace surových vod, dále jsou součástí pyrotechniky, kde působí jako oxidovadla a jsou spojeny se silvestrovskými oslavami. Chlór se objevuje v široké škále sloučenin např. chloridů, chlornanů, kyseliny chlorné, chloraminů, chloristanů, chlorečnanů. Chlór se ve vodném prostředí vyskytuje převážně ve formě chloridů. Rozpouštění chlóru je doprovázeno se vznikem chlorové vody a rozpustnost se zvyšuje s rostoucí hodnotou pH. Jestliže jsou ve vodách přítomny vyšší koncentrace amoniakálního dusíku, může docházet k tvorbě chloraminů. Oxid chloričitý je další sloučenina chlóru, která má použití v technologii vod jako dezinfekční činidlo doprovázené jeho oxidačními vlastnostmi, které se pohybují v širokém rozmezí pH stupnice. V porovnání s účinky chlóru nezpůsobuje chloraci. Chloristany jsou v běžných

vodách zastoupeny v koncentraci přibližně jednotek až desítek $\mu\text{g l}^{-1}$, v době silvestrovských oslav ovšem dochází k nárůstu až na hodnotu koncentrace $80 \mu\text{g l}^{-1}$. Chloridy patří mezi velmi stabilní formy chlóru, které jsou zařazovány do skupiny agresivních látek. Chlór je využíván v úpravnách vod, kde dochází ke vzniku halogenderivátů, které negativně ovlivňují některé organoleptické vlastnosti. V naukách o vodách se rozumí pojmem celkový aktivní chlór všechny formy chlóru, které jsou schopny oxidace jodidů na elementární jód v kyselém prostředí, a dále jsou rozlišovány volný aktivní chlór (molekulární chlór, chlornany), vázaný aktivní chlór (chloraminy, organický chlór).

2.5.2.2 Sloučeniny síry

Podle prvků, se kterými vytváří vazbu můžeme síru rozdělit na organicky např. bílkoviny, aminokyseliny, thioly, sulfosloučeniny a anorganicky vázanou např. sulfan, iontové formy, thiokyanatany, elementární síru, thiosírany, siřičitany, sírany.

Sírany

Hlavní zdroje síry jsou sloučeniny sádrovec a anhydrit. Významnými zdroji jsou také mořirny kovů, městské a průmyslové emise, dále emise vznikající spalováním fosilních paliv, které jsou v ovzduší přítomny hlavně v zimních měsících. Ve vodě je nejvíce zastoupen síranový anion a v případě zvýšené koncentrace síranů může docházet i ke tvorbě sulfátokomplexu. Z velmi těžko rozpustných forem síry lze jmenovat BaSO_4 , SrSO_4 a CaSO_4 . Ve větším množství nepříznivě ovlivňuje chuťové vlastnosti vody. Zvýšená množství síranů, sodíku a draslíku mohou vodě dodávat laxativní účinky. V České republice platí mezní hodnota koncentrace SO_4^{2-} iontů 250 mg l^{-1} .

Sulfan

Tvoří se v bezkyslíkatém prostředí při rozkladu organických látek s obsahem síry a také je součástí emisí při vulkanických činnostech. Je obsažen v odpadních vodách, které pocházejí z průmyslových podniků zabývajících se zpracováním uhlí, barvením a výrobou petrochemických produktů. Ve vodách je obsažen ve formě iontu HS^- , S^{2-} , nedisociovaného sulfanu nebo ve formě komplexních sloučenin sulfidů, které jsou charakterizovány velmi nízkým součinem rozpustnosti. Ve vodě je dobře rozpustný, přičemž nežádoucí vlastnosti

jsou připisovány nedisociované molekule sulfanu, která je odpovědna za toxicitu a pach. Jeho vlastnosti se podepisují na korozi betonu používaného ve stavebnictví. V pitných vodách není žádným způsobem koncentrace sulfanu omezena, ale k omezení dochází u kojeneckých a pramenitých vod na hodnotu $0,01 \text{ mg l}^{-1}$ pro nedisociovaný sulfan, který je pro své chemické vlastnosti toxický.

2.5.2.3 Sloučeniny fosforu

V přírodě se fosfor dostává do vod prostřednictvím půd, minerálů a důsledkem zvětrávání hornin. V prostředcích používaných v lidské společnosti je koncentrován v pracích a čistících prostředcích, v zemědělství se používá k výživě rostlin a v nižších koncentracích se vyskytuje v odpadech živočišného původu. Celkový fosfor se rozděluje na rozpuštěný a nerozpuštěný, který se dále člení na anorganicky a organicky vázaný. Rozpuštěný anorganický fosfor se ještě dále rozčleňuje na orthofosforečnanový a polyfosforečnanový. Ke stanovení celkového fosforu se využívá hydrolytického rozkladu polyfosforečnanů a některých organofosforečnanů, které se provádějí za varu při vysoké koncentraci vodíkových iontů, které mohou dodat silné minerální kyseliny. Při stanovení rozpuštěného orthofosforečnanového fosforu se často dochází k chybám v důsledku zahrnutí části anorganických a organických forem spojených nestálou vazbou, a tím dochází ke zvýšení množství fosforu obsaženého v této skupině fosforečnanů. Rozpuštěný nereaktivní fosfor je zastoupen organicky vázaným fosforem a polyfosforečnanem, které nelze stanovit s využitím molybdenové metody. V tomto případě mluvíme o rozpuštěných reaktivních formách. V oblasti vod se vyskytují téměř nerozpustné kovové fosforečnany. V praxi dochází k odstraňování fosforečnanů s využitím srážení solemi na bázi železa nebo hliníku v prostředí slabě alkalickém. V letních měsících dochází k poklesu množství fosforečnanů účinkem fotosyntetické asimilace a dochází k odebrání těchto látek, které způsobují eutrofizaci vod. Zvýšení hodnoty koncentrací fosforečnanů přítomných v podzemních vodách indikuje často fekálie, které jsou velmi závažným typem znečištění. Co se týká fosforečnanů přítomných v upravené vodě, tak by nemělo dojít k překročení jejich koncentrace, která je dána hodnotou $2,2 \text{ mg l}^{-1}$. Limit pro vypouštění vyčištěné odpadní vody do recipientu je stanoven na koncentraci 3 mg l^{-1} .

2.5.2.4 Sloučeniny dusíku

Dusík svým procentuálním zastoupením v organismu patří mezi makrobiogenní prvky. Jeho využití je v biologických čistírnách odpadních vod.

Amoniakální dusík

Vzniká rozkladem organických látek obsahujících dusík. Jeho úniky do životního prostředí souvisí s aplikací dusíkatých hnojiv, znečištěním průmyslových odpadních vod, které pochází z podniků, jejichž účelem je zpracování uhlí a galvanické pokovování. Ve vodě existuje jako hydrát $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$, který svou disociací poskytuje ionty NH_4^+ a OH^- , jejichž koncentrace se zvyšuje s rostoucí teplotou. Amoniakální dusík je schopen tvořit amminokomplexy, které vznikají koordinací NH_3 do prázdných orbitalů kovových prvků. Jelikož je molekula amoniaku velice těkavá, lze ji z vody odstranit pouhým provzdušňováním, přičemž bylo prokázáno, že při hodnotách pH kolem 10 je dosaženo 98% účinnosti odstranění amoniakálního dusíku. V kyslíkatém prostředí jsou amonné ionty nestabilní a podléhají oxidaci, která přednostně probíhá v alkalickém prostředí. Nedisociovaný amoniakální dusík má velmi toxický projev na ryby. Je zodpovědný za korozi mědi a jejich sloučenin a je velice významný ukazatel posuzování fekálního znečištění podzemních vod. V pitné vodě je stanovena mezní hodnota na koncentraci $0,05 \text{ mg l}^{-1}$ a je významně sledovaným ukazatelem čistoty vod při odtoku z čistírny do recipientu.

Dusitany

Jejich přítomnost je spojena především s biochemickou oxidací amoniakálního dusíku nebo redukcí dusičnanových aniontů. Mezi jejich průmyslové zdroje patří strojírenské závody, podniky, které využívají chladicí kapaliny s obsahem dusitanů, závody zabývající se výrobou barviv. Tyto látky se vyskytují převážně ve formě kyseliny dusité, která je schopna disociace podle rovnice. Jejich nestálost ve vodách je způsobena jejich jednoduchou oxidací nebo redukcí. Jestliže jsou ve vodách přítomné ve větším množství mohou způsobovat methemoglobinaemii. V kyselém prostředí dochází k reakci dusitanu se sekundárními aminy za vzniku N- nitrosoaminů, které jsou příčinou onkologických onemocnění. V pitné vodě je mezní hodnota pro dusitany nastavena na koncentraci $0,5 \text{ mg l}^{-1}$ pro kojenecké a pramenité vody je tato hodnota ponížena na koncentraci $0,02 \text{ mg l}^{-1}$.

Dusičnany

Ve světě se dusičnany vyskytují v chilském ledku. Jsou konečným produktem oxidace dusíkatých látek, přičemž ke znečištění podzemních vod dochází používáním dusičnanových hnojiv v zemědělství. Významné jsou emise oxidů dusíku, které se dostávají do ovzduší, kde dochází k mokré depozici a následné kontaminaci povrchových vod. Dusičnany vznikají disociací kyseliny dusičné, která patří mezi silné kyseliny. V bezkyslíkatých podmínkách dochází k denitrifikaci dusičnanů. K odstranění dusičnanů z podzemních vod se využívá redukčních vlastností elementárního železa nebo železa v druhém oxidačním stupni, v prostředí vykazujícím vysoké hodnoty pH. Druhá metoda je založena na interakci nanočástic železa probíhající v kyselé oblasti. V trávicím traktu dochází k redukci dusičnanů na dusitany, které tvoří s hemoglobinem methemoglobin, který je rizikový z důvodu výskytu onemocnění nazývaným se dusičnanová alimentární methemoglobinaemie.

V pitných vodách je nejvyšší mezní hodnota pro dusičnany 50 mg l^{-1} a pro kojeneckou vodu je tato hodnota snížena na koncentraci 10 mg l^{-1}

2.6 Organické látky ve vodách

Ve vodách obsažené organické látky mohou být původu přirozeného (lesní humus, produkty metabolismu rostlin a živočichů) nebo antropogenního (různé typy splaškových a odpadních vod, odpady ze zemědělství a skládek). Organické látky můžeme dále rozdělit na autochtonní (jsou spjaty s místem vzniku) a alochtonní (látky přenesené z jiných ekosystémů). Významné je členění organických látek podle rozložitelnosti a nerozložitelnosti (ligninsulfonany, polyaromatické uhlovodíky, halogenované organické látky). Mezi velmi jedovaté organické látky zpravidla řadíme organohalogenované sloučeniny, organofosforové sloučeniny, organické sloučeniny cínu. V roce 2001 byla podepsána Stockholmská úmluva, která se zavazuje k vytlačení výroby a používání látek uvedených na seznamu a zabývá se i otázkou polychlorovaných látek, které jsou sledovány a na základě toho jsou snižovány jejich koncentrace v životním prostředí.

Základními metodami ke stanovení organických látek jsou chemická spotřeba kyslíku (CHSK), biochemická spotřeba kyslíku (BSK) a celkový obsah organických látek (TOC).

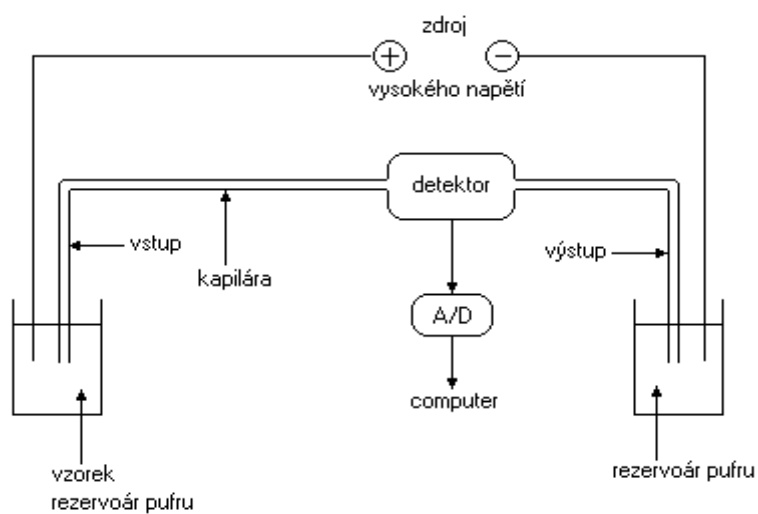
2.6.1 Pesticidy

Jsou v zemědělství a lesnictví používané přípravky na ochranu rostlin před plevele, houbami a škůdci. Tyto přípravky lze rozdělit podle účinnosti na jednotlivé organismy (např. insekticidy, herbicidy, fungicidy). Dále se rozlišují podle mechanismu působení na dvě velké skupiny přípravků, kdy jedna z nich jsou přípravky kontaktní (jejich účinek se projevuje při styku s cílovým organismem, jsou zadržovány na povrchu rostlin) a do druhé skupiny patří přípravky systémové (pronikají do organismu ošetřované rostliny). Všechny přípravky v zemědělství používané jsou registrovány a pravidelně aktualizovány v seznamu povolených přípravků na ochranu rostlin, který je spravován ministerstvem zemědělství. Pesticidy můžeme rozdělit na anorganické a organické, které se dále člení na organochlorové (hexachlorcyklohexan, DDT, aldrin, dieldrin, isodrin, endrin, heptachlor, endosulfan, hexachlorbenzenalachlor, chloropyrifos) a organofosforové pesticidy (dichlorvos, parathion-ethyl, parathion-methyl, dimethoat, chlorfenvinfos, fenthion, fenitrothion). Velmi často dochází k adsorpci na povrchu organických a minerálních látek. Pro součet každého ve vodě přítomného pesticidu platí nejvyšší mezní hodnota $0,5 \mu\text{g l}^{-1}$. Jestliže je tato látka přítomna sama, tak nejvyšší mezní hodnota udává koncentraci $0,1 \mu\text{g l}^{-1}$.

2.7 Stanovení vybraných anorganických iontů

2.7.1 Kapilární zónová elektroforéza

Je to metoda využívající ke stanovení odlišné elektroforetické pohyblivosti iontů, které jsou v roztoku disociované. Separace je započata nástřikem vzorku do křemenné kapiláry o vnitřním průměru 50-100mikroM, která je ze vnější strany pokryta vrstvičkou polyamidu a obsahuje tzv. nosný elektrolyt, kde je analyzovaná látka v podobě úzké viditelně ohraničené zóny, která se pohybuje vlivem elektrického pole, kde dochází k oddělování jednotlivých zón látek, které chceme oddělit. Na konci kolony je detektor, který může být různého typu, např. fotometrický, fluorescenční a vodivostní, záleží jaké meze detekce chceme dosáhnout. Na konci analýzy dostaneme elektroforegram s časovým průběhem separovaných látek, který nám poskytuje údaj o kvalitě vzorku a kvantitativní údaj, který získáme integrací jednotlivých píků.



Obrázek č.1: Schéma kapilární zónové elektroforézy [15]

3 Experimentální část

3.1 Použité chemikálie

Tabulka č.1: Chemikálie použité v rámci jednotlivých stanoveních

Chemikálie v čistotě p.a.	Výrobce
Standardní roztok 20 ZFn	HACH
Roztok chloridů $c(\text{Cl}^-) = 1000 \text{ mg/l}$	Analytika a Merck
Roztok síranů $c(\text{SO}_4^{2-}) = 1000 \text{ mg/l}$	Analytika a Merck
Roztok dusičnanů $c(\text{NO}_3^-) = 1000 \text{ mg/l}$	Analytika a Merck
Pracovní kontrolní roztok $c(\text{NO}_2^-) = 0,2 \text{ mg/l}$	Analytika a Merck
Standardní roztok $c(\text{Mn}^{2+}) = 1000 \text{ mg/l}$	Analytika
Amoniak	Analytika
Standardní roztok $c(\text{NH}_4^+) = 1000 \text{ mg/l}$	Merck
Standardní tlumivý roztok $\text{pH} = 4,01$	Merck
Standardní tlumivý roztok $\text{pH} = 7,00$	Merck
Standardní roztok $c(\text{Fe}^{2+}) = 1000 \text{ mg/l}$	Merck
Dihydrát hydrogenfosforečnanu disodného	Merck
Dihydrogenfosforečnan draselný	Merck
Chlorid draselný	Lachema, Brno, a.s.
Chlorid amonný	Lach-Ner, s.r.o.
$\text{Na}_2 \text{EDTA}$	Lach-Ner, s.r.o.
Chelatonát hořečnato - dvojsodný	Lach-Ner, s.r.o.
Eriochromčern T	Lach-Ner, s.r.o.
Láh technický	VIA-REK, spol. s.r.o.

Tabulka č.1: Chemikálie použité v rámci jednotlivých stanoveních - pokračování

Hydroxylamin hydrochlorid	Lachema, Brno, a.s.
Kyselina octová ledová	Lachema, Brno, a.s.
Kyselina chlorovodíková	Lachema, Brno, a.s.
Kyselina fosforečná	Lachema, Brno, a.s.
4 – aminobenzen - sulfonamid	Lachema, Brno, a.s.
NED, N – (1 – naftyl) – 1,2 - diaminoethan	Lachema, Brno, a.s.
Šťavelan sodný	Merck
Manganistan draselný	Lach-Ner, s.r.o.
Kyselina sírová konc.	Lach-Ner, s.r.o.
Hydroxid sodný	Lachema, Brno, a.s.
Formaldehyd roztok 36 – 38%	Lachema, Brno, a.s.
Síran železnatoamonný hexahydrát	Lachema, Brno, a.s.
Salicylan sodný	Lachema, Brno, a.s.
Citronan trisodný dihydrát	Lachema, Brno, a.s.
Nitroprussid sodný	Lachema, Brno, a.s.
Dichlorisokyanuratan sodný	Lachema, Brno, a.s.
1,10 - fenantrolin	Lachema, Brno, a.s.
Octan amonný	Lachema, Brno, a.s.
Triethanolamin	Lach-Ner, s.r.o.

3.2 Použité přístroje

- kapesní turbidimetr HACH (HACH, Loveland, Colorado)
- pH metr inoLab pH Level 2 (WTW, Weilheim, Německo)
- Konduktometr inoLab Cond Level 2 (WTW, Weilheim, Německo)
- spektrofotometr UNICAM Helios α (ThermoSpectronic, Rochester, NY)
- digitální byreta Titronic 96 (SCHOTT, Elmsford, NY)

- Měřidlo HP^{3D} CE, PC, tiskárna (Hewlett Packard, Palo Alto, Kalifornie)

3.3 Příprava alternativních činidel

3.3.1 Alternativní činidla pro stanovení železa [28]

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

Za intenzivního míchání a chlazení se do 650 ml DEMI vody v kádince o objemu 1000 ml pomalu přidává odměrným válcem 250 ml koncentrované kyseliny sírové. Po ochlazení se doplní v odměrné baňce na objem 1000 ml DEMI vodou.

Octanový tlumivý roztok

V kádince o objemu 800 ml se v 500 ml ledové kyseliny octové rozpustí za mírného zahřátí 400 g octanu amonného. Po rozpuštění se roztok přelije do odměrné baňky o objemu 1000 ml a baňka se doplní DEMI vodou po rysku.

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

V odměrné baňce o objemu 500 ml se asi v 300 ml DEMI vody rozpustí za mírného zahřátí 2,1 g 1,10-fenantrolinu, přidá se 0,5 ml koncentrované kyseliny chlorovodíkové a baňka se doplní na objem 500 ml DEMI vodou.

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

Do odměrné baňky o objemu 250 ml se odváží 25 g hydroxylamin hydrochloridu a rozpustí se asi ve 200 ml DEMI vody. Po rozpuštění se doplní na objem 250 ml DEMI vodou.

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

Do odměrné baňky o objemu 1000 ml se asi do 750 ml DEMI vody pipetou přidá 10 ml kyseliny sírové a doplní se na objem 1000 ml DEMI vodou.

3.3.2 Alternativní činidla pro stanovení manganu [25]

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

Do odměrné baňky o objemu 500 ml se naváží 45 g Na_2EDTA a 9,5 g hydroxidu sodného. Přidá se 250 ml DEMI vody. Po rozpuštění se baňka doplní na 500 ml DEMI vodou.

Formaloxim roztok

V odměrné baňce o objemu 250 ml se ve 100 ml DEMI vody rozpustí 25 g chloridu hydroxylamonného. Pipetou se přidá 12,5 ml formaldehydu (36-38%) a baňka se doplní na 250 ml DEMI vodou.

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

Do odměrné baňky o objemu 1000 ml se odměří odměrným válcem 350 ml koncentrovaného roztoku amoniaku (25%) a baňka se doplní na 1000 ml DEMI vodou.

Hydroxylamin hydrochlorid roztok $c(\text{NH}_2\text{O.HCl})=6 \text{ mol/l}$

V odměrné baňce o objemu 500 ml se ve 250 ml DEMI vody rozpustí za mírného zahřátí 210 g hydroxylamin hydrochloridu. Baňka se doplní na 500 ml DEMI vodou.

Amoniakální roztok hydroxylaminu

Ve skleněné lahvi se smísí 1 objemový díl roztoku amoniaku a jeden objemový díl roztoku hydroxylamin hydrochloridu. Objemové díly se vypočtou z počtu vzorků a odměří se odměrným válcem.

Síran železnatoamonný roztok $\rho[(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)2.6\text{H}_2\text{O}]=700 \text{ mg/l}$

V odměrné baňce o objemu 500 ml se ve 100 ml DEMI vody rozpustí 350 mg síranu železnatoamonného. Přidá se 0,5 ml kyseliny sírové a 2 ml roztoku hydroxylamin hydrochloridu. Baňka se doplní na objem 500 ml DEMI vodou.

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

V odměrné baňce o objemu 1000 ml se v 500 ml DEMI vody rozpustí 220 g hydroxidu sodného. Po rozpuštění se baňka doplní na 1000 ml DEMI vodou.

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

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

3.3.3 Alternativní činidla pro stanovení amonných iontů [21]

Vybarvovací činidlo

V odměrné baňce o objemu 250 ml se v REDEMI (DEMI) vodě rozpustí 32,5 g salicylanu sodného a 32,5 g dihydrátu citronanu sodného. Přidá se REDEMI (DEMI) voda do celkového objemu asi 200 ml, načež se přidá 0,238 g nitroprussidu sodného. Po rozpuštění se objem doplní REDEMI (DEMI) vodou po rysku.

Dichlorisokyanuratan sodný

V kádince o objemu 600 ml se ve 200 ml REDEMI (DEMI) vody rozpustí 8,0 g hydroxidu sodného. Roztok se ochladí na teplotu místnosti, a pak se přidá 0,50 g dihydrátu dichlorisokyanuratanu sodného. Po rozpuštění se roztok převede kvantitativně do odměrné baňky na 250 ml a objem se doplní REDEMI (DEMI) vodou po rysku.

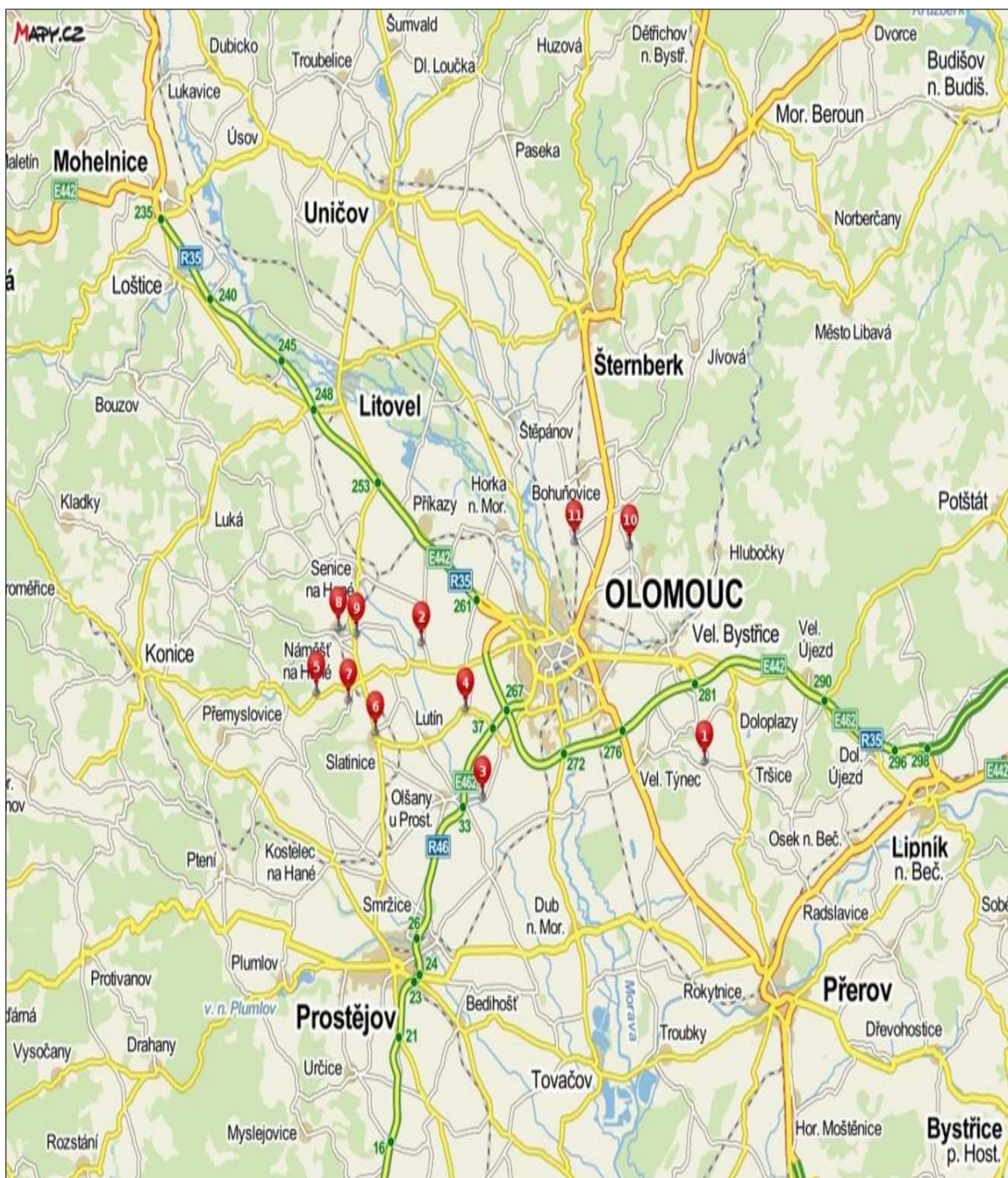
3.3.4 Alternativní činidla pro stanovení dusitanů [23]

Vybarvovací činidlo

Do odměrné baňky o objemu 500 ml se nalije asi 200 ml REDEMI vody a přidá se 50 ml kyseliny fosforečné ($\rho=1,70$ g/ml) odměrným válcem. V této směsi se rozpustí 20 g 4-aminobenzen-sulfonamidu. V takto připraveném roztoku se rozpustí 1 g NED. Baňka se doplní na objem 500 ml REDEMI vodou a dobře promíchá.

3.4 Odběr vzorků

Vzorky byly odebírány po dobu jedenácti měsíců v období od 24. května 2013 do 11. dubna 2014 v různě lokalizovaných místech soukromých obydlí převážně v oblasti Dražanské vrchoviny a okolí s ohledem na místně příslušné geologické podloží. Jednotlivé vzorkovnice byly plněny středním proudem vzorkované vody do předem důkladně vypláchnutých plastových PET lahvích od neochucených minerálních vod až do naplnění odběrové nádoby po okraj uzávěru, potom následovalo změření teploty, které bylo pečlivě zaznamenáno do laboratorního deníku. Po příjezdu k domovu následovalo okamžité umístění vzorků do spodní části chladničky s minimální prostupností světla, kde se pohybovala teplota na maximální úrovni 5 °C. V následující den byly v laboratoři změřeny další fyzikálně-chemické ukazatele kvality pitných vod, mezi něž patří pH, konduktivita, zákal, spektrofotometrické stanovení železa, manganu, dusitanů, amonných iontů, dále stanovení dusičnanů, chloridů a síranů s pomocí kapilární zónové elektroforézy a z titračních stanovení jsou to tvrdost vody a chemická spotřeba kyslíku manganistanem. Ukazatele jako jsou pH, konduktivita a zákal byly stanoveny pouze jednou vzhledem k nízké nejistotě měření a spolehlivosti metody. V dalším případě se jednalo o stanovení koncentrací vybraných anorganických iontů, které byly stanoveny kapilární zónovou elektroforézou s pomocí jednoho nástřiku a v důsledku velkého užití této metody k jiným analytickým stanovením jsem po konzultaci s odborným poradcem usoudil, že analýza bude prováděna pouze jedenkrát. Titracemi byly stanoveny ukazatele jako jsou tvrdost vody a chemická spotřeba kyslíku, ale ve většině případů stačila dvě stanovení, aspoň v rámci stanovení tvrdosti vody, dále u chemické spotřeby kyslíku byly prováděny tři stanovení v důsledku odlišnosti výsledků jednotlivých stanovení. V dalším případě se jednalo o stanovení vybraných anorganických iontů s pomocí spektrofotometrie, která pracuje s nejistotou měření 10%, a proto nebylo nutné provádět více než dvě stanovení.



Obrázek č.2: Odběrová místa [6]

První odběrové místo je v obci Vacanovice, která se nachází cca 3 km západně od obce Tršice. Studna, ze které byly prováděny odběry leží na soukromém pozemku domu s č.p. 26 v nadmořské výšce 263 m.n.m. GPS souřadnice tohoto odběrového místa jsou 49.5442703N, 17.3903303E. **Dle mapky pozice č.1.**

Druhým odběrovým místem je studna situovaná v obci Vojnice, která se nachází na pozemku bývalé zemědělské usedlosti s č.p. 39 cca 10 km západním směrem od města Olomouce. Voda do studně dotéká z vrtu, který dosahuje 18 metrové hloubky a leží v nadmořské výšce 227 m.n.m. GPS souřadnice tohoto odběrového místa jsou 49.5969850N, 17.1413897E. **Dle mapky pozice č.2.**

Třetím odběrovým místem je studna nacházející se v katastru obce Bystročice, která leží cca 7 km jihozápadně od Olomouce v nadmořské výšce 215 m.n.m. Studna je situována na pozemku bývalé zemědělské usedlosti. GPS souřadnice tohoto odběrového místa jsou 49.5363764N, 17.1932986E. **Dle mapky pozice č.3.**

Čtvrté odběrové místo je v obci Hněvotín, která leží cca 7,5 km jihozápadním směrem od města Olomouce v nadmořské výšce 244 m.n.m. Studna, ze které byly odebírány vzorky leží na pozemku rodinného domu s č.p. 295, který je situován na samém konci obce. Studna dosahuje hloubky 12 m. GPS souřadnice tohoto odběrového místa jsou 49.5690508N, 17.1719544E. **Dle mapky pozice č.4.**

Pátým odběrovým místem je zděná studna, která je situována 15 km západně od Olomouce v obci Luděřov, jehož nadmořská výška je 305 m.n.m. Studna se nachází na soukromém pozemku bývalé zemědělské usedlosti, která je součástí řadové zástavby. GPS souřadnice tohoto odběrového místa jsou 49.5799219N, 17.0465067E. **Dle mapky pozice č.5.**

Šesté odběrové místo je v obci Slatinice, které se rozprostírají na východním úpatí Velkého Kosíře, který je posledním výběžkem Dražanské vrchoviny ležící 12 km západně od města Olomouce v nadmořské výšce 244 m.n.m. Studna se nachází na soukromém pozemku

rodinného domu s č.p. 262. GPS tohoto odběrového místa jsou 49.5658106N, 17.1052314E. **Dle mapky pozice 6.**

Sedmým odběrovým místem je obec Drahanovice, která leží 13 km západně od Olomouce. Tato vesnice se nachází na úpatí Drahanské vrchoviny, na jižní straně obce jsou lesy Velkého Kosíře a na straně západní je přírodní park Terezké údolí. Studna, která má hloubku 14 m leží na soukromém pozemku rodinného domu s č.p. 229. GPS souřadnice tohoto odběrového místa jsou 49.5840383N, 17.0804739E. **Dle mapky pozice č. 7.**

Osmé odběrové místo se nachází v obci Náměšť na Hané, která leží cca 14 km od Olomouce v nadmořské výšce 247 m.n.m. Studna o hloubce 8 m leží na soukromém pozemku s nově postaveným rodinným domem, který má č.p. 633. GPS souřadnice jsou 49.6071744N, 17.0661089E. **Dle mapky pozice č.8.**

Deváté odběrové místo leží v obci Loučany, která se nachází v hanácké rovině 14 km od Olomouce v nadmořské výšce 234 m.n.m. Studna o hloubce 5 m je na soukromém pozemku rodinného domu s č.p. 691. GPS souřadnice jsou 49.6042139N, 17.0875956E. **Dle mapky pozice č.9.**

Desáté odběrové místo je v obci Samotišky, která leží v těsné blízkosti města Olomouce v nadmořské výšce 267 m.n.m. Studna je situována na soukromém pozemku s rodinným domem, který se nachází na ulici Tovéřská 76. Tento dům stojí na konci obce. GPS souřadnice tohoto odběrového místa jsou 49.6341486N, 17.3243042E. **Dle mapky pozice č.10.**

Jedenáctým a zároveň posledním odběrovým místem je obec Hlušovice, která se nachází cca 4 km od Olomouce v nadmořské výšce 218 m.n.m. Studna se nachází na soukromém pozemku s rodinným domem na adrese Loučky 166. GPS souřadnice tohoto odběrového místa jsou 49.6350728N, 17.2796400E. **Dle mapky pozice č. 11.**

3.5 Stanovení pH [26]

Ke stanovení jsem použil pH metru inoLab pH level 2 s pH kombinovanou elektrodou a teplotním čidlem. Před vlastním měřením jsem provedl kalibraci přístroje, která se

prováděla začátkem každého pracovního týdne s pomocí dvou standardních tlumivých roztoků o pH 4 a 7, potom následovalo změření kontrolního roztoku s referenční hodnotou pH=6,865 (25 °C), který se zpracovává v každé sérii vzorků jako běžný vzorek. Nejdříve jsem si do kádinky odlil zkoušený objem vzorku, a potom jsem vložil magnetické míchadlo a elektrodu s teplotním čidlem, kterou jsem dopředu opláchl v demineralizované vodě a usušil s pomocí papírové utěrky. Skleněnou elektrodu jsem ponořil do analyzovaného roztoku a na displeji jsem odečetl hodnotu pH, potom jsem elektrodu opět opláchnul a usušil vždy před každým měřením. V době, kdy se s elektrodou nepracovalo, byla vložena do tlumivého roztoku, aby nedošlo ke znehodnocení.

3.6 Stanovení konduktivity [24]

Jako první jsem přistoupil k měření kontrolního roztoku obsahujícího KCl o koncentraci 0,1 mol/l a vodivosti 1290 mS/m. Ke stanovení konduktivity jsem si do kádinky odlil zkoušený objem vzorku a opatrně jsem vložil předem opláchnutou a vysušenou vodivostní celu i magnetické míchadlo. Stiskem klávesy AR jsem aktivoval funkci AutoRead, přičemž se aktuální měřená hodnota zmrazila (funkce Hold). Za nepřetržitého míchání jsem klávesou RunEnter spustil funkci AutoRead. Symbol na displeji blikal tak dlouho, dokud se měřená hodnota neustálila. Po ustálení signálu symbol AR přestal blikat a aktuální měřená hodnota se zobrazila na displeji. Po ukončeném měření série vzorků jsem vodivostní celu opláchnul a dosucha vysušil.

3.7 Stanovení zákalu [27]

Láhev se standardem jsem intenzivně 3 minuty protřepal, aby došlo k rozptýlu suspendovaných částic obsažených v roztoku, a potom jsem ji 5 minut nechal v klidu stát a následně jsem ji 7 minut pozvolna převracel. Před měřením standardu jsem na optický povrch kyvety nanesl tenký film silikonového oleje a otřel jej jemným hadříkem. Kyvetu jsem označil značkou na horní kulaté části pro její lepší orientaci v kyvetovém prostoru. Kyvetu jsem vkládal do tohoto prostoru vždy stejně orientovanou. Kyvetu jsem alespoň jednou propláchnul standardem a spodní část kyvety jsem zaplnil a nechal po dobu jedné minuty v klidu. Při vlastním měření jsem kyvetu naplnil zkoušeným objemem vzorku, zakryl víčkem a otřel ji jemným hadříkem, abych z povrchu odstranil kapky vzorku, a poté

jsem ji umístil do kyvetového prostoru přístroje, kde byla zakryta víkem přístroje. Stisknul jsem a držel tlačítko READ, dokud nedošlo ke stabilizaci výsledku a po uvolnění tlačítka READ jsem zaznamenal hodnotu zákalu v ZFn.

3.8 Stanovení celkové tvrdosti vody chelatometrickou titrací

Do předem připravené kádinky o objemu 150 ml jsem odměrným válcem tř. A odměřil 50 ml vzorku, dále jsem přidal 3 kapky indikátoru eriochromčerně T, 4 ml tlumivého roztoku a důsledkem přidaného indikátoru dochází ke změně zbarvení roztoku do vínově červeného nebo fialového odstínu, hodnota pH nesmí překročit $10 \pm 0,1$ jednotek pH. Do kádinky jsem vložil magnetické míchadlo a za nepřetržitého míchání jsem ihned jsem ihned titroval roztokem EDTA o $c=20 \text{ mmol l}^{-1}$. Na počátku jsem titroval rychleji a ke konci titrace pomalu, abych postřehl počátek změny zbarvení v bodě ekvivalence. Bodu ekvivalence jsem dosáhl, když v roztoku nebyl patrný žádný červený odstín, přičemž spotřebu roztoku EDTA v první titraci jsem označil V_{sp1} . Druhou titraci jsem prováděl se stejným objemem vzorku a přibližně stejným způsobem, pouze s tím rozdílem, že spotřeba odměrného roztoku na druhou titraci byla o 0,5 ml menší než v první. Poté jsem přidal 4 ml tlumivého roztoku a titroval jsem do změny zbarvení, která se projevila barevným přechodem z vínově červené do světle modré barvy.

3.9 Stanovení chemické spotřeby kyslíku

3.9.1 Oxidace manganistanem draselným [22]

Tato metoda se využívá ke stanovení organických látek v pitných vodách. K analýze organických látek v odpadních vodách se tato metoda nepoužívá z důvodů nízkého stupně oxidace velkého množství organických příměsí přítomných v těchto vodách. Při stanovení se musí vzorek zahřívát na vodní lázni po dobu deseti minut s přidaným roztokem manganistanu draselného v silně kyselém prostředí, přebytek manganistanu se stanoví titrací odměrným roztokem šřavelanu sodného. Při stanovení se dopouštíme chyby, jestliže je koncentrace chloridů ve stanovovaném roztoku vyšší než 300 mg l^{-1} . Předností této metody je stanovení relativně nízkých koncentrací, které jsou kompenzovány nízkým

stupněm oxidace složitějších organických látek přítomných ve vzorku.

Před provedením stanovení série vzorků jsem si zapnul vodní lázeň s termostatem nastaveným na 100 °C. Do zkumavek jsem odměrným válcem tř. A odměřil 25 ml vzorku, potom jsem nadávkoval 5 ml kyseliny sírové a směs mírným kroužením promíchal. Zkumavku jsem umístil do předem vyhřáté vodní lázně, kde jsem vzorky po zahájení varu nechal 10 ± 2 minuty temperovat. Zapnul jsem chronometr a do všech připravených zkumavek jsem odpipetoval pipetou tř. A 5 ml odměrného roztoku manganistanu draselného. Po uplynutí $10 \text{ min} \pm 15 \text{ s}$ jsem v pravidelných časových intervalech do zkumavek odpipetoval pipetou tř. A 5 ml odměrného roztoku šťavelanu sodného. Při pipetování jsem dodržoval stejné pořadí zkumavek jako při pipetování odměrného roztoku manganistanu draselného. Tímto byla reakce ukončena a tím končí i časově kritická fáze stanovení. Termostat jsem nastavil na 80 °C. Za horka při teplotě vyšší než 80 °C jsem vzorky přítomné ve zkumavkách titroval odměrným roztokem manganistanu draselného až do světle růžového odstínu, který vydržel cca 30 s. Spotřebu roztoku KMnO_4 jsem označil V_{sp} a použil jsem ji pro další výpočet. Na stanovení slepého vzorku jsem použil 25 ml REDEMI vody a zpracoval jsem jej v sérii běžných vzorků. Spotřebu roztoku manganistanu draselného jsem si označil V_{sl} . Roztoky po titraci jsem ponechal ve zkumavkách do dalšího stanovení CHSk_{Mn} .

3.9.2 Oxidace dichromanem draselným

Tato metoda slouží ke stanovení organických látek ve vodách za katalýzy síranem stříbrným. Při stanovení dochází k oxidaci organických látek v prostředí 50 % kyseliny sírové při teplotě 150 °C a dvouhodinové reakční době. Přebytek dichromanu se určí titrací síranem diamonno-železnatým s použitím vhodného indikátoru (např. Ferroin). Jestliže je ve stanovovaném vzorku vyšší koncentrace chloridů, tak je možný přídavek síranu rtuťnatého. V případě nepřítomnosti katalyzátoru lze zavést korekci na stanovené hodnoty. Byl navržen postup k odstranění nepříznivých účinků vlivem chloridových iontů, který spočívá přidáním většího množství síranu rtuťnatého, který tvoří s chloridovými ionty téměř nedisociované chlorortuťnatanové sloučeniny. Při použití této metody dochází ke kvantitativní oxidaci až 90% přítomných organických látek.

3.10 Stanovení některých anorganických iontů (chloridy, sírany, dusičnany) pomocí kapilární zónové elektroforézy

Je to separační metoda, která využívá rozdílnou pohyblivost nabitých částic v elektrickém poli. Při kalibraci se postupuje stejným způsobem jako při zpracování běžných vzorků. Kalibrační přímka musí mít nejméně pět bodů, které se získají proměřením kalibračních roztoků o známé koncentraci. Kalibrace se provádí 1 krát za 14 dní. Při viditelném znečištění se koncentrovaný nebo zředěný vzorek přefiltruje přes filtr o pórovitosti 0,2 μm do injekční stříkačky o objemu 2 ml. Před vlastním stanovením jsem vzorek z injekční stříkačky převedl do vialky, a potom ji uzavřel crimpovacím PE víčkem a vložil do karuselu. Kontrolní vzorky o koncentraci 4 mg/l a o koncentraci 40 mg/l se zpracovávají v každé sérii vzorků jako běžné vzorky. Po uložení vzorků do karuselu jsem v počítači nastavil sekvenci s pomocí nabídky SEKVENCE, kterou jsem rozklikl. Poté se mi ukázala nabídka SEK-TABLE, opět jsem ji rozklikl a v nabídce jsem klikl na poslední vzorek, který jsem pojmenoval a připsal k němu jedničku, která udávala počet nástřiků vzorku. Po ukončení analýzy jsem provedl integraci jednotlivých elektroforegramů v Offline režimu a z vypočtených ploch píků jsem určil koncentrace aniontů obsažených ve vzorku v mg/l.

Tabulka 2: Kalibrace elektroforézy

Kalibrační standard	Koncentrace [mg/l]
Pracovní kalibrační roztok ρ (Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^-)	2
Pracovní kalibrační roztok ρ (Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^-)	4
Pracovní kalibrační roztok ρ (Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^-)	10
Pracovní kalibrační roztok ρ (Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^-)	40
Pracovní kalibrační roztok ρ (Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^-)	60

3.11 Spektrofotometrické stanovení vybraných anorganických iontů

3.11.1 Spektrofotometrické stanovení železa [28]

Po přidavku 1, 10 – fenantrolinu ke zkoušenému objemu vzorku vznikne červenooranžový komplex, který je vhodný k fotometrickému stanovení při vlnové délce kolem 510 nm. Při stanovení veškerého železa nebo celkového rozpuštěného železa se Fe^{3+} redukuje na Fe^{2+} přidavkem hydroxylamin hydrochloridu. Komplex dvoumocného železa s fenantrolinem je v rozmezí hodnot pH 2,5 – 9 stabilní a intenzita zbarvení je úměrná obsahu Fe^{2+} . Do Nesslerových válců bylo odměřeno 40 ml konzervovaného vzorku, který byl zakonzervován malým přidavkem kyseliny sírové. Dávkovačem bylo přidáno 1 ml roztoku hydroxylamin hydrochloridu a roztok jsem ve válci promíchal. Po 5 minutách bylo přidáno 2 ml tlumivého roztoku, 2 ml roztoku o – fenantrolinu a směs jsem promíchal. Válec byl doplněn na objem 50 ml demineralizovanou vodou. Po promíchání jsem směs ponechal 15 minut vybarvovat. Ke slepému stanovení jsem použil 40 ml zředěné kyseliny sírové, která byla zpracována mezi běžnými vzorky. Kontrolní vzorek o koncentraci 0,5 mg/l Fe byl zpracován v sérii běžných vzorků. Stanovení bylo provedeno na spektrofotometru Helios Alfa v 3 cm kyvetě při vlnové délce 510 nm proti demineralizované vodě.

3.11.2 Spektrofotometrické stanovení manganu [25]

Rozpuštěný mangan reaguje s formaldoximem za vzniku zbarveného komplexu, jehož intenzita zbarvení se měří při vlnové délce 450 nm. Komplex manganu s formaldoximem je stabilní v rozmezí hodnot pH 9,5–10,5 a intenzita vzniklého zbarvení je přímo úměrná koncentraci přítomného manganu. Do Nesslerových válců bylo odměřeno 40 ml konzervovaného roztoku. Dávkovačem bylo přidáno roztoku síranu železatoamonného, 2 ml roztoku EDTA a 2 ml hydroxidu sodného. Roztok ve válci byl promíchán, a potom bylo přidáno roztoku formaldoximu. Směs byla promíchána, a potom ponechána po dobu 10 minut bez povšimnutí, poté bylo přidáno 3 ml směsného roztoku hydroxylamin hydrochloridu s amoniakem. Válec byl doplněn na objem 50 ml demineralizovanou vodou, směs byla promíchána a dvě hodiny ponechána k vybarvování.

Ke stanovení slepého vzorku bylo použito 40 ml zředěné kyseliny sírové a měření bylo

provedeno stejným způsobem jako u běžných vzorků. Kontrolní vzorek o koncentraci 0,5 mg/l Mn byl zpracován souběžně s běžnými vzorky. Stanovení manganu probíhalo na spektrofotometru Helios Alfa v 5 cm kyvetě při vlnové délce 450 nm proti demineralizované vodě.

3.11.3 Spektrofotometrické stanovení amonných iontů [21]

Amonné ionty reagují se salicylanem a chlornanovými ionty v přítomnosti nitrosopentakynoželezitanu sodného (nitroprussidu sodného) za vzniku modré sraženiny, která se spektrofotometricky měří při vlnové délce 655 nm. Chlornanové ionty se tvoří alkalickou hydrolyzou dichlorisokyanuratanu sodného. Do dělených zkumavek na 25 ml bylo odměřeno 20 ml vzorku, přidáno 2 ml vybarvovacího činidla a směs byla dobře promíchána, poté bylo přidáno 2 ml roztoku dichlorisokyanuratanu sodného. Zkumavky byly doplněny na objem 25 ml redemineralizovanou vodou a vše bylo opět dobře promícháno. Vlastní vybarvování trvalo přibližně 60 minut. Ke stanovení slepého vzorku bylo použito 20 ml redemineralizované vody a zpracování proběhlo stejným způsobem jako u běžných vzorků. Kontrolní vzorek o koncentraci 0,5 mg/l NH_4^+ se stanovoval společně s běžnými vzorky. Stanovení bylo provedeno v 1 cm kyvetě při vlnové délce 655 nm.

3.11.4 Spektrofotometrické stanovení dusitanových iontů [23]

Dusitany ve zkoušeném objemu vzorku reagují v přítomnosti kyseliny fosforečné při hodnotě pH 1,9 s amidem kyseliny sulfanilové za vzniku diazoniové soli. Tato sůl tvoří s dihydrochloridem

N – (1 – naftyl) – 1,2 – diaminoethanu růžové zbarvení. Do Nesslerových válců bylo odměřeno 40 ml vzorku, přidán 1 ml vybarvovacího činidla, roztok byl ihned promíchán a doplněn na objem 50 ml redemineralizovanou vodou. Roztok byl opět promíchán a ponechán k vybarvení v tmavém prostředí po dobu nejméně 20 minut. Ke stanovení slepého vzorku bylo použito 40 ml redemineralizované vody a byl zpracován v sérii stanovení běžných vzorků. Kontrolní vzorek o koncentraci 0,2 mg/l NO_2^- byl rovněž změřen v sérii stanovení běžných vzorků. Měření bylo provedeno na spektrofotometru Helios α v 5 cm kyvetě při vlnové délce 540 nm.

4 Výsledky a diskuze

Výsledky experimentální práce jsou shrnuty v tabulkách, které ukazují všechny stanovované fyzikálně-chemické ukazatele kvality vod ve studních, které stojí na pozemcích v daných lokalitách. Pro snazší orientaci jsou experimentální hodnoty zpracovány i v grafické podobě, dále jsem k lepšímu znázornění vytvořil grafy, které ukazují změny fyzikálně-chemických ukazatelů v závislosti na ročním období. Z hodnot konduktivit je patrné, že vzorky odebrané v Bystročicích mají vyšší vodivost ve srovnání se vzorky odebranými v tomtéž měsíci. Tento trend se projevil i v následujících měsících a podle toho jsem předběžně usoudil, že se bude jednat o velmi tvrdou vodu, což se v dalším stanovení prokázalo. Několikanásobně zvýšené hodnoty zákalu ve vzorcích vod odebraných v obcích Hněvotín a Vojnice poukazují zvýšenou koncentraci nerozpuštěných látek, které svou velikostí rozptylují záření při určité vlnové délce. Požadavky na jakost pitné vody, rozsah a četnost kontrol určuje vyhláška Ministerstva zdravotnictví č.252/2004 Sb. uvedená níže.

Tabulka č 3: Statistické informace k měření jednotlivých fyzikálně chemických ukazatelů znečištění vod

Ukazatel	Počet měření	Nejistota měření [%]
pH	1	±0,03 pH
Konduktivita	1	5%
Zákal	1	5%
Tvrдост	3	5%
CHSK _{Mn}	3	10%
Chloridy	1	20%
Sírany	1	20%
Dusičnany	1	20%
Železo	2	10%
Mangan	2	10%
Amonné ionty	2	10%

Tabulka č.4: Hygienické limity některých ukazatelů kvality pitných vod podle vyhlášky ministerstva zdravotnictví č.252/2004 Sb.

Ukazatel	Jednotka	Limit	Typ Limitu
pH		6,5 – 9,5	MH
Konduktivita	ms/m	125	MH
Zákal	ZF (t,n)	5	MH
T _{Ca+Mg}	mmol/l	2-3,5	DH
CHSKMn	mg/l	3,0	MH
Chloridy	mg/l	100	MH
Sírany	mg/l	250	MH
Dusičnany	mg/l	50	NMH
Železo	mg/l	0,20	MH
Mangan	mg/l	0,050	MH
Amonné ionty	mg/l	0,50	MH
Dusitany	mg/l	0,50	NMH

MH - mezní hodnota DH – doporučená hodnota NMH - nejvyšší mezní hodnota

Tabulka č.5: Vyhodnocení naměřených ukazatelů podle vyhlášky ministerstva zdravotnictví č.252/2004

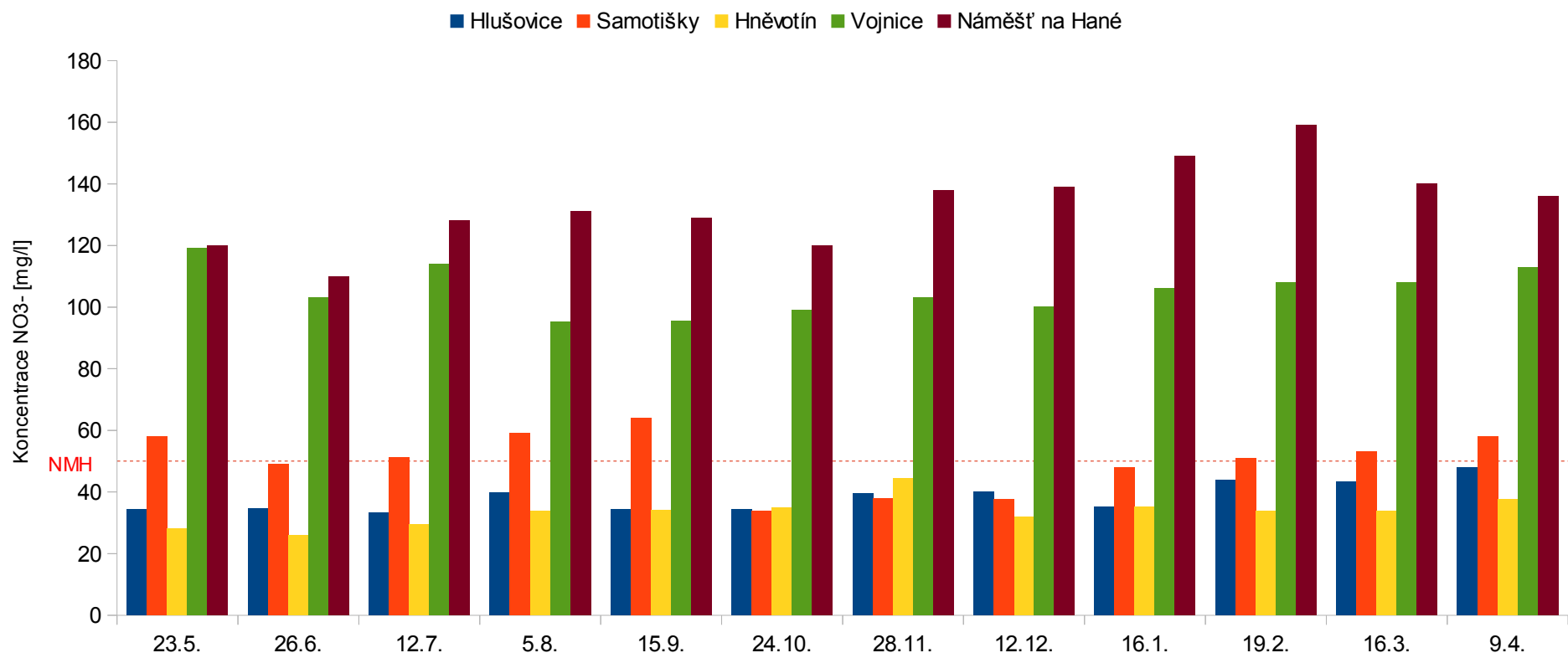
	pH	Konduktivita	Zákal	Chloridy
	min/max.	max.	max.	max.
Vacanovice	6,91/7,35	141	2,6	70,6
Vojnice	6,33/7,02	141	23,5	128
Bystročice	6,97/7,18	192	3,7	99,9
Hněvotín	6,69/7,85	58,7	36,5	19,8
Luděřov	7,00/7,49	80,9	2,6	42,2
Slatinice	7,13/7,45	103	2,4	81,82
Drahanovice	7,19/7,51	137	5,4	52,4
Náměšť na Hané	6,94/7,26	138	3,9	129
Loučany	6,77/7,06	140	1,7	118
Samotičky	6,67/7,08	73,2	6,8	72,4
Hlušovice	6,42/6,78	64,9	5,1	64,8

Tabulka č.6: Vyhodnocení naměřených ukazatelů podle vyhlášky ministerstva zdravotnictví č.252/2004

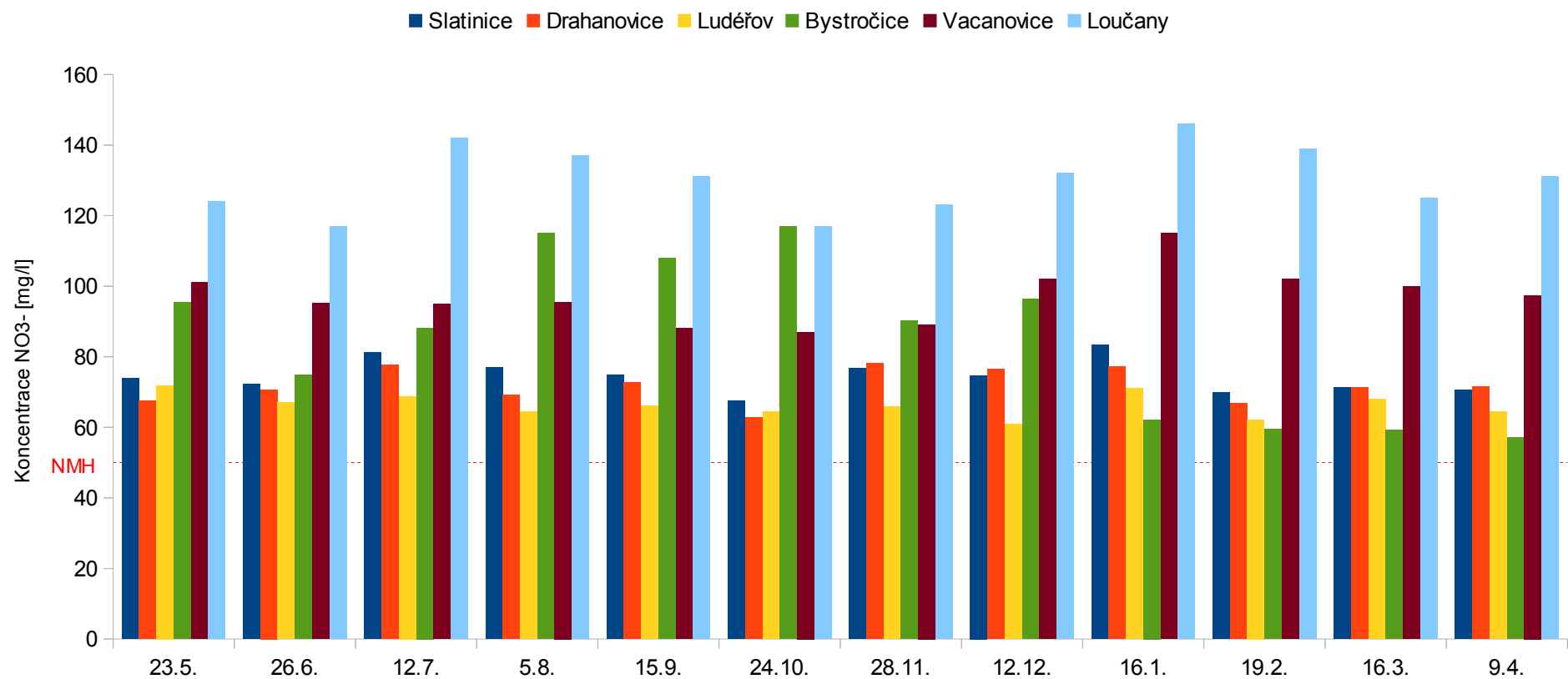
	Sírany	Dusičnany	CHSK Mn	Vápník+hořčík
	max.	max.	max.	max.
Vacanovice	207	115	0,67	6,15
Vojnice	124	119	3,22	5,42
Bystročice	197	117	3,29	6,27
Hněvotín	43	44,2	3,55	2,77
Luděrov	86,0	71,9	0,25	4,53
Slatinice	79,3	83,3	1,38	5,43
Drahanovice	113	78,2	0,72	5,43
Náměšť na Hané	147	159	1,32	7,16
Loučany	169	146	0,65	5,55
Samotišky	99,4	63,9	1,36	3,66
Hlušovice	109	48,0	0,33	2,97

Tabulka č.7: Vyhodnocení naměřených ukazatelů podle vyhlášky ministerstva zdravotnictví č.252/2004

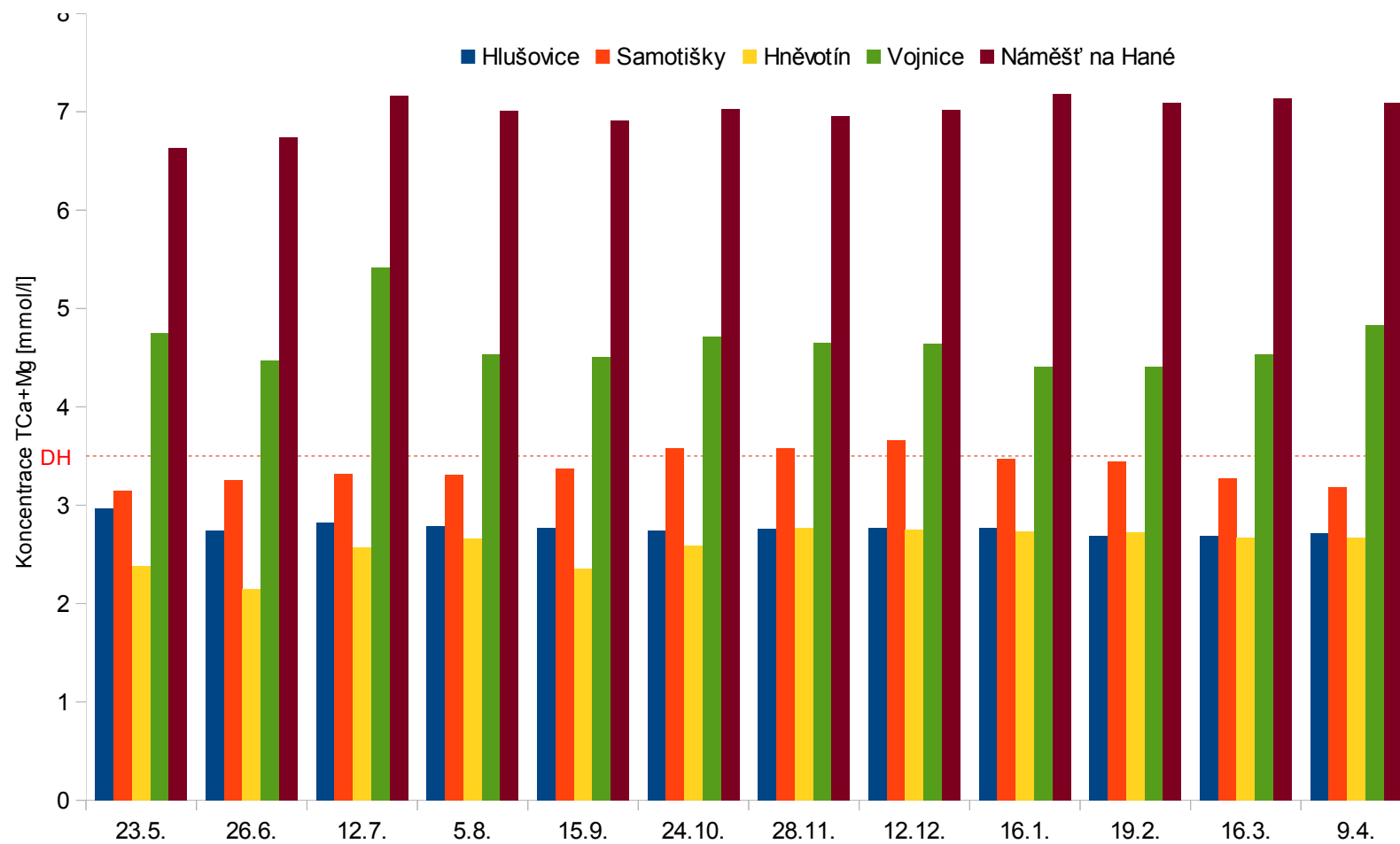
	Dusitany	Amonné ionty	Železo	Mangan
	max.	max.	max.	max.
Vacanovice	0,01	0,05	0,02	0,01
Vojnice	0,03	0,05	0,04	0,02
Bystročice	0,14	0,24	0,05	0,47
Hněvotín	0,16	0,31	2,49	0,54
Luděrov	0,01	0,06	0,08	0,01
Slatinice	0,02	<0,033	0,02	0,01
Drahanovice	0,02	0,02	0,09	0,02
Náměšť na Hané	0,02	0,02	0,03	0,02
Loučany	0,03	<0,033	0,03	0,02
Samotišky	0,09	0,04	0,17	0,03
Hlušovice	0,01	0,06	0,03	0,02



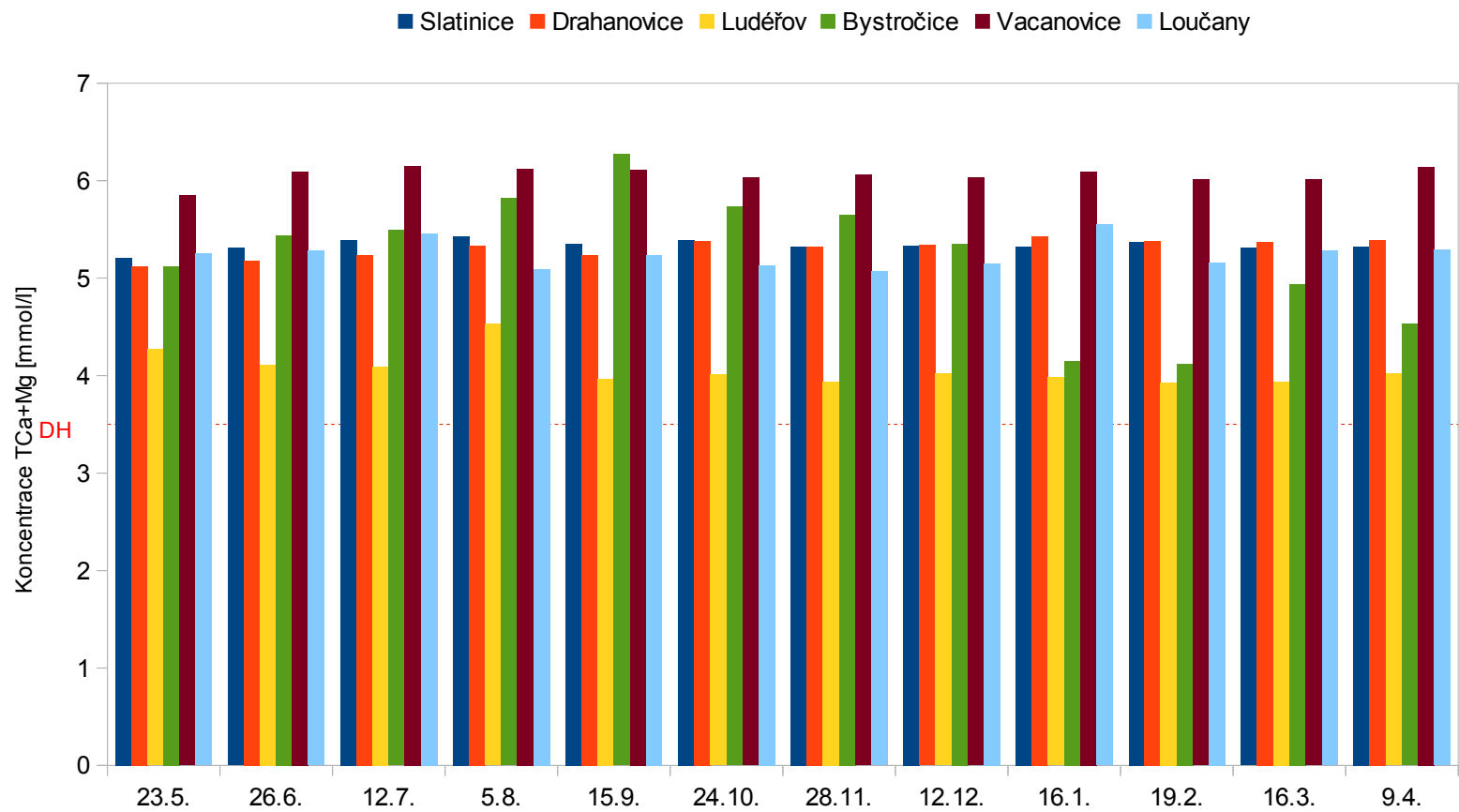
Obrázek 3: Hodnoty koncentrací dusičnanů NO₃⁻ naměřených ve sledovaném období



Obrázek 3: Hodnoty koncentrací dusičnanů NO₃⁻ naměřených ve sledovaném období



Obrázek 4: Hodnoty koncentrací TCa+Mg naměřených ve sledovaném období



Obrázek 4: Hodnoty koncentrací T Ca+Mg naměřených ve sledovaném období

Z výše uvedených tabulek vyplývá, že vyhlášce Ministerstva zdravotnictví č.252/2004, která definuje požadavky na pitnou vodu, vyhovují pouze dvě studny v obcích Hlušovice a Samotišky. V ostatních studních situovaných zejména v oblasti Dražanské vrchoviny jsou obsaženy vysoké koncentrace dusičnanů, které jsou záporně nabité, a tudíž se nemohou naadsorbovat na sorpční komplex, který je nabitý záporně, a proto dochází k odpuzování a v kombinaci s dešťovými přeháňkami ke splachu do spodních vod. Tento problém je způsoben vysokou intenzitou zemědělské činnosti v tomto regionu a není výjimkou, že koncentrace dusičnanů v některých studních se pohybují na hodnotách 159 mg/l. Velkým problémem je suma koncentrací vápenatých a hořečnatých kationtů obsažených ve vodě, které významně souvisí s geologickou stavbou podloží, které je tvořeno hlavně z vápencových hornin, které svým zvětráváním uvolňují tyto ionty do vody. Zvýšené koncentrace vápenatých a hořečnatých iontů mají především pozitivní vliv na zdraví jedince, který tuto vodu užívá, ale na druhou stranu snižuje životnost elektrických spotřebičů. Nejvyšší naměřená průměrná hodnota koncentrace vápenatých a hořečnatých iontů byla v Náměšti na Hané, kde se pohybovala na hodnotě 7,0. Vysoký obsah manganu byl zjištěn ve studních situovaných v obcích Bystročice a Hněvotín, což si myslím, že je ovlivněno hloubkou studní a pestrá skladba geologického podloží na těchto místech. Zvýšené koncentrace dusičnanů v lokalitách Vacanovice, Vojnice, Bystročice, Luděrov, Slatinice, Drahanovice, Náměšť na Hané, Loučany, Samotišky jsou důsledkem nedodržení nitratových směrnic ze strany subjektů obhospodařujících okolní pozemky v jejich blízkosti jsou situovány katastry těchto nemovitostí. Mezní hodnoty manganu a železa v Hněvotíně a v Bystročicích nemají zásadní vliv na kvalitu těchto podzemních vod, proto bych se touto otázkou dále nezabýval. Hodnoty koncentrací chloridů ve Vojnicích, Náměšti na Hané a Loučanech připisují, vzhledem k historickým účelům těchto budov a jejím přilehlým stavbám, kde dřív byly hospodářská stavení k úniku průmyslových hnojiv jako je např. Silvín (KCl), který je v zemědělství hojně používán pro svou rychlou dostupnost živin a vynikající rozpustnost ve vodě. Také nahrává fakt, že zvýšené koncentrace se projevovali po dobu všech měsíců, kdy byly prováděny odběry.

5 Závěr

Ve své bakalářské práci jsem se zaměřil především na zjištění kvality podzemních vod obsažených ve studních situovaných v oblasti Dražanské vrchoviny a okolí v časovém průběhu. Jedenáct vzorků pocházejících ze studní ležících na soukromých pozemcích jsem analyzoval po dobu dvanácti měsíců od května 2013 do dubna 2014. Vlastní analytická měření jsem prováděl vždy druhý den ráno v akreditované laboratoři ČOV v Olomouci, Nové Sady, patřící společnosti společnosti Veolia, a.s. Jednotlivé vzorky byly podrobeny analýze v tomto rozsahu: měření pH, konduktivity, zákalu, stanovení tvrdosti vody doplnit ostatní měřené ukazatele a chemické spotřeby kyslíku, které bylo prováděno manganistanovou metodou, dále byly stanoveny železo, mangan, amonné ionty a dusitany, chloridy, sírany, dusičnany. Informace získané měřením jsem si zapisoval do laboratorního deníku, který mi posloužil jako opora k tvorbě tabulek a grafů. Během roku nedocházelo k významnějším výkyvům měřených ukazatelů, což mě překvapilo zejména u hodnot dusičnanů, u kterých jsem očekával v průběhu února a března prudký nárůst v důsledku regeneračního přihnojení ozimých obilnin. Vysoká tvrdost vody a lokálně zvýšené koncentrace manganu jsou ovlivněny především zvětrávacími procesy hornin, které významně ovlivňují složení vody ve studních. Při řešení této bakalářské práce jsem si uvědomil, že kvalita podzemní vody v tomto regionu prudce klesá a do budoucna by se s tím mělo něco dělat, protože v mnohých rodinách mají malé děti a vysoké koncentrace dusičnanů se na jejich zdraví určitě podepíší.

6 Summary

Conclusion: In my thesis I focused mainly on the findings of the quality of groundwater contained in wells situated in Drahany and around the timing. Eleven samples drawn from wells located on private land was analyzed after a period of twelve months from May 2013 to April 2014. Their own analytical measurement've always performed the next day in a laboratory belonging to Veolia, as that is also the operator of the wastewater treatment plant in Olomouc New orchards, which were measured. Jedotlivé samples were analyzed in this range for pH, conductivity, turbidity, hardness of water and chemical oxygen demand, which was performed with a standard solution of potassium permanganate, as well as the determination of iron, manganese, ammonium and nitrite. Information obtained by measuring I wrote to the laboratory journal, which served me as a support for creating charts and graphs. During avoid významějším fluctuations measured indicators, which surprised me especially for nitrate levels, which I expected in February and March due to a sharp rise in the regeneration fertilization of winter cereals. High hardness and locally elevated concentrations of manganese are mainly influenced by rock weathering processes that significantly influence the composition of the water in the well. In addressing this thesis, I realized that the quality of groundwater in the region is rapidly declining and in the future could it be something to do, because in many families with small children and a high concentration of nitrates in their health certainly will

7 Literatura

- [1] PITTER, Pavel. *Hydrochemie*. 4. aktualizované vydání Praha: VŠCHT, 2009, viii, 579 s. 4. Aktualizované vydání. ISBN 978-80-7080-701-9
- [2] MANAHAN, Stanley E. *Environmental chemistry*. 9th ed. Boca Raton: Taylor, 2010, p. cm. 4. Aktualizované vydání. ISBN 978-1-4200-5920-5.
- [3] KŘÍŽ, Hubert. *Hydrologie podzemních vod*. 1. vyd. Praha: Academia, 1983, 289 s. 4. Aktualizované vydání.
- [4] ALEKIN, O a ALEKIN. *Khimicheskiĭ analiz vod sushi: (pri statsionarnom ikhizuchenii)*. 1. vyd. Leningrad: Gidrometeorologicheskoe izd-vo, 1954, 199 p. 4. Aktualizované vydání. ISBN Alekin.
- [5] STUMM, Werner, ALEKIN a STUMM. *Aquatic surface chemistry: chemical processes at the particle-water interface*. 1st Ed. Hong Kong: John Wiley, 1987, 520 s. 4. Aktualizované vydání. ISBN 04-718-2995-1.
- [6] Seznam.cz:mapy. *Seznam.cz:Mapy* [online]. Dostupné z: <http://www.mapy.cz/zakladni?x=14.1818020&y=50.2736386&z=9>. Datum: 27.7. 2014
- [7] ČSN ISO 6332. stanovení železa. *Fotometrická metoda s 1, 10-fenantrolinem*. Praha: Český normalizační institut, 1988
- [8] ČSN ISO 6333. stanovení manganu. *Spektrofotometrická metoda s formaldoximem*. Praha: Český normalizační institut, 1995.
- [9] ČSN ISO 7150-1. stanovení amonných iontů. Část 1: *Manuální spektrometrická metoda*. Praha: Český normalizační institut, 1984
- [10] ČSN EN 26777. stanovení dusitanů. *Molekulární absorpční spektrofotometrická metoda*. Praha: Český normalizační institut, 1995.
- [11] ČSN ISO 6059. stanovení sumy vápníku a hořčíku. *Odměrná metoda s EDTA*. Praha: Český normalizační institut, 1996.
- [12] ČSN EN ISO 8467. stanovení chemické spotřeby kyslíku manganistanem ($CHSK_{Mn}$). Praha: Český normalizační institut, 1997.
- [13] HORÁKOVÁ, Marta. *Analytika vody*. Vyd. 2., opr. a rozš. Praha: Vydavatelství

VŠCHT, 2003, 335 s. ISBN 80-708-0520-X.

- [14] Vyhláška č. 252/2004. Hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost
- [15] <http://biochemie.sweb.cz/x/metody/elektroforeza.htm>
- [16] KLOUDA, Pavel. *Moderní analytické metody*. 2., upr. a dopl. vyd. Ostrava: Pavel Klouda, 2003, 132 s. ISBN 80-86369-07-2.
- [17] OPEKAR, František. *Základní analytická chemie pro studenty, pro něž analytická chemie není hlavním studijním oborem*. 2. vyd. Praha: Karolinum, 2010, 203 s. ISBN 978-80-246-1775-6.
- [18] Grmela, A.: Hydrogeologie. Interní učební texty. VŠB-TU Ostrava, 2004
- [19] (Pavelková Chmelová, R., Frajer, J., Základy hydrologie , Distanční studijní opora, Univerzita Palackého, Olomouc.
- [20] PRUCEK, Robert, Jiří TUČEK, Jan KOLAŘÍK, Jan FILIP, Zdeněk MARUŠÁK, Virender K. SHARMA a Radek ZBOŘIL. 2013. Ferrate(VI)-Induced Arsenite and Arsenate Removal by In Situ Structural Incorporation into Magnetic Iron(III) Oxide Nanoparticles. *Environmental Science* [online]. [cit. 2015-05-11]. DOI: 10.1021/es3042719.
- [21] S-09 Stanovení amonných iontů a amoniakálního dusíku. Stanovení amonných iontů spektrofotometricky a amoniakálního dusíku dopočtem
- [22] S-15 Stanovení CHSK manganistanem. Stanovení CHSK manganistanem titračně
- [23] S-08 Stanovení dusitanů a dusitanového dusíku. Stanovení dusitanů spektrofotometricky a dusitanového dusíku dopočtem
- [24] S-11 Stanovení konduktivity. Stanovení konduktivity elektrometricky
- [25] S-26 Stanovení manganu. Stanovení manganu spektrofotometricky
- [26] S-01 Stanovení pH. Stanovení pH elektrometricky
- [27] S-20 Stanovení zákalu. Stanovení zákalu nefelometricky
- [28] S-03 Stanovení železa. Stanovení železa spektrofotometricky

8 Příloha

Tabulka 8: Naměřené hodnoty ukazatelů znečištění podzemních vod v dané lokalitě v závislosti na průběhu roku. Hlušovice.

Datum	pH	Kondu k	Zákal [ZFn]	Cl ⁻ [mg/l]	SO ₄ ²⁻ [mg/l]	NO ₃ ⁻ [mg/l]	CHSK _{Mn} [mg/l]	T _{Ca+Mg} [mmol/l]	NO ₂ ⁻ [mg/l]	NH ₄ ⁺ [mg/l]	Fe [mg/l]	Mn [mg/l]
23.5.	6,58	61,9	0,8	58,2	89,0	34,2	0,21±0,02	2,97±0,09	<0,004	<0,033	<0,02	<0,01
26.6.	6,66	62,2	1,2	57,5	89,9	34,6	0,16±0,01	2,74±0,11	<0,004	<0,033	<0,02	<0,01
12.7.	6,42	62,1	0,4	61,1	109	33,4	0,29±0,03	2,82±0,08	<0,004	0,033	<0,02	<0,01
5.8.	6,64	61,2	5,1	57,2	93,9	39,8	0,27±0,04	2,79±0,06	0,010	0,060	<0,02	<0,01
15.9.	6,66	61,3	1,0	54,2	88,2	34,3	0,18±0,05	2,77±0,09	0,010	<0,033	0,02	0,01
24.10.	6,75	61,4	1,5	58,0	84,9	34,4	0,25±0,02	2,74±0,07	<0,004	<0,033	<0,02	<0,01
28.11.	6,75	63,6	1,7	57,1	90,7	39,4	0,23±0,04	2,76±0,08	<0,004	<0,033	<0,02	0,02
12.12.	6,69	64,9	2,8	64,8	98,2	40,0	0,17±0,03	2,77±0,06	<0,004	<0,033	<0,02	<0,01
16.1.	6,69	62,9	2,3	59,8	85,9	35,1	0,16±0,03	2,77±0,09	<0,004	<0,033	<0,02	0,01
19.2.	6,78	62,9	2,6	57,6	88,4	43,8	0,31±0,05	2,69±0,08	<0,004	<0,033	<0,02	<0,01
16.3.	6,73	63,1	1,2	62,7	101	43,3	0,33±0,04	2,69±0,08	<0,004	<0,033	0,03	<0,01
9.4.	6,61	62,9	1,0	64,9	109	48,0	0,20±0,05	2,71±0,10	<0,004	<0,033	<0,02	<0,01

Tabulka 9: Naměřené hodnoty ukazatelů znečištění podzemních vod v dané lokalitě v závislosti na průběhu roku. Samotišky.

Datum	pH	Konduk [mS/m]	Zákal [ZEN]	Cl⁻ [mg/l]	SO₄²⁻ [mg/l]	NO₃⁻ [mg/l]	CHSk_{Mn} [mg/l]	T_{Ca+Mg} [mmol/l]	NO₂⁻ [mg/l]	NH₄⁺ [mg/l]	Fe [mg/l]	Mn [mg/l]
23.5.	6,79	69,1	0,9	62,7	81,9	58,0	1,12±0,04	3,15±0,08	<0,004	<0,033	<0,02	0,01
26.6.	6,83	68,6	6,8	48,7	69,2	49,0	1,35±0,02	3,25±0,10	0,02	<0,033	<0,02	0,02
12.7.	6,91	69,9	1,1	57,4	93,2	51,2	1,24±0,04	3,32±0,09	<0,004	<0,033	<0,02	0,03
5.8.	6,83	71,2	4,4	70,0	86,5	59,1	1,22±0,03	3,31±0,07	0,09	<0,033	0,17	0,01
15.9.	6,77	70,3	1,9	72,4	87,0	63,9	1,33±0,05	3,37±0,09	<0,004	0,04	0,03	0,01
24.10.	7,02	69,5	1,9	54,3	83,1	33,7	1,36±0,03	3,58±0,09	0,01	<0,033	0,03	0,02
28.11.	7,08	72,2	3,4	54,6	99,4	37,9	1,26±0,05	3,58±0,11	0,04	<0,033	0,07	0,03
12.12.	7,03	72,8	2,2	52,7	93,6	37,5	1,32±0,04	3,66±0,08	0,01	<0,033	0,09	0,01
16.1.	6,89	73,2	2,8	52,3	85,1	47,8	1,25±0,02	3,47±0,10	0,04	<0,033	0,08	0,02
19.2.	6,98	73,1	2,6	57,4	92,3	51,0	1,29±0,04	3,44±0,07	0,01	<0,033	0,05	<0,01
16.3.	6,94	71,5	1,8	63,7	91,5	53,1	1,16±0,02	3,27±0,08	<0,004	<0,033	0,03	<0,01
9.4.	6,67	71,7	1,6	68,2	84,3	58,1	1,18±0,03	3,18±0,09	0,01	<0,033	0,06	0,01

Tabulka 10: Naměřené hodnoty ukazatelů znečištění podzemních vod v dané lokalitě v závislosti na průběhu roku. Hněvotín.

Datum	pH	Konduk [mS/m]	Zákal [ZEN]	Cl ⁻ [mg/l]	SO ₄ ²⁻ [mg/l]	NO ₃ ⁻ [mg/l]	CHSk _{Mn} [mg/l]	T _{Ca+Mg} [mmol/l]	NO ₂ ⁻ [mg/l]	NH ₄ ⁺ [mg/l]	Fe [mg/l]	Mn [mg/l]
23.5.	6,69	49,1	3,2	12,0	32,4	28,0	2,16 ±0	2,38±0,09	0,01	0,05	0,08	0,08
26.6.	7,	45,2	5,1	9,49	28,7	25,8	2,23±0,04	2,15±0,07	0,01	0,04	0,05	0,12
12.7.		54,3	7,7	14,6	42,7	29,4	2,19±0,02	2,57±0,08	0,03	0,06	0,08	0,04
5.8.	7,14	52,9	36,5	16,9	34,6	33,8	3,55±0,03	2,66±0,11	0,05	0,16	2,49	0,54
15.9.	6,99	49,2	3,2	14,4	34,5	34,1	2,24±0,02	2,35±0,06	0,02	0,12	0,04	0,04
24.10.	7,16	53,5	5,2	14,4	30,1	35,0	2,28±0,05	2,59±0,10	0,04	0,11	0,08	0,06
28.11.	7,01	57,9	2,5	14,5	32,6	44,3	2,26±0,04	2,77±0,09	0,03	0,21	0,02	0,04
12.12.	7,03	58,7	2,8	12,4	34,9	31,9	2,32±0,05	2,75±0,08	0,03	0,06	0,03	0,04
16.1.	7,23	57,1	5,5		43,3	35,2	2,22±0,03	2,73±0,11	0,09	0,31	0,06	0,03
19.2.	7,65	56,7	3,3	17,8	42,2	33,7	2,27±0,02	2,72±0,07	0,02	<0,033	0,02	0,01
16.3.	7,85	56,9	2,8	11,2	36,8	33,7	2,18±0,05	2,67±0,08	0,07	0,07	0,02	0,02
9.4.	7,18	57,6	3,9	14,7	42,6	37,6	2,31±0,04	2,67±0,09	0,16	0,04	0,07	0,05

Tabulka 11: Naměřené hodnoty ukazatelů znečištění podzemních vod v dané lokalitě v závislosti na průběhu roku. Vojnice.

Datum	pH	Kondu k [mS/m]	Zákal [ZFn]	Cl [mg/l]	SO ₄ ²⁻ [mg/l]	NO ₃ ⁻ [mg/l]	CHSk _{Mn} [mg/l]	T _{Ca+Mg} [mmol/l]	NO ₂ ⁻ [mg/l]	NH ₄ ⁺ [mg/l]	Fe [mg/l]	Mn [mg/l]
23.5.	6,92	137,7	21,2	110	103	119	3,15±0,03	4,75±0,10	<0,004	<0,033	0,03	0,01
26.6.	6,95	133,8	1,7	99,0	88,6	103	1,43±0,04	4,47±0,06	0,03	<0,033	0,03	<0,01
12.7.	6,86	140,3	0,2	125	104	114	1,51±0,05	5,42±0,09	0,01	<0,033	0,02	<0,01
5.8.	6,85	132,7	1,0	114	98,6	95,2	1,39±0,02	4,53±0,08	0,02	<0,033	0,02	0,01
15.9.	6,95	134,3	1,2	119	103	95,5	1,47±0,03	4,51±0,11	0,02	0,05	0,02	0,01
24.10.	6,96	135,5	23,5	115	92,2	99,1	1,45±0,04	4,71±0,08	0,01	<0,033	<0,02	<0,01
28.11.	6,89	135,9	1,9	110	104	103	1,48±0,05	4,65±0,08	0,01	<0,033	0,03	0,01
12.12.	6,33	135,4	1,7	102	105	100	1,42±0,04	4,64±0,07	<0,004	<0,033	<0,02	0,01
16.1.	6,93	134,6	1,6	10	103	106	1,38±0,05	4,41±0,09	<0,004	<0,033	0,02	0,01
19.2.	7,02	134,7	2,7	11	104	108	1,46±0,03	4,41±0,10	<0,004	<0,033	0,04	0,01
16.3.	6,94	138,6	1,8	110	96,8	108	1,58±0,02	4,53±0,07	<0,004	<0,033	<0,02	<0,01
9.4.	6,84	141,1	1,6	129	124	113	3,22±0,03	4,83±0,11	<0,004	<0,033	0,03	0,02

Tabulka 12: Naměřené hodnoty ukazatelů znečištění podzemních vod v dané lokalitě v závislosti na průběhu roku. Náměšť na Hané.

Datum	pH	Konduk [mS/m]	Zákal [ZFn]	Cl [mg/l]	SO ₄ ²⁻ [mg/l]	NO ₃ ⁻ [mg/l]	CHSk Mn [mg/l]	T _{Ca+Mg} [mmol/l]	NO ₂ ⁻ [mg/l]	NH ₄ ⁺ [mg/l]	Fe [mg/l]	Mn [mg/l]
23.5.	7,06	127,8	1,2	97,8	140	120	1,18±0,04	6,63±0,11	<0,004	<0,033	0,03	<0,01
26.6.	7,06	126,5	2,6	89,4	127	110	1,23±0,04	6,74±0,07	0,01	<0,033	<0,02	<0,01
12.7.	7,00	128,2	1,1	102	131	128	1,32±0,05	7,16±0,09	<0,004	<0,033	0,02	0,01
5.8.	7,00	131,9	3,9	109	144	131	1,25±0,03	7,01±0,10	0,02	0,02	<0,2	<0,01
15.9.	7,09	132,2	2,2	111	145	129	1,23±0,04	6,91±0,07	0,01	<0,033	<0,02	<0,01
24.10.	7,03	133,5	1,3	101	111	120	1,21±0,05	7,03±0,08	<0,004	<0,033	<0,02	0,01
28.11.	7,19	134,6	1,7	112	147	138	1,27±0,02	6,96±0,08	<0,004	0,02	<0,02	<0,01
12.12.	7,26	134,4	1,6	105	129	139	1,29±0,02	7,02±0,10	<0,004	<0,033	<0,02	<0,01
16.1.	7,17	135,4	0,8	111	136	149	1,19±0,04	7,18±0,08	<0,004	<0,033	0,02	<0,01
19.2.	7,16	138,2	2,2	118	133	159	1,22±0,03	7,09±0,06	<0,004	<0,033	0,02	<0,01
16.3.	6,97	133,5	1,1	119	120	140	1,15±0,04	7,14±0,07	<0,004	<0,033	<0,02	<0,01
9.4.	6,94	137,1	1,7	129	143	136	1,24±0,0	7,09±0,09	<0,004	<0,033	0,02	0,02

Tabulka 13: Naměřené hodnoty ukazatelů znečištění podzemních vod v dané lokalitě v závislosti na průběhu roku. Slatinice.

Datum	pH	Kondu k [mS/m]	Zákal [ZFn]	Cl ⁻ [mg/l]	SO ₄ ²⁻ [mg/l]	NO ₃ ⁻ [mg/l]	CHSk _{Mn} [mg/l]	T _{Ca+Mg} [mmol/l]	NO ₂ ⁻ [mg/l]	NH ₄ ⁺ [mg/l]	Fe [mg/l]	Mn [mg/l]
23.5.	7,26	102,8	1,1	77,2	75,5	73,8	1,27 1,27±0,04	5,21±0,0 7	<0,004	<0,033	<0,02	0,01
26.6.	7,24	102,9	0,9	80,01	74,7	72,3	1,35±0,05	5,31±0,0 8	<0,004	<0,033	<0,02	<0,01
12.7.	7,15	100,9	0,2	80,0	75,8	81,3	1,23±0,04	5,39±0,0 6	<0,004	<0,033	<0,02	<0,01
5.8.	7,21	102,5	0,9	78,9	76,1	76,9	1,29±0,06	5,43±0,0 6	<0,004	<0,033	<0,02	<0,01
15.9.	7,34	101,8	1,4	81,8	75,5	74,9	1,31±0,05	5,35±0,1 0	<0,004	<0,033	<0,02	<0,01
24.10.	7,19	101,9	1,6	72,0	67,1	67,5	1,38±0,04	5,39±0,1 0	0,01	<0,033	<0,02	0,01
28.11.	7,45	102,7	1,5	76,3	76,4	76,8	1,26±0,03	5,32±0,11	0,02	<0,033	<0,02	<0,01
12.12.	7,17	103,8	1,6	69,9	67,5	74,7	1,25±0,04	5,33±0,0 9	<0,004	<0,033	<0,02	<0,01
16.1.	7,34	99,9	1,4	72,6	79,3	83,3	1,33±0,02	5,32±0,0 8	<0,004	<0,033	<0,02	<0,01
19.2.	7,29	101,8	2,4	59,4	74,8	69,9	1,35±0,03	5,37±0,0 7	<0,004	<0,033	0,02	0,01
16.3.	7,14	100,9	1,1	70,1	76,51	71,2	1,26±0,02	5,31±0,11	<0,004	<0,033	<0,02	<0,01
9.4.	7,13	101,3	1,7	73,41	73,59	70,63	1,28±0,03	5,32±0,0 8	<0,004	<0,033	<0,02	0,01

Tabulka 14: Naměřené hodnoty ukazatelů znečištění podzemních vod v dané lokalitě v závislosti na průběhu roku. Drahanovice.

Datum	pH	Kondu k [mS/m]	Zákal [ZFn]	Cl ⁻ [mg/l]	SO ₄ ²⁻ [mg/l]	NO ₃ ⁻ [mg/l]	CHSk _{Mn} [mg/l]	T _{Ca+Mg} [mmol/l]	NO ₂ ⁻ [mg/l]	NH ₄ ⁺ [mg/l]	Fe [mg/l]	Mn [mg/l]
23.5.	7,34	137,1	1,7	51,0	110	67,4	0,61 ±0 ,03	5,12±0,08	<0,004	<0,033	0,03	0,01
26.6.	7,28	95,0	2,0	51,5	98,8	70,7	0,53±0,05	5,18±0,11	0,01	<0,033	0,02	<0,01
12.7.	7,23	95,4	1,2	57,9	100	77,7	0,68±0,02	5,24±0,10	<0,004	<0,033	0,04	0,01
5.8.	7,24	95,3	5,4	53,1	109	69,2	0,72±0,05	5,33±0,07	<0,004	0,2	0,09	0,01
15.9.	7,28	95,8	3,3	53,5	105	72,7	0,54±0,02	5,24±0,08	<0,004	<0,033	0,06	<0,01
24.10.	7,24	97,2	2,3	49,3	93,0	62,8	0,51±0,03	5,38±0,09	<0,004	0,1	0,04	<0,01
28.11.	7,29	98,1	2,6	54,9	113	78,2	0,55±0,02	5,32±0,11	<0,004	0,1	0,08	<0,01
12.12.	7,24	98,9	2,6	45,5	106	76,6	0,61±0,04	5,34±0,10	<0,004	<0,033	0,07	<0,01
16.1.	7,51	98,1	1,6	49,7	109	77,3	0,65±0,04	5,43±0,09	<0,004	<0,033	0,05	<0,01
19.2.	7,39	97,8	3,8	53,0	102	66,8	0,63±0,03	5,38±0,08	<0,004	<0,033	0,05	0,01
16.3.	7,27	99,6	1,4	54,4	113	71,4	0,62±0,04	5,37±0,07	0,02	<0,033	0,03	<0,01
9.4.	7,19	97,5	2,2	54,8	111	71,5	0,57±0,03	5,39±0,07	0,02	<0,033	0,06	0,02

Tabulka 15: Naměřené hodnoty ukazatelů znečištění podzemních vod v dané lokalitě v závislosti na průběhu roku. Luděrov.

Datum	pH	Kondukt [mS/m]	Zákal [ZFn]	Cl ⁻ [mg/l]	SO ₄ ²⁻ [mg/l]	NO ₃ ⁻ [mg/l]	CHSk _{Mn} [mg/l]	T _{Ca+Mg} [mmol/l]	NO ₂ ⁻ [mg/l]	NH ₄ ⁺ [mg/l]	Fe [mg/l]	Mn [mg/l]
23.5.	7,27	80,9	1,2	28,7	86,0	71,9	0,16 0, 16±0,02	4,27±0,09	<0,004	0,06	0,03	<0,01
26.6.	7,13	78,8	1,4	28,3	76,7	67,1	0,12±0,04	4,11±0,07	<0,004	0,05	<0,02	<0,01
12.7.	7,12	75,8	0,5	30,6	70,3	68,8	0,21±0,05	4,09±0,10	<0,004	0,04	<0,02	0,01
5.8.	7,00	75,1	1,3	29,6	72,3	64,4	0,17±0,04	4,53±0,10	<0,004	0,05	0,06	<0,01
15.9.	7,23	75,2	1,7	42,3	79,8	66,1	0,14±0,03	3,97±0,08	0,01	<0,003	0,03	<0,01
24.10.	7,23	75,0	1,6	25,5	67,2	64,5	0,23±0,05	4,01±0,09	<0,004	<0,003	0,05	<0,01
28.11.	7,16	75,7	1,9	29,1	79,6	65,8	0,15±0,02	3,94±0,11	<0,004	<0,003	0,06	<0,01
12.12.	7,21	75,9	2,2	27,8	68,6	60,8	0,16±0,02	4,02±0,07	<0,004	<0,003	0,06	<0,01
16.1.	7,49	75,3	1,5	31,5	78,0	71,1	0,16±0,04	3,98±0,06	<0,004	<0,003	0,05	<0,01
19.2.	7,45	74,8	2,6	26,7	71,5	62,2	0,25±0,03	3,93±0,06	<0,004	<0,003	0,05	0,01
16.3.	7,43	76,4	1,4	29,2	71,9	67,9	0,22±0,04	3,94±0,10	<0,004	<0,003	0,04	<0,01
9.4.	7,31	76,6	2,2	29,13	80,44	64,53	0,14±0,02	4,02±0,09	0,01	<0,003	0,08	0,01

Tabulka 16: Naměřené hodnoty ukazatelů znečištění podzemních vod v dané lokalitě v závislosti na průběhu roku. Bystročice.

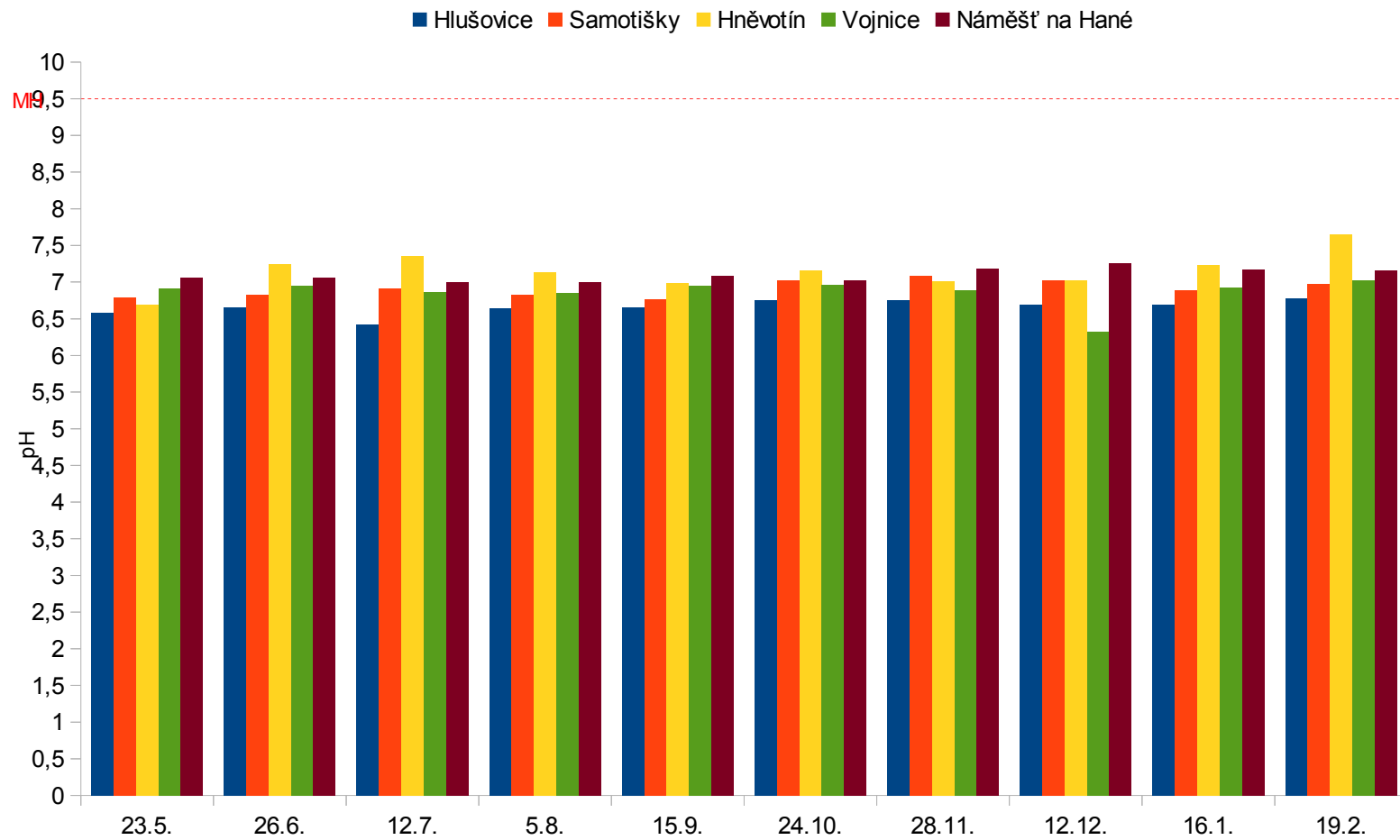
Datum	pH	Kondu k [mS/m]	Zákal [ZFn]	Cl ⁻ [mg/l]	SO ₄ ²⁻ [mg/l]	NO ₃ ⁻ [mg/l]	CHSk _{Mn} [mg/l]	T _{Ca+Mg} [mmol/l]	NO ₂ ⁻ [mg/l]	NH ₄ ⁺ [mg/l]	Fe [mg/l]	Mn [mg/l]
23.5.	7,04	170,7	1,6	95,4	148	95,3	2,15±0,03	5,12±0,10	0,01	<0,003	<0,02	0,14
26.6.	6,98	168,9	1,9	88,0	137	74,8	2,21±0,05	5,44±0,08	0,02	<0,003	<0,02	0,31
12.7.	7,07	168,5	0,5	99,9	180	88,2	2,08±0,03	5,49±0,09	0,06	<0,003	<0,02	0,42
5.8.	6,98	179,9	3,7	87,9	185	115	2,18±0,05	5,82±0,07	0,07	0,21	0,04	0,47
15.9.	6,97	192,2	1,7	93,4	197	108	2,25±0,04	6,27±0,07	0,14	0,11	0,03	0,19
24.10.	7,11	182,4	1,7	95,5	184	117	3,29±0,04	5,73±0,06	0,08	0,15	0,04	0,16
28.11.	7,08	182,2	2,5	85,6	154	90,1	2,14±0,04	5,65±0,10	0,04	0,22	0,02	0,34
12.12.	7,08	177,8	1,9	93,0	162	96,3	2,21±0,02	5,35±0,09	0,05	0,24	0,02	0,32
16.1.	7,18	144,1	2,4	67,48	96,6	62,2	2,23±0,03	4,15±0,11	0,02	<0,003	0,05	0,13
19.2.	7,09	148,1	2,5	72,5	95,4	59,4	2,26±0,05	4,12±0,06	0,04	<0,003	0,02	0,04
16.3.	7,03	173,3	1,7	81,5	113	59,3	2,18±0,02	4,94±0,08	0,06	0,19	<0,02	0,26
9.4.	7,01	179,5	2,2	96,8	115	57,1	2,23±0,04	4,53±0,10	0,08	0,16	<0,02	0,29

Tabulka 17: Naměřené hodnoty ukazatelů znečištění podzemních vod v dané lokalitě v závislosti na průběhu roku. Vacanovice.

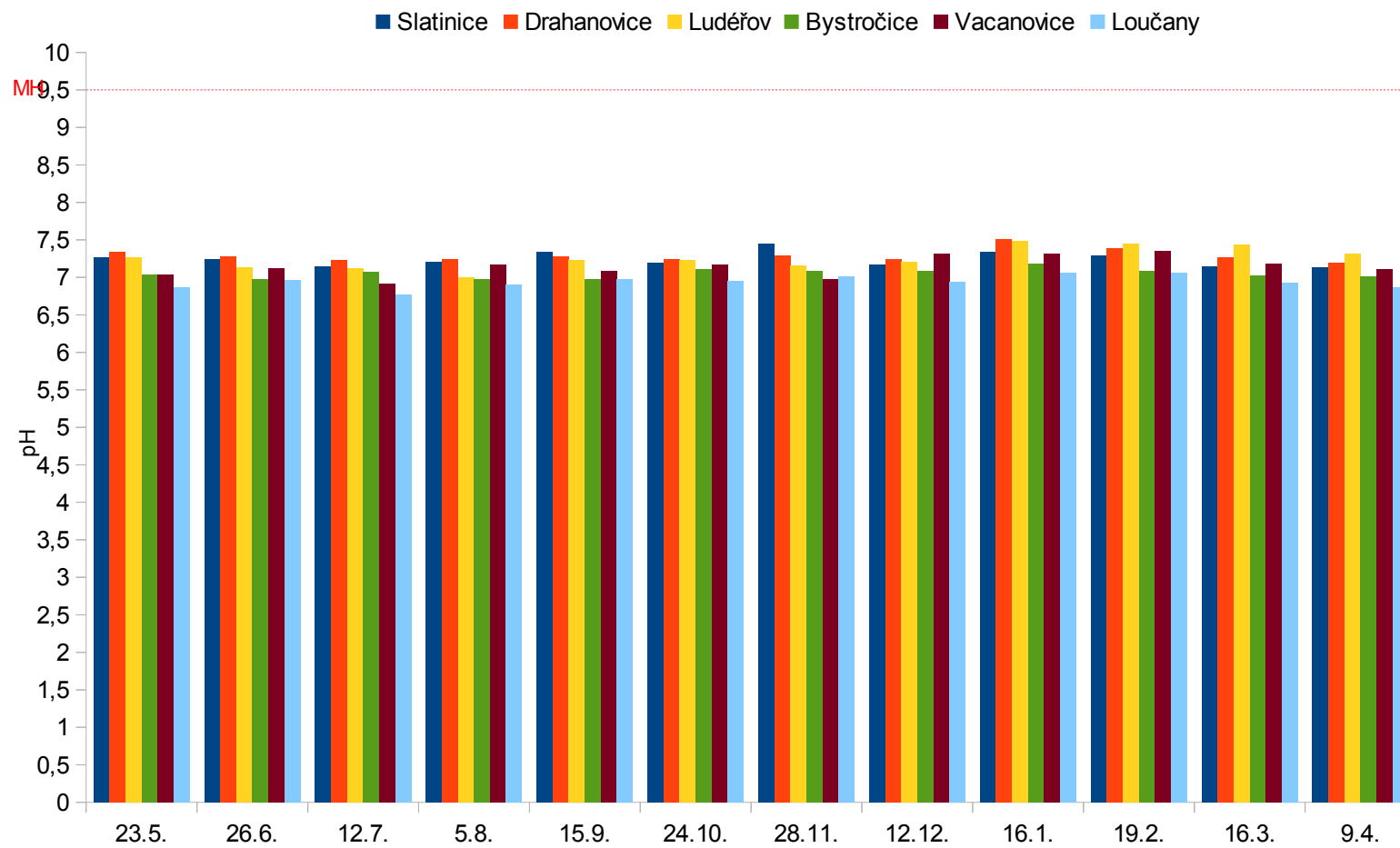
Datum	pH	Kondu k [mS/m]	Zákal [ZFn]	Cl ⁻ [mg/l]	SO ₄ ²⁻ [mg/l]	NO ₃ ⁻ [mg/l]	CHSk _{Mn} [mg/l]	T _{Ca+Mg} [mmol/l]	NO ₂ ⁻ [mg/l]	NH ₄ ⁺ [mg/l]	Fe [mg/l]	Mn [mg/l]
23.5.	7,04	110,5	0,9	65,4	181	101	0,67±0,04	5,85±0,10	<0,004	<0,033	<0,02	<0,01
26.6.	7,12	110,7	0,9	59,9	170	95,1	0,56±0,02	6,09±0,06	0,01	<0,033	<0,02	<0,01
12.7.	6,91	110,8	0,3	70,4	177	95,0	0,48±0,05	6,15±0,08	<0,004	<0,033	<0,02	<0,01
5.8.	7,17	111,2	1,2	63,4	198	95,5	0,53±0,02	6,12±0,09	<0,004	<0,033	<0,02	<0,01
15.9.	7,08	111,9	1,0	70,7	185	88,0	0,41±0,04	6,11±0,11	<0,004	<0,033	<0,02	<0,01
24.10.	7,17	111,2	1,5	57,4	150	87,0	0,46±0,04	6,03±0,11	0,01	0,04	<0,02	<0,01
28.11.	6,98	112,5	1,7	53,6	181	89,1	0,51±0,03	6,06±0,08	0,01	<0,033	<0,02	<0,01
12.12.	7,31	141,2	1,9	57,8	191	102	0,58±0,02	6,03±0,07	<0,004	<0,033	<0,02	<0,01
16.1.	7,32	112,3	1,3	61,24	207	115	0,45±0,03	6,09±0,08	<0,004	<0,033	<0,02	<0,01
19.2.	7,35	112,8	2,6	57,7	185	102	0,49±0,02	6,01±0,09	<0,004	<0,033	0,02	0,01
16.3.	7,18	106,2	1,6	58,5	168	99,8	0,52±0,05	6,01±0,10	<0,004	<0,033	<0,02	0,01
9.4.	7,11	113,5	1,2	60,1	178	97,4	0,58±0,05	6,14±0,11	0,01	0,05	<0,02	<0,01

Tabulka 18: Naměřené hodnoty ukazatelů znečištění podzemních vod v dané lokalitě v závislosti na průběhu roku. Loučany.

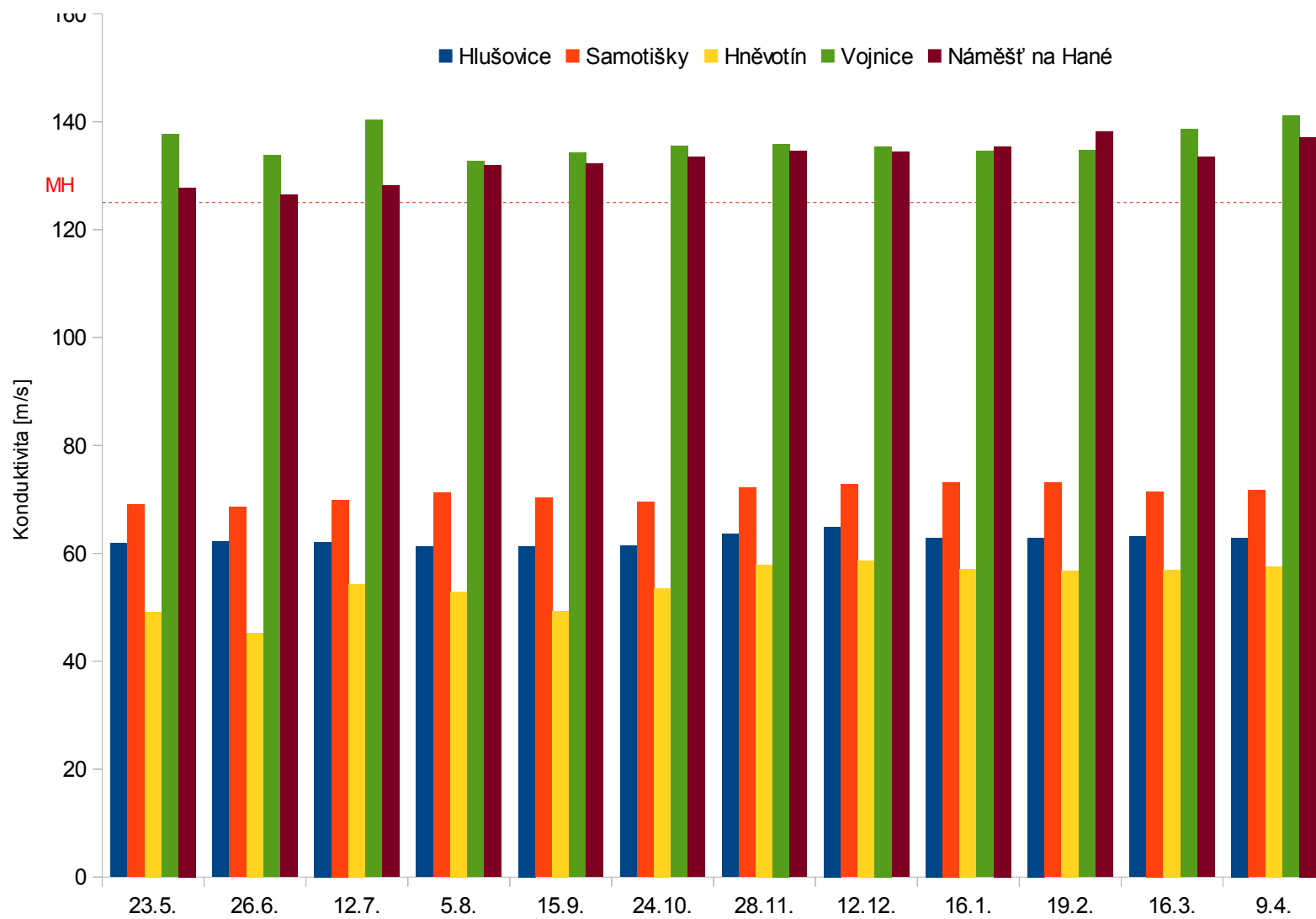
Datum	pH	Kondu k [mS/m]	Zákal [ZFn]	Cl ⁻ [mg/l]	SO ₄ ²⁻ [mg/l]	NO ₃ ⁻ [mg/l]	CHSK _{Mn} [mg/l]	T _{Ca+Mg} [mmol/l]	NO ₂ ⁻ [mg/l]	NH ₄ ⁺ [mg/l]	Fe [mg/l]	Mn [mg/l]
23.5.	6,86	137,1	0,9	109	151	124	0,41±0,05	5,25±0,08	<0,004	<0,033	0,03	0,01
26.6.	6,96	136,5	1,0	104	150	117	0,45±0,04	5,28±0,09	0,01	<0,033	<0,02	<0,01
12.7.	6,77	136,8	0,2	109	152	142	0,63±0,02	5,46±0,10	<0,004	<0,033	<0,02	0,01
5.8.	6,90	138,3	0,6	113	156	137	0,56±0,03	5,09±0,07	<0,004	<0,033	0,02	<0,01
15.9.	6,97	140,3	1,1	118	146	131	0,54±0,05	5,24±0,07	0,03	<0,033	0,03	0,01
24.10.	6,95	135,4	1,1	106	144	117	0,62±0,04	5,13±0,11	<0,004	<0,033	0,02	<0,01
28.11.	7,01	139,2	1,6	108	169	123	0,57±0,04	5,07±0,08	<0,004	<0,033	<0,02	0,02
12.12.	6,94	139,7	1,7	108	148	132	0,52±0,03	5,15±0,09	<0,004	<0,033	0,02	0,01
16.1.	7,06	140,4	1,1	108	160	146	0,53±0,04	5,55±0,11	<0,004	<0,033	<0,02	<0,01
19.2.	7,06	138,5	2,2	111	151	139	0,65±0,05	5,16±0,06	0,01	<0,033	0,03	0,01
16.3.	6,93	140,1	1,3	103	151	125	0,61±0,02	5,28±0,11	0,01	<0,033	0,03	<0,01
9.4.	6,86	138,4	1,5	109	147	131	0,57±0,03	5,24±0,09	<0,004	<0,033	0,03	0,02



Obrázek 5: Hodnoty pH naměřené ve sledovaném období

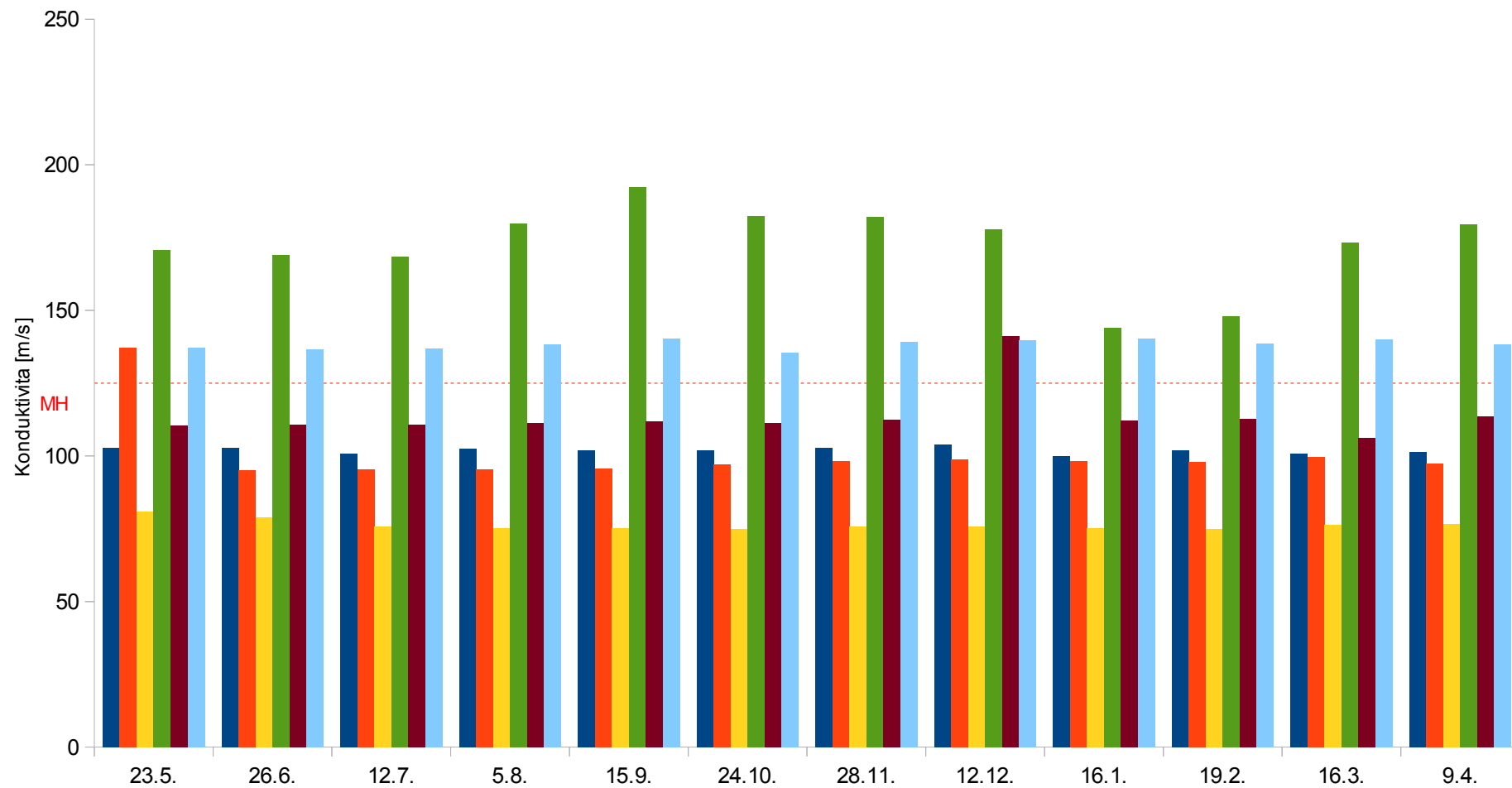


Obrázek 5: Hodnoty pH naměřené ve sledovaném období-pokračování

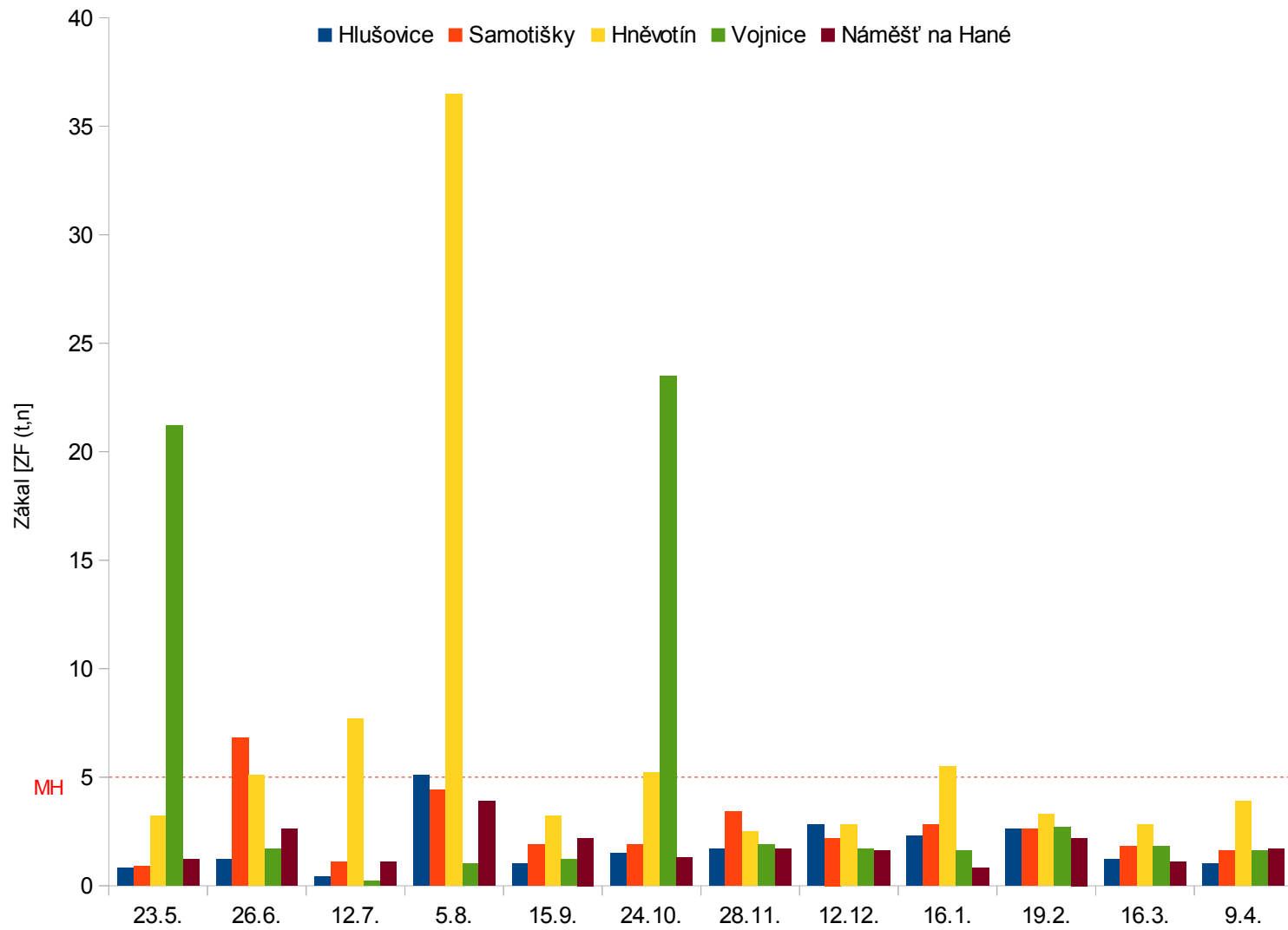


Obrázek 6: Hodnoty konduktivity naměřené ve sledovaném období

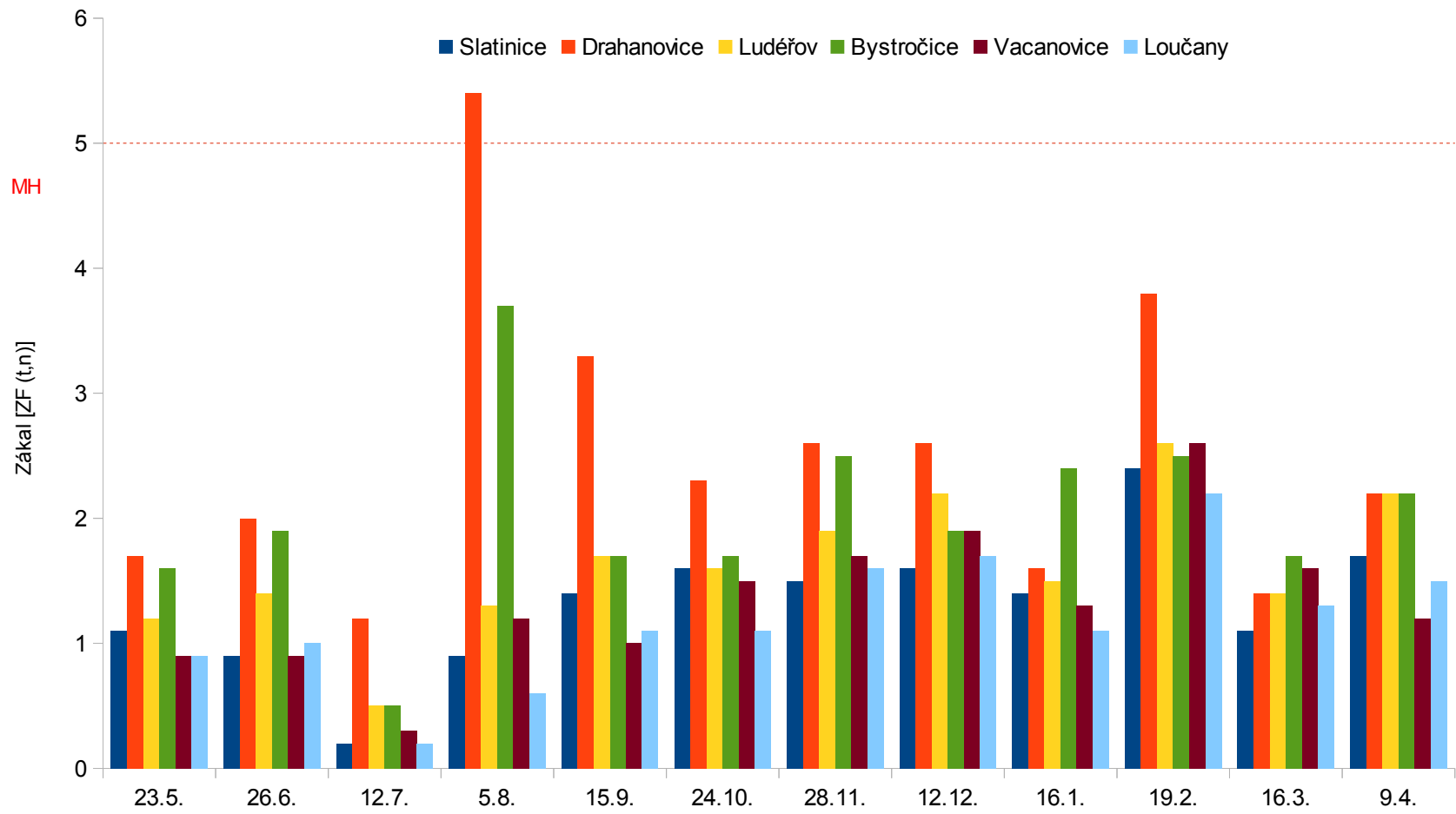
■ Slatinice ■ Drahanovice ■ Luděřov ■ Bystročice ■ Vacanovice ■ Loučany



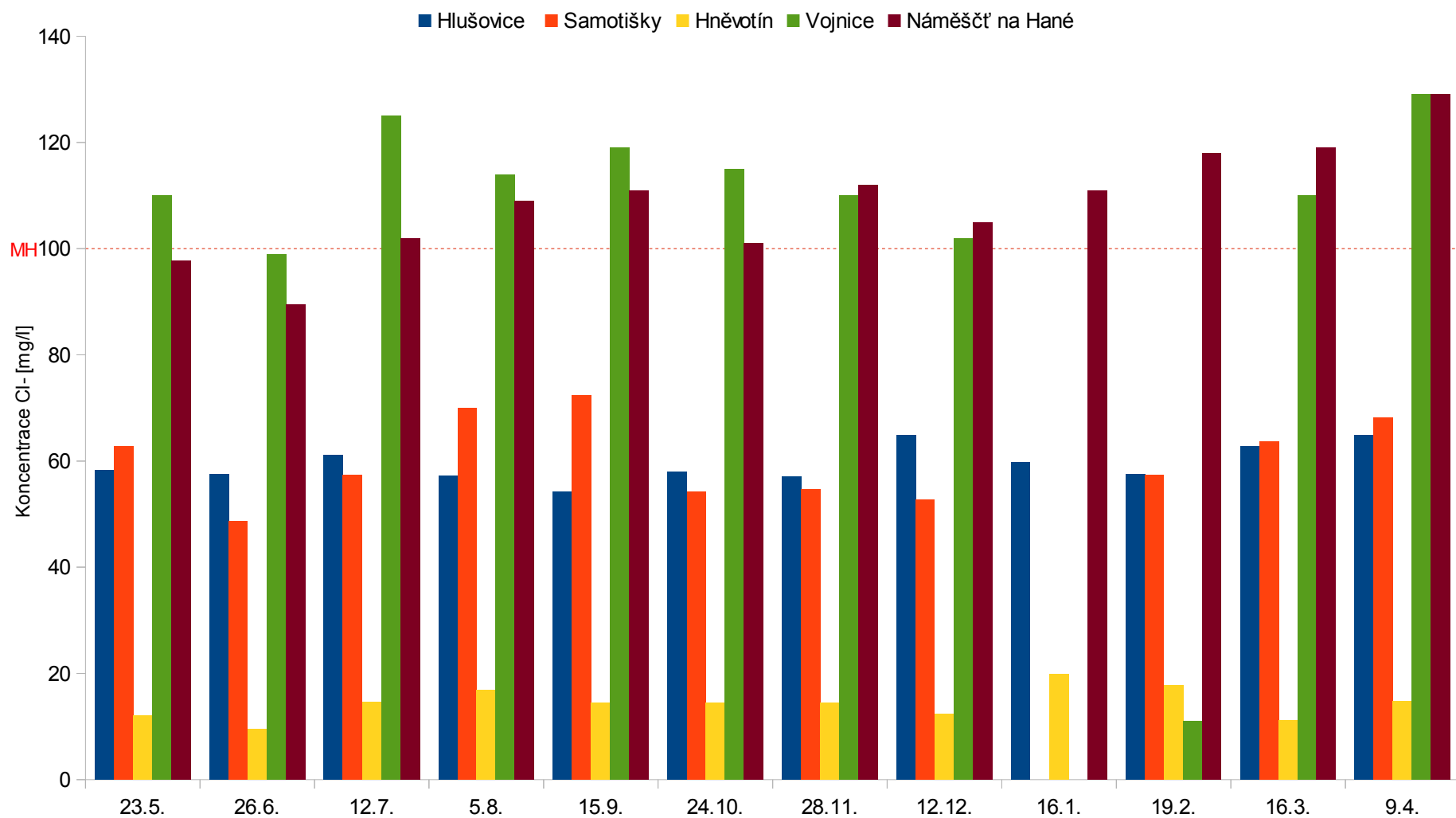
Obrázek 6: Hodnoty konduktivity naměřené ve sledovaném období-pokračování



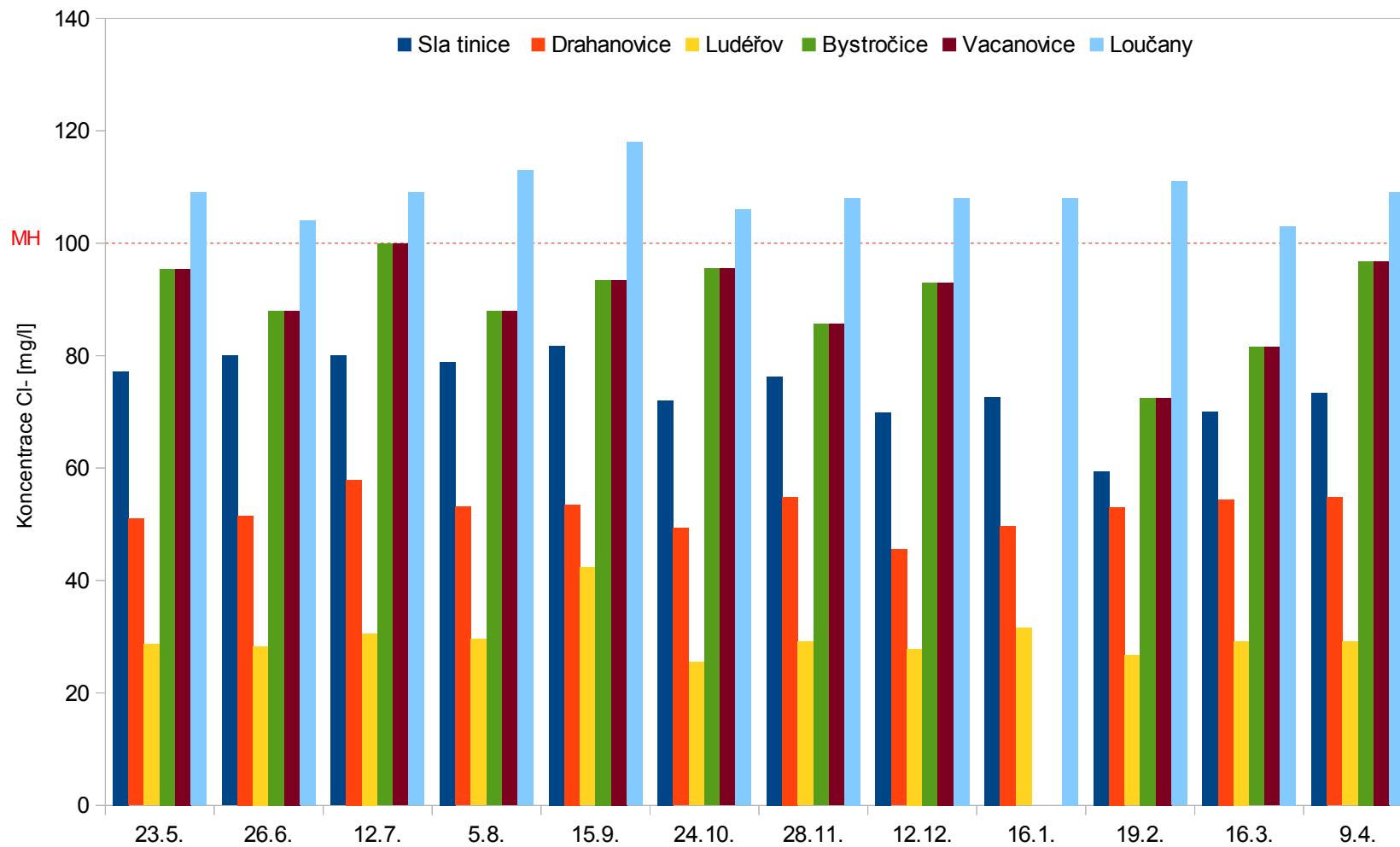
Obrázek 7: Hodnoty zákalu naměřené ve sledovaném období



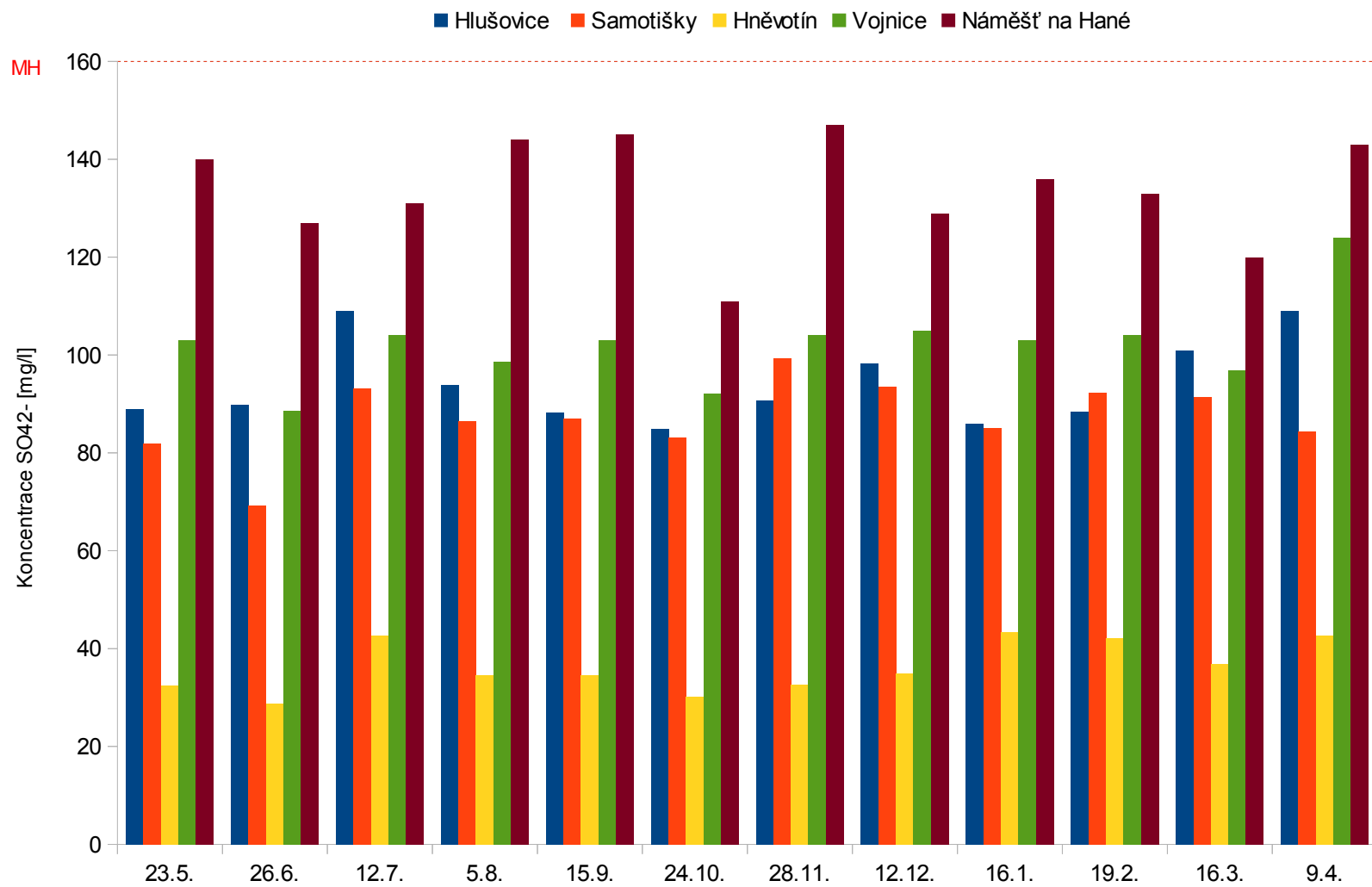
Obrázek 7: Hodnoty zákalu naměřené ve sledovaném období-pokračování



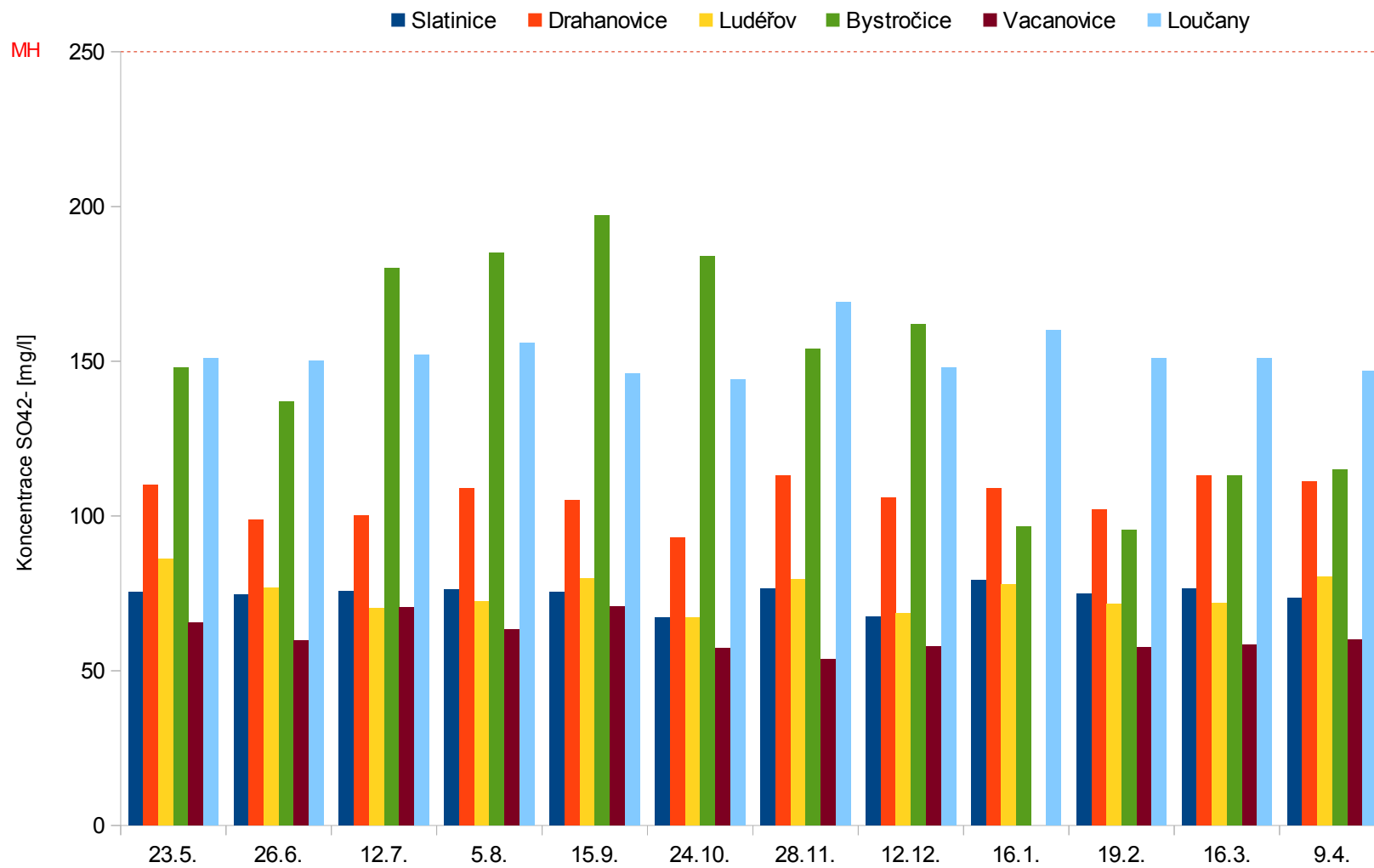
Obrázek 8: Hodnoty koncentrací Cl- naměřených ve sledovaném období



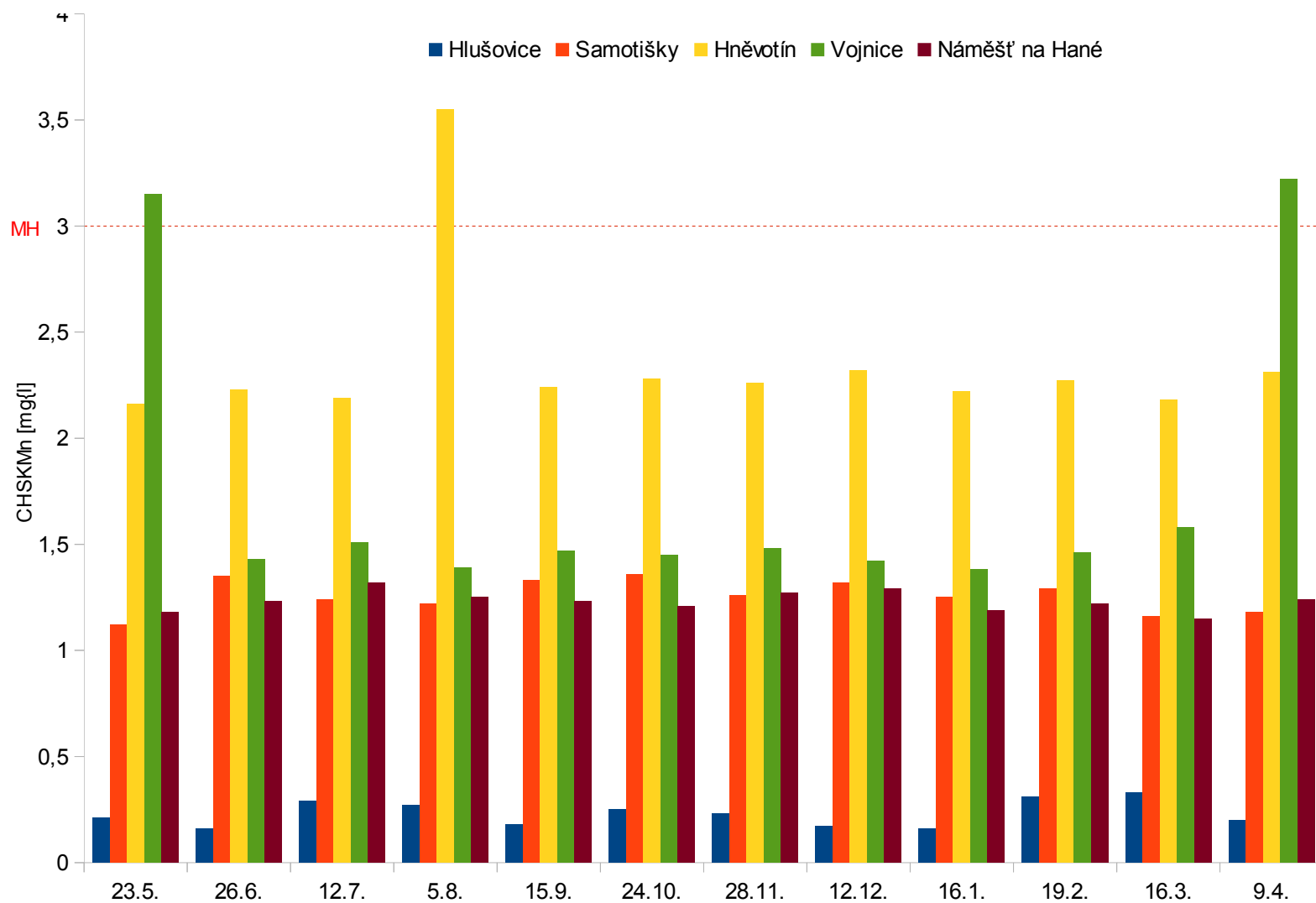
Obrázek 8: Hodnoty koncentrací chloridů Cl- naměřených ve sledovaném období-pokračování



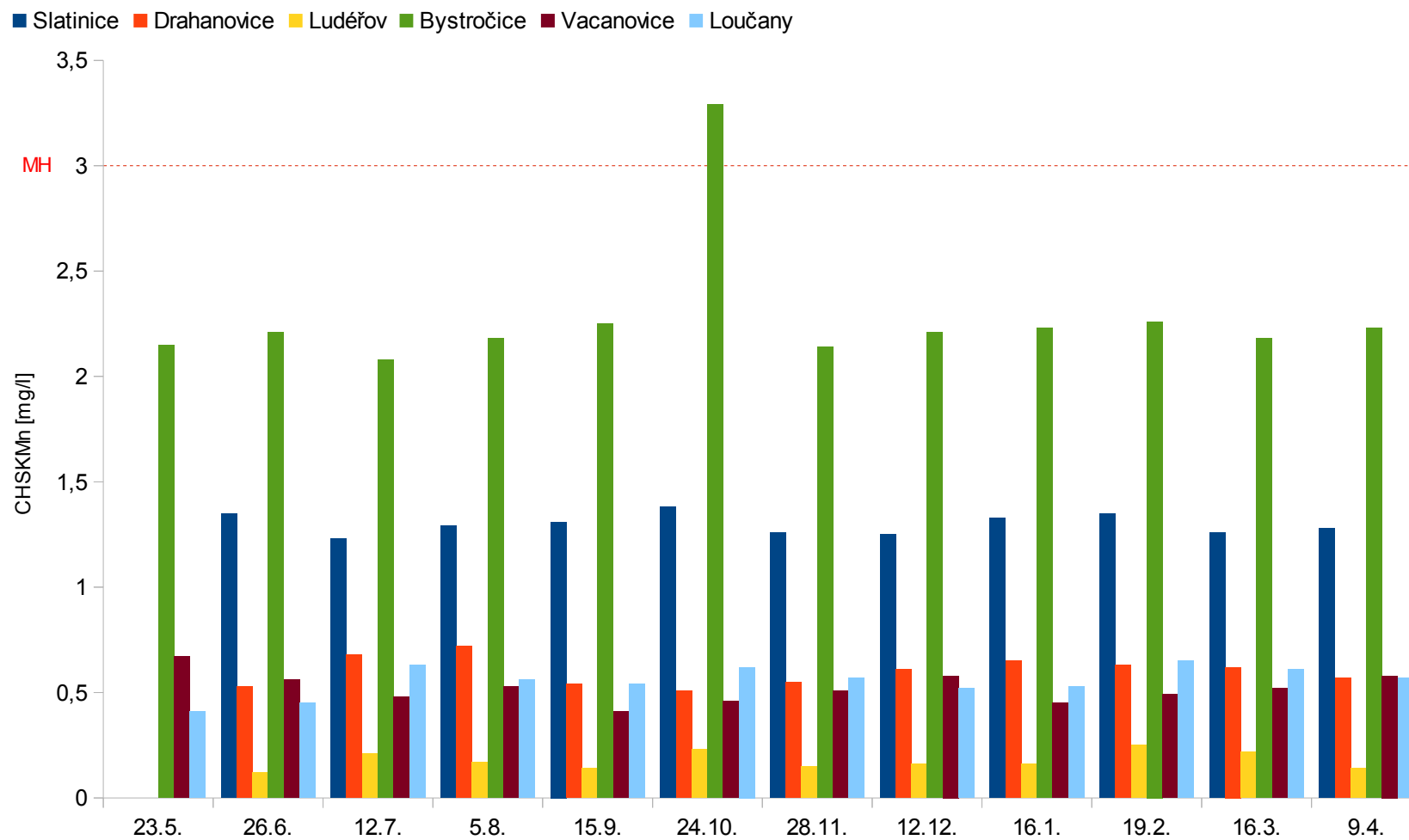
Obrázek 9: Hodnoty koncentrací síranů SO₄²⁻ naměřených ve sledovaném období



Obrázek 9: Hodnoty koncentrací SO₄²⁻ naměřených ve sledovaném období



Obrázek 10: Hodnoty CHSKMn naměřené ve sledovaném období



Obrázek 10: Hodnoty CHSKMn naměřené ve sledovaném období-pokračování

