

Univerzita Pardubice
Fakulta chemicko-technologická

Posouzení možnosti využití studniční vody pro pitné účely

Bakalářská práce

Univerzita Pardubice
Fakulta chemicko-technologická
Akademický rok: 2019/2020

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE (projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Iveta Stýblová**
Osobní číslo: **C17033**
Studijní program: **B2807 Chemické a procesní inženýrství**
Studijní obor: **Ochrana životního prostředí**
Téma práce: **Posouzení možnosti využití studniční vody pro pitné účely**
Zadávací katedra: **Ústav environmentálního a chemického inženýrství**

Zásady pro vypracování

1. Zpracujte literární rešerši týkající se základních ukazatelů jakosti pitné vody a diskutujte jejich negativní účinky v případě překročení povolených limitů.
2. Seznamte se s metodami stanovení parametrů v rámci základního rozboru pitných vod.
3. Analyzujte vzorky vod odebrané ze studní ze zvolené zájmové oblasti. Dosažené výsledky zhodnoťte.
4. Bakalářskou práci zpracujte v souladu se Směrnicí UPa č. 9/2012 „Pravidla pro zveřejňování závěrečných prací a jejich základní jednotnou formální úpravu“ v platném znění.

Rozsah pracovní zprávy:
Rozsah grafických prací:
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná**

Seznam doporučené literatury:

Vedoucí bakalářské práce: **prof. Ing. Jaromíra Chýlková, CSc.**
Ústav environmentálního a chemického inženýrství

Datum zadání bakalářské práce: **5. února 2020**
Termín odevzdání bakalářské práce: **4. července 2020**



prof. Ing. Petr Kalenda, CSc.
děkan

L.S.



prof. Ing. Petr Mikulášek, CSc.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 5. února 2020

Prohlášení autora

Prohlašuji:

Tuto práci jsem vypracovala samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využila jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byla jsem seznámena s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č.121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle §60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Beru na vědomí, že v souladu s §47b zákona č.111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnici Univerzity Pardubice č. 7/2019 Pravidla pro odevzdávání, zveřejňování a formální úpravu závěrečných prací, ve znění pozdějších dodatků, bude práce zveřejněna prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 16. 7. 2020

Iveta Stýblová

Poděkování

Ráda bych zde poděkovala paní prof. Ing. Jaromíře Chýlkové, CSc. za čas, který mi věnovala, trpělivost a poskytnuté rady související s teoretickou i experimentální částí mé bakalářské práce. Dále bych chtěla poděkovat laborantce Janě Hrnčířové za její ochotu a pomoc při laboratorních pracích a za zajištění potřebných roztoků a pomůcek. Moje poděkování také patří mé rodině, která mě celou dobu podporovala a zajistila mi příznivé podmínky pro mé studium.

Anotace

Tato bakalářská práce se věnuje vybraným základním ukazatelům jakosti pitné vody. Teoretická část je zaměřena na metody stanovení ukazatelů, jejich původ ve vodách a vliv na zdraví v případě překročení povolených hodnot. Jednalo se o pH, chemickou spotřebu kyslíku, chloridy, tvrdost, amonné ionty a dusičnany. V rámci experimentální části byly tyto parametry stanovovány ve vzorcích studničních vod. Bylo analyzováno celkem 20 vzorků odebraných v časovém rozmezí od října 2019 do června 2020. Zjistilo se, že pouze 25 % z nich vyhovuje k pitným účelům.

Klíčová slova

Základní ukazatele pitné vody, analýza vody, studny, vliv jakosti vody na lidské zdraví

Annotation

This bachelor thesis looks into selected basic indicators of drinking water quality. The theoretical part is focused on the methods of indicators' analysis, their origin in water and the health impact in case of exceeding the permitted values. These are pH, chemical oxygen demand, chlorides, hardness, ammonium ions and nitrates. Within the experimental part, these parameters were determined in well water samples. A total of 20 samples taken in a time range from October 2019 to June 2020 were analyzed. It was found that only 25% of them are suitable for drinking purposes.

Keywords

Basic indicators of drinking water, water analysis, wells, the impact of water quality on human health

Obsah

Úvod.....	10
1. Teoretická část	11
1.1. pH.....	11
1.2. Chemická spotřeba kyslíku	13
1.3. Chloridy	16
1.4. Celková tvrdost vody	18
1.5. Amonné ionty.....	22
1.6. Dusičnany.....	23
2. Experimentální část.....	27
2.1. Chemikálie a roztoky	27
2.2. Použité metody a zařízení při stanovení vybraných parametrů vody	28
2.3. Popis odběrových míst.....	30
3. Výsledky a diskuse.....	33
Závěr	37

Seznam ilustrací a tabulek

Obrázek 1 – Struktura ethylendiamintetraoctové kyseliny.....	18
Obrázek 2 – Schéma přeměny jednotlivých forem dusíku.....	23
Obrázek 3 – Přístroj pro měření pH MV 870 Pracitronic.....	28
Obrázek 4 – Elektrochemický měrný článek při stanovení pH.....	28
Obrázek 5 – Zařízení pro stanovení amonných iontů a dusičnanů.....	30
Obrázek 6 – Souhrnná mapa odběrových míst.....	31
Obrázek 7 – Detailní mapa odběrových míst v okolí Pardubic.....	31
Obrázek 8 – Graf: Obsahy dusičnanů v jednotlivých vzorcích vod.....	35
Tabulka 1 – Příklady pH vod.....	12
Tabulka 2 – Výsledky rozborů vzorků studniční vody.....	33

Seznam zkratek a značek

c	Koncentrace látky v roztoku [mol/l]
ČSN	Česká technická norma
2,4-D	Dichlorfenoxyoctová kyselina
DDT	1,1,1-trichlor-2,2-bis(4-chlorfenyl)ethan
EDTA	Ethylendiamintetraoctová kyselina
CHSK	Chemická spotřeba kyslíku
IARC	Mezinárodní agentura pro výzkum rakoviny
K_v	Iontový součin vody
MH	Mezní hodnota
NMH	Nejvyšší mezní hodnota
p. a.	Pro analýzu
pH	Vodíkový exponent

Úvod

Voda je důležitou látkou, která zajišťuje přítomnost života na Zemi, a je nezbytná pro životní prostředí. Při koloběhu vody dochází k odpařování z vodních těles a následnému přechodu vody kondenzací ve srážky, které se dostávají do řek a dále do moří. Část této vody projde horninovým prostředím a dále ji nazýváme vodou podzemní. Lidem voda slouží zejména k uspokojování potřeb jako je pití, hygiena, zavlažování nebo výrobní činnost. K pitným účelům je nejčastěji využívána podzemní nebo povrchová voda, kterou je nutno dále čistit a upravovat. Většinu z celkového objemu vody však na Zemi tvoří mořská voda [1].

Zdroje pitné vody nejsou pro všechny obyvatele Země samozřejmostí. Na některých územích se potýkají s jejím nedostatkem nebo naopak dochází k jejímu plýtvání. V České republice odvádí řeky vodu pryč z území. Naše zásoby vody jsou tak závislé na atmosférických srážkách. V důsledku jejich nedostatku se v posledních letech potýkáme s hydrologickým suchem [2].

Jednou z možností, jak se lidé zásobují pitnou vodou jsou studny. Většina občanů v ČR je napojena na veřejný vodovod, ale přibližně 10 % české populace je závislé právě na vlastní studni [3]. Přírodní (tedy i studniční) vody velmi často nespĺňují hygienické standardy dané vyhláškou č.70/2018 Sb. Tato vyhláška určuje požadavky na hygienu pro pitnou a teplou vodu a četnost a míru kontroly pitné vody [4]. Překročení některého z ukazatelů hygienických parametrů může způsobovat zdravotní problémy, a proto je nutné se o studny starat a provádět jejich kontroly [3].

Tato bakalářská práce se zabývá sledováním vybraných základních ukazatelů jakosti vody, do kterých patří pH, chemická spotřeba kyslíku, chloridy, celková tvrdost, obsah amonných iontů a obsah dusičnanů. Skládá se z teoretické části popisující uvedené ukazatele a jejich vliv na lidské zdraví a části experimentální. Cílem experimentální části práce je monitorování kvality studniční vody ve vybraném regionu Středních a Východních Čech.

1. Teoretická část

1.1. pH

Významnou vlastností vody je její pH. Hodnota pH je formulována jako záporný dekadický logaritmus aktivity vodíkových iontů. Pro zjednodušení lze místo aktivity uvažovat molární koncentraci. Voda částečně podléhá disociaci podle rovnice (1).



Dochází k ustanovení rovnováhy, kterou lze zapsat Guldberg-Waagovým zákonem:

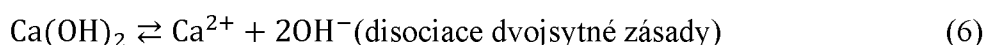
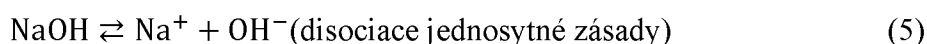
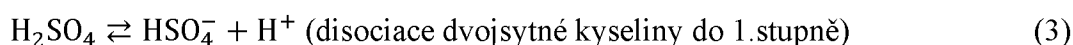
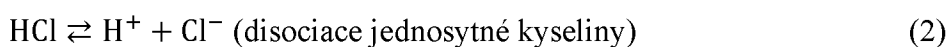
$$c(\text{H}^+) \cdot c(\text{OH}^-) = K_v^* \cdot c(\text{H}_2\text{O}) = K_v$$

Při teplotě 25 °C je K_v (konstanta iontového součinu vody) rovna 10^{-14} . Velikost molárních koncentrací iontů H^+ a OH^- je shodná. Platí výraz:

$$c(\text{H}^+) = c(\text{OH}^-) = 10^{-7}$$

Hodnotu pH je možné vyjádřit číslem od 0 do 14 a neutrální roztok má pH rovno 7. Zvýšení koncentrace H^+ , které vznikne přidáním kyseliny, způsobí pokles pH. Naopak to platí pro přidavek zásady. Kyseliny se pohybují v hodnotách pH od 0 do 7 a zásady mají pH od 7 do 14 [1, 5].

První a starší teorie týkající se kyselin a zásad se nazývá Arrheniova. Podle této teorie je původcem kyselosti iont H^+ a zásaditosti iont OH^- . Definice kyseliny a zásady spočívá v tom, že kyselina při své disociaci poskytuje H^+ a zásada OH^- . U kyselin záleží také na počtu odštěpených H^+ , podle toho se nazývá jednosytnou nebo vícesytnou. Platí to i pro zásady, ale pro OH^- . Disociace kyselin a zásad jsou vyjádřeny rovnicemi (2,3,4,5,6)

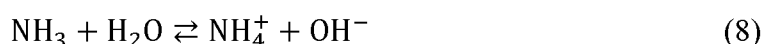


Neutralizační reakci nazýváme reakci Arrheniovy kyseliny a zásady. Produktem této reakce je sůl a voda [6].

U Brønstedovy teorie dochází k uvolnění protonu kyselinou a jeho přijetím zásadou. Vznikne konjugovaná kyselina a konjugovaná zásada. Příkladem této rovnováhy je reakce, která je popsána rovnicí (7). Voda má charakter amfolytu. Chová se jako zásada, přijímá proton a tím se z ní stává konjugovaná kyselina. Kyselina chlorovodíková naopak poskytuje proton a přechází v konjugovanou zásadu.



Opačným příkladem, kdy se voda chová jako kyselina je reakce se zásadou podle rovnice (8):



Je-li látka kyselinou nebo zásadou rozhoduje zejména povaha druhé reagující sloučeniny. Pro posouzení kyselosti nebo zásaditosti látky je nejideálnějším rozpouštědlem voda [7].

Voda je prostředím pro průběh fyzikálních, fyzikálně-chemických nebo biochemických dějů, které pH ovlivňuje. Má vliv na formy kyselin a zásad, které mohou zvyšovat svou toxicitu v závislosti na tom, jestli se vyskytují s disociované nebo nedisociované formě. Jedním z případů je sulfan, který je ve své nedisociované formě (H_2S) více toxický než ve své disociované (HS^-). Hodnota pH je velmi důležitým základním ukazatelem, který také vypovídá o chování vody vůči jiným materiálům (př. beton). Dále rozhoduje o formách prvků vyskytujících se ve vodě nebo jak snadno bude probíhat hydrolyza, oxidace a další procesy [5].

Uhlíčanová rovnováha řídí pH vod přírodního původu. Příčinou kyselosti vod je obsah kyselin anorganického i organického původu nebo obsah oxidu uhličitého. Mezi kyseliny patří huminové látky, které mají původ v rašeliníštích. Zásadité vody obsahují hydrogenuhličitan. Vody podzemní a povrchové mají odlišné pH. Některé vybrané příklady pH vod jsou uvedeny v tabulce 1 [5]. Nižší pH můžeme obvykle přiřadit vodám povrchovým [8].

Tabulka 1 Příklady pH vod [5]

Druh vody	Rozmezí hodnot pH	Průměrná hodnota pH
Pitné vody ČR (1994)	4,0 – 9,0	-
Vodárenská nádrž Želivka	6,8 – 8,3	7,5
Labe (Hřensko) 1994	7,0 – 8,1	7,6

Pokračování **tabulky 1** Příklady pH vod [5]

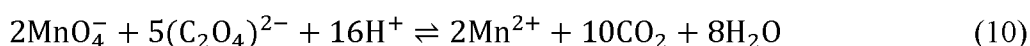
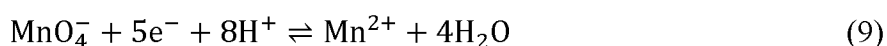
Druh vody	Rozmezí hodnot pH	Průměrná hodnota pH
Vody z rašelinišť	3,5 – 4,3	-
Mořská voda	7,5 – 8,5	8,2

Reakce vody ovlivňuje také sensorické vlastnosti vody, které jsou znatelné v případě alkalických oblastí pH. Kyselými vodami jsou převážně vody, které mají nízkou tvrdost neboli nízký obsah minerálních látek. Voda může mít zvýšené pH v důsledku kontaktu s cementem. K této zdravotně nezávadné alkalitě dochází v některých šachtových studních [3].

Podle vyhlášky č.70/2018 Sb. by měla být hodnota pH pro pitné vody rovna 6,5 - 9,5 MH (mezí hodnoty) [4]. Pokud pH vody nenabývá extrémních hodnot, je přímý vliv tohoto parametru na lidské zdraví zanedbatelný [3].

1.2. Chemická spotřeba kyslíku

Chemická spotřeba kyslíku patří mezi ukazatele, které vyjadřují množství organických látek ve vodě. Metoda je založená na určování množství kyslíku, který je zapotřebí k oxidaci organických látek. Toto množství je rovnocenné s množstvím použitého oxidačního činidla, které se volí podle typu stanovovaných vod. U vod pitných se k oxidaci používá manganistan draselný (viz rovnice 9), u kterého se předem určí přesná koncentrace pomocí kyseliny šťavelové. Rovnice standardizace je vyjádřena výrazem (10). Reakce probíhá za přítomnosti kyseliny sírové, která vytváří nízké pH prostředí. Výsledná hodnota stanovení se udává v mg O/l. Pro stanovení organických látek ve vodách odpadních se oxidace organických látek provádí pomocí dichromanu draselného. Tato práce je především zaměřená na stanovení v pitných vodách pomocí manganistanu. Aplikovaná metoda je oproti dichromanové metodě jednodušší a vlivem nižšího obsahu organických látek ve vodách pitných je výhodou i menší spotřeba oxidačního činidla. Reakce, která nastane při oxidaci organických látek ve vodě je vyjádřena rovnicí (9).



Účinnost oxidace organických látek je nižší než o dichromanové metody, ale dostačující pro jejich nízký obsah [9].

Limitem pro chemickou spotřebu kyslíku v pitných vodách jsou 3 mg O/l MH (Mezní hodnota) [4].

Často se organické látky dostávají do vod vlivem činnosti člověka a jejich zdrojem jsou odpadní vody z průmyslu, splaškové vody, odpady ze zemědělské činnosti nebo výluhy ze skládek. Další možností kontaminace je přírodní cesta. Přírodním prostředím, ze kterého dochází k vymývání organických látek do vody jsou půdy, které obsahují humus a různé zbytky tlejících přírodních materiálů. Původci organických látek ve vodě mohou být organismy rostlinného nebo živočišného původu, které do vody uvolňují své metabolity pocházející z jejich životních pochodů [5]. Nejčastějším příkladem jsou huminové látky. Skládají se z aromatických jader navzájem propojených uhlíkatými řetězci a obsahují hydroxylové a karboxylové funkční skupiny, kvůli kterým mají kyselý charakter. Mezi prvky, které tyto kyseliny obsahují patří uhlík, vodík, dále kyslík a síra. Skupinami huminových látek jsou například huminové kyseliny, fulvokyseliny nebo huminy. Huminové látky se snadno rozpouští ve vodě, způsobují hnědé zbarvení vody, vytvářejí agregáty nebo komplexy. Znakem vod obsahující tyto látky je často nízký obsah vápníku, hořčíku a hydrogenuhličitanů [10]. Kromě huminových látek se do vody také dostávají nízkomolekulární nebo vysokomolekulární látky založené na peptidech, aminokyselinách, sacharidech, polyfenolech nebo uronových kyselinách. Některé z nich vytváří komplexy a jsou povrchově aktivní. Látky produkované sinicemi mohou způsobovat zápach a být pro člověka nebezpečné [5].

Organické látky se dělí na dvě základní skupiny podle jejich biologické rozložitelnosti na biologicky rozložitelné a biologicky nerozložitelné. Druhý případ je velmi problematický pro životní prostředí, jelikož dochází ke kumulaci a průniku až do pitných vod. Tyto látky se velmi pomalu biologicky degradují, způsobují změny ve vlastnostech vod a některé představují hrozbu pro lidské zdraví. Pesticidy mohou působit karcinogenně, teratogenně nebo zapříčinit alergické reakce. Huminové látky a ligninsulfonany zbarvují vodu. Změnu chuti a zapáchající vodu způsobují chlorfenoly. Bublínky pěny utváří tenzidy a ropné látky přes svou vrstvu na hladině vod nepropouštějí kyslík [5].

Dále budou uvedeny nejčastější organické znečišťující látky ve vodách. Jedná se především o látky, které se vyskytly nebo se vyskytují v pitných vodách a představují potenciální riziko pro lidský organismus. První látkou je polyakrylamid, který přijímáme hlavně konzumací potravin připravovaných při vysokých teplotách. Lze ho přijímat i v menší míře z vody, kam se dostává při její úpravě jako složka koagulantů ve formě monomeru. Monomer

snadno přechází ze žaludku do krevního řečiště, je toxický pro nervovou soustavu a snižuje reprodukční schopnost organismů. Podle klasifikace IARC patří do 2 A skupiny, která se označuje jako "pravděpodobnost karcinogenity u člověka". Problémem akrylamidu je jeho vysoký příjem v potravinách, který nelze účinně sledovat. Proto je důležité udržovat jeho nízký obsah ve vodě. Mezi herbicidy patří například Alachlor, který je regulátorem růstu trav a plevelů a karcinogenem. Genotoxicita na lidský organismus nebyla prokázána, ale jeho přeměnou vzniká mutagenní 2,6-diethylanilin. Druhým příkladem herbicidu je známý Glyphosát, který lze použít na velké množství druhů rostlin. Ve vodě se nerozkládá a zůstává v půdě, odkud neproniká do podzemních vod. Pro nízkou toxicitu a nízké koncentrace tato látka ve vodě neohrožuje zdraví. K herbicidům můžeme zařadit i kyselinu označovanou jako 2,4-D, což je kyselina 2,4-dichlorfenoxyoctová. Je součástí skupiny herbicidů nazývané chlorofenoxy herbicidy, která se podle IARC označuje za 2 B skupinu "možná karcinogenní pro člověka". Velmi známým insekticidem je DDT neboli 1,1,1-trichlor-2,2-bis(4-chlorfenyl)ethan. Stejně účinky jako má DDT lze přiřadit i jeho izomerům. Pomocí DDT je huben hmyz, který by mohl být původcem onemocnění malárie, žluté zimnice a dalších nemocí. Kvůli perzistenci a odolnosti vůči rozkladu se nesmí v některých zemích používat. Podle IARC spadá do skupiny 2 B, jelikož byly při studiích zjištěny karcinogenní účinky na hlodavce. Obzvláště docházelo ke zvýšení výskytu karcinomu jater. Endosulfan je také insekticid. Hubí organismy, které poškozují plody ovoce, zeleniny nebo listy tabáku. Ve vodách se nevyskytuje moc běžně, ale existují případy ve vzorcích ve Spojených státech. Tyto vzorky obsahovaly malé množství tohoto pesticidu. Podle studie může působit na endokrinní systém. Prostředkem k hubení hmyzu napadajícího ovoce je také Lindan, který se rovněž přestal v některých zemích ve větší míře používat. Důvodem jsou jeho škodlivé účinky na játra a ledviny. Nebezpečnou organickou látkou ve vodách by mohl být také karbofuran, který patří mezi karbamátové pesticidy. Je původcem systémových otrav a je nekarcinogenní. Voda je možnou hlavní cestou intoxikace [11].

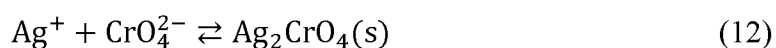
Ostatní organické látky, které nespádají do skupiny pesticidů mohou být například benzen a formaldehyd aj. Benzen je nebezpečná látka způsobující poruchy krvetvorby a při akutních otravách cílí na centrální nervovou soustavu. Je zařazen do 1. skupiny podle IARC, která označuje látky, které jsou pro člověka karcinogenní. Do vod se dostává ze znečištěného ovzduší nebo odpadními vodami. Další látkou je formaldehyd, který se nachází ve vodách důsledkem procesu úpravy vody ozonizací a chlorací nebo se může uvolňovat z některých

plastových materiálů. Pro člověka nepředstavuje nebezpečí, protože se ve vodě vyskytuje v nízkých koncentracích [11].

Tenzidy jsou dalšími organickými látkami dostávajícími se do vod. Jejich hlavní vlastností je povrchová aktivita. Jsou obsaženy převážně v odpadních vodách, ze kterých mohou přecházet do vod podzemních. Zdrojem tenzidů jsou prostředky k mytí nádobí nebo prášky na praní. Část molekuly tenzidu je hydrofobní a tvoří ji uhlovodíkový řetězec, který je připojen k druhé části s hydrofilní skupinou (např. sulfátová skupina). Podle přítomnosti iontového náboje je lze rozdělit na iontové tenzidy a neiontové tenzidy. Iontové tenzidy se dělí na kationtové a aniontové. Mezi aniontové patří například alkylsulfáty nebo alkylsulfonany. Problematickými jsou hlavně kationtové tenzidy, které se používají například jako změkčovače nebo jako přípravky k ochraně proti korozi. Hůře se rozkládají biologickou cestou. Na povrchu vod utváří pěnu, způsobují eutrofizaci vod, mohou být toxické nebo se degradací přeměňovat na sloučeniny s toxickými účinky. Mezi tenzidy s vysokou toxicitou patří například kationtové sloučeniny, které jsou založeny na látkách jako je alkylnpyridin. Vzhledem ke své toxicitě lze zařadit mezi toxické tenzidy i etoxylované mastné aminy, které patří do neiontových tenzidů. V dnešní době převládají přípravky na bázi aniontových sloučenin. Tyto sloučeniny nepředstavují výrazné riziko pro lidské zdraví. Problémem zůstávají kationtové tenzidy, které poškozují zdraví a životní prostředí [12].

1.3. Chloridy

Chloridy jsou v pitných vodách stanovovány pomocí argentometrické srážecí titrace, která je založena na tvorbě málo rozpustných sloučenin. Odměrným roztokem je dusičnan stříbrný a indikátorem chroman draselný. Standardizace odměrného roztoku se provádí pomocí chloridu sodného rovněž s indikátorem chromanem draselným. Při stanovení chloridů dochází nejprve k tvorbě bílé sraženiny méně rozpustného chloridu stříbrného a po zreagování veškerého chloridu se tvoří sraženina chromanu stříbrného, která má vyšší rozpustnost a červenohnědé zbarvení. Reakce, ke kterým dochází při stanovení chloridů, jsou popsány rovnicemi (11) a (12).



Výhoda stanovení je, že ho lze provádět u různých typů vod. Problémem však mohou být rušivé ionty, jako jsou např. bromidy, jodidy nebo thiosíraný. Dále lze chloridy stanovovat v různých vodách např. merkurimetrickou metodou. Nízké koncentrace je vhodné určovat

spektrofotometrickým stanovením za přítomnosti sloučeniny thiokyanatanu rtuťnatého a železitých iontů [9].

Nejčastějšími sloučeninami, které do této skupiny patří, jsou chlorid sodný (NaCl) a chlorid hořečnatý (MgCl₂). Původcem chloridů ve vodách může být plynný chlor, který se do vody dostává při dezinfekci vody. Chlorid sodný je látkou, která je v malé míře nepostradatelná pro lidský organismus. Zajišťuje správnou funkci rostlinných a živočišných buněk [13].

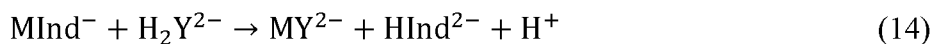
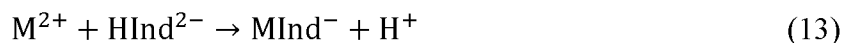
Přírodní vody obvykle obsahují chloridy, které spolu se sírany a hydrogenuhličitany tvoří trojici nejčastěji vyskytujících se iontů [9]. Zdrojem chloridů mohou být mimo výše zmíněnou dezinfekci vod také horniny s obsahem chloridů, odpadní vody ze zemědělství, odpadní vody z průmyslového odvětví, vody z čističek odpadních vod nebo odpady z těžby ropy [13]. V České republice není příliš běžná vyšší koncentrace chloridů původem z hornin. Pokud přírodní voda vykazuje zvýšený obsah těchto iontů znamená to, že byla znečištěna vodami splaškovými nebo průmyslovými. Podle obsahu chloridů lze povrchové vody dělit do různých tříd znečištění [9].

Lidé přijímají chloridy ve velké míře především v potravě v podobě soli. V menší míře v pitné vodě [11]. Pitná voda má limit obsahu chloridů roven 100 mg/l MH (mezní hodnota) podle ČSN 83 0611 Pitná voda. Překročení tohoto limitu je znamením, že došlo k fekálnímu znečištění. V případě vysoké hodnoty chloridů, za kterým stojí horninové prostředí, je limit posunut na hodnotu 350 mg/l podle normy ČSN 83 0611 [9]. Při překročení hodnoty 250 mg/l způsobují chloridy slanou chuť vody [11].

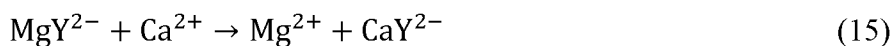
Příčinou zvýšeného obsahu chloridů je také solení silnic. Provádí se v zimních měsících za účelem zvýšení bezpečnosti provozu. Tato sůl se dostává do blízkých povrchových vod a poškozují funkce ekosystému a znečišťuje zdroje pitných vod. Představuje problém zvláště pro majitele studní [14].

Další negativní vlastností vod s obsahem chloridů jsou zvýšené korozivní účinky. Zasaženy jsou především ocel a litiny. Míru koroze lze popsat Larsonovým indexem, což je veličina, která vyjadřuje vztah mezi sírany a chloridy ve vodě. Zjistilo se, že vyšší koncentrace chloridů oproti síranům mají za následek galvanickou korozi. Při kontaktu s ocelí sírany chrání proti korozi tvorbou povlaku. Chloridy naopak znemožňují tvorbu ochranného povlaku a podporují vznik galvanického proudu. Díky chloridům může také docházet k vymývání kovů z potrubí a v důsledku toho k vysokým hodnotám kovových iontů ve vodě [14].

je zajištěna látkou, kterou je eriochromová čerň T. Správná funkce indikátoru vyžaduje pH 10, což je udržováno pomocí amoniakálního pufru. V roztoku se nejdříve tvoří červená sloučenina $MInd^-$. Po přidavku EDTA vznikají komplexy kovů s Chelatonem, které jsou bezbarvé. Při dosažení bodu ekvivalence dochází k zbarvení roztoku do ocelově modré barvy, kterou způsobuje uvolněný indikátor $HInd^{2-}$. Tyto děje jsou vyjádřeny rovnicemi (13) a (14) [9].



Ostrost barevné změny je snížena v případě malé koncentrace hořečnatých iontů. Tomu lze předejít přidavkem hořečnatého chelátu v amoniakálním pufru. Princip je takový, že dochází k náhradě hořečnatých iontů v nestabilním chelátu za vápenaté ionty. Rovnice popisující výměnu iontů je popsána výrazem (15) [9].

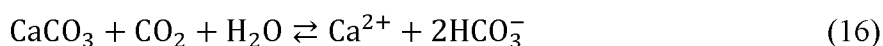


Barevná změna je zřetelnější při přeměně $MgInd^-$ na $Hind^{2-}$ než kdyby při přeměně na $Hind^{2-}$ přecházela sloučenina $CaInd^-$. Udržování pH na hodnotě $10 \pm 0,1$ a přítomnost hořečnatého kationtu je důležitou podmínkou pro správný průběh stanovení. Pokud se provádí analýza 100 ml vzorku, tak výsledek lze očekávat s přesností 0,05 mmol/l. Podzemní, povrchové, odpadní, mineralizované vody se tímto způsobem dají stanovovat. Nevýhodou této metody je, že se spolu s hořčíkem a vápníkem titrují baryum i stroncium a způsobují zvýšenou hodnotu výsledku. Proto je nutné některé ionty, které ruší stanovení maskovat. Maskování může být zajištěno například přidavkem sulfidu sodného [9].

Dále je možnost stanovovat hořečnaté a vápenaté kationty zvlášť. To se provádí tak, že se nejprve stanoví obsah vápníku titrací Chelatonem 3 při pH 12–13. Jako indikátor se používá směs látek, kam patří murexid, fluorexon a thymolftalexon. Poté se provede stanovení obou iontů a odčítáním hodnot od sebe získáme obsah hořčíku. Metoda pro stanovení samotného hořčíku využívá šťavelan, který se naváže na vápenaté ionty. Opět se titruje Chelatonem 3 a k indikaci bodu ekvivalence se znovu využívá eriochromová čerň T. Přidání šťavelanu se může provádět po stanovení vápníku. Další alternativou metod detekce množství hořčíku ve vodě je spektrofotometrické měření intenzity zbarvení roztoku, kde hořčík reaguje s titanovou žlutí. Vlnová délka, která je použita při stanovení je 550 nm. Nevýhodou této metody je však citlivost na okolní podmínky [9].

Podle vyhlášky 70/2018 Sb. je limitem pro vápník a hořčík hodnota 2-3,5 mmol/l. Jedná se o doporučenou hodnotu [4].

Rozložením sloučeniny amortitu s chemickým vzorcem $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_2$ nebo chloritu vyjádřeného jako $\text{Mg}_5\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_8$ se do vod uvolňuje vápník a hořčík. Další možností přechodu vápníku a hořčíku do vod je reakce vápence (CaCO_3) s vodou. Kromě vápence probíhá uvolňování výše uvedených iontů stejným způsobem i s dolomitem ($\text{CaCO}_3\cdot\text{MgCO}_3$), magnezitem (MgCO_3) nebo sádrovcem (CaSO_4). Rozklad hornin urychluje oxid uhličitý nacházející se ve vodě. Oba ionty se mohou také nacházet ve vodách, které vytékají jako odpadní z průmyslových závodů. V těchto podnicích se často využívají sloučeniny, ze kterých se ionty uvolňují. Příkladem těchto látek je hydroxid vápenatý, oxid hořečnatý nebo vápenec [5]. Další funkcí oxidu uhličitého ve vodě je udržování rovnovážného stavu reakce, vyjádřené rovnicí (16).



Tato reakce ovlivňuje množství vápníku a hořčíku ve vodě [9].

Samostatné ionty hořečnaté a vápenaté se nacházejí ve vodách s nízkou mineralizací. Ke vzniku iontových asociátů dochází ve vodách bohatých na sírany a hydrogenuhličitany. Příkladem iontového asociátu je $[\text{MgCO}_3(\text{aq})]^0$, $[\text{MgOH}]^+$, $[\text{MgHCO}_3]^+$ nebo $[\text{MgSO}_4(\text{aq})]^0$. Kationtem v těchto sloučeninách může být samozřejmě i vápník. Příkladem vod s vysokým obsahem síranů a hydrogenuhličitanů jsou vody důlního průmyslu nebo vody, které byly upravovány přísadkami sody a vápna. Průměrný obsah obou iontů v pitných vodách v České republice se pohybuje přibližně na hodnotách 50 mg/l vápníku a 10 mg/l hořčíku. Hodnota vápníku v minerálních vodách se u nás pohybuje pod 1000 mg/l. Příkladem vod s vysokým obsahem obou iontů je pramen Sv. Kříž na Sivé Bradě s obsahem 950 mg/l vápníku a 350 mg/l hořčíku. Vápníku je běžně ve vodách více než hořčíku. Důvodem je nižší množství hořčíku v zemské kůře. Hořčík slouží také rostlinám k výživě a váže se na povrch hornin. Výjimkou je voda Magnesia z Karlových Varů, kde je hořčík převažujícím iontem [5].

Mezi prvními poznatky ohledně vlivu tvrdosti vody na zdraví člověka byl výrok, který tvrdil, že čím je voda tvrdší tím má příznivější vliv na arterie neboli tepny. Toto tvrzení bylo časem bráno jako zastaralé, ale v dnešní době dochází k jeho oživení. V minulosti byly prováděny nejrůznější studie, které se zabývaly vlivem tvrdosti pitné vody na cévní systém a onemocnění srdce. Ve většině studií bylo potvrzeno, že měkká voda má souvislost se zvýšeným rizikem těchto nemocí [17, 18].

Kationtem zaujímavým druhé místo v důležitosti iontů nacházejících se uvnitř buněk je hořčík. Lidské tělo obsahuje 0,043 % a nejvíce se nachází v kostech a potom také ve svalech. Množství hořčíku, které přijmeme pomocí přechodu přes stěnu střev závisí na druhu potravy. Dospělý člověk by měl denně přijmout asi 365 mg hořčíku [19]. Hořčík má v lidském těle důležité funkce, kterými je například aktivace reakcí se sloučeninami na bázi enzymů. Za jeho přítomnosti vznikají proteiny nebo nukleové kyseliny. Účastní se přeměn ATP. Napomáhá prvkům jako je sodík nebo draslík přecházet přes membrány. Je protichůdně působícím iontem vápníku [17, 20]. Dostatečným příjmem hořčíku můžeme zabránit křečím. Jeho přítomností v těle může být také podpořeno působení analgetik. Při nízkém obsahu v potravě vzniká jeho deficit, který může vyvolat různé negativní projevy. Prvním projevem je bolest hlavy, dalšími jsou pocit slabosti, nesoustředěnost, nervózní chování nebo špatná nálada. Dále můžeme pociťovat křeče v nohách. Také srdeční rytmus může být narušen nedostatkem hořčíku. V nejhorším případě může dojít i k infarktu myokardu [19, 20]. Cukrovka druhého typu nebo řídnutí kostní tkáně je dalším možným důsledkem. U těhotných žen existuje mimo jiné riziko preeklampsie [17, 20]. K hypermagnesémii dochází při jednorázové dávce vyššího množství hořčíku. Může se to projevovat nízkým tlakem, návaly horka nebo poklesem dechové frekvence. Pokud netrpíme nedostatkem hořčíku není nutné ho ve větší míře doplňovat. Může dojít k nežádoucím účinkům na naše zdraví [20].

Prvkem účastnícím se různých biochemických pochodů v organismu je vápník [21]. Vápník zajišťuje celistvost kostí, dále se nachází v zubech. Má mnoho důležitých funkcí v těle, kterými je například tlumení dráždivosti svalů. Například stahy svalů a srdce jsou jím také ovlivněny. Dále slouží k transportu informace mezi buňkami. Hraje důležitou roli při srážlivosti krve, kde se účastní přeměny látek [17]. Do těla je přijímán přes zažívací trakt. V kostech se nachází ve formě hydroxyapatitu [21]. Denně bychom měli přijmout kolem 800 mg vápníku. U lidí trpících jeho nedostatkem se může vyvinout osteoporóza, která se vyznačuje řídnutím kostí. Může docházet ke zlomeninám v důsledku jejich křehkosti. Dalším příznakem může být zvýšení krevního tlaku neboli hypertenze. Osteomalacie je další nemocí z nedostatku vápníku a způsobuje měknutí kostí [17, 21]. Při nadměrné exkreci vápníku z těla se mohou utvořit kameny v ledvinách [21].

Obsah hořčíku a vápníku ve vodách je nezbytný i z důvodu dnešní nedostatečné přítomnosti v naší potravě. Velký úbytek významných prvků z pokrmů může být způsoben při používání měkké vody k vaření. Během toho můžeme přijít až o 60 % vápníku. Lze tomu

zabránit používáním tvrdé vody, která může i zvyšovat obsah vápníku v potravinách. Z tohoto důvodu je příjem těchto dvou prvků v pitných vodách důležitý [17].

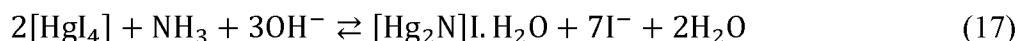
Chuť vody se může odvíjet od její tvrdosti. Při 500 mg/l vápníku se nám chuť vody může jevit jako nepříjemná. Nahořklost vody způsobuje hořčičk při hodnotách nad 170 mg/l, který se nachází ve vodě spolu se sírany a chloridy. Voda s nízkou tvrdostí také nemá příjemnou chuť [17].

1.5. Amonné ionty

Obsah amonných iontů NH_4^+ spolu s amoniakem NH_3 zahrnuje parametr, který se nazývá amoniakální dusík [5]. Jejich poměr ve vodě závisí na pH prostředí. Při neutrálním pH a teplotě 20 °C voda obsahuje amonný iont. V silně zásadité oblasti pH se ve vodě nachází více amoniaku ve formě hydrátu. Stejně množství hydrátu a amonného iontu se nachází ve vodách zhruba při hodnotě pH 9,3 [9]. Vliv na přechod z nedisociované formy v disociovanou má i teplota [5, 9].

Pro standartní rozbor vod je stanovení amoniakálního dusíku důležité. Vody, které ho obsahují byly pravděpodobně znečištěny odpadními látkami živočišného nebo rostlinného původu. Je ukazatelem, který upozorňuje na možný průnik fekálií do vod [5, 9].

Amonné ionty lze stanovit například absorpční spektrofotometrickou metodou za přítomnosti Nesslerova činidla. Měří se intenzita zbarvení vzniklého žlutohnědého roztoku. Rovnice reakce, která při stanovení probíhá je vyjádřena následovně: (17).



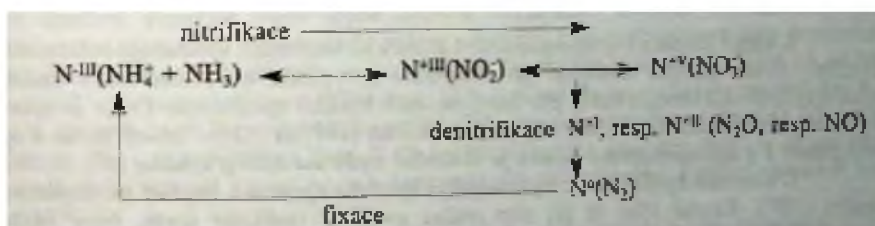
Problémem této metody je, že se pracuje s rtutí, která je toxická [9].

Další možnou alternativou metod stanovení amoniakálního dusíku je použití iontově selektivní elektrody. Aplikuje se především při nízkém obsahu minerálních látek ve vodách a její využívání je typické spíše pro geologii [9, 15].

Amoniakální dusík nepochází z horninového prostředí. Vzniká při rozkladu těl živočichů nebo rostlin. Do vod se dostává také vlivem činnosti člověka. Vyšší hodnoty amoniakálního dusíku obsahují splaškové vody nebo vody ze zemědělství. Důvodem zvýšení obsahu amoniaku v povrchových vodách může být i chov dobytka. Amoniak je rovněž součástí zemědělských hnojiv, neboť je výchozí surovinou při jejich výrobě [5]. Dále se může také uvolňovat do vody z malty na bázi cementu [11].

Pokud do vod nepronikají fekálie tak se podzemní vody vyznačují nízkým obsahem amoniakálního dusíku. V České republice se hodnoty celkového amoniakálního dusíku pohybují okolo 0,09 mg/l pro vodu, která se nachází v podzemí. Na povrchu mají vody obvykle hodnoty 0,12 mg/l [5].

Amonné ionty se mohou ve vodě přeměňovat za přítomnosti kyslíku a mikroorganismů na dusičnany a dusitany. Tomuto procesu se říká nitrifikace. V bezkyslíkatém prostředí pak může docházet k redukci. Následuje proces, který nese název denitrifikace a jeho produktem je elementární dusík. Schéma přeměny jednotlivých forem dusíku je znázorněno na obrázku 2.



Obrázek 2 – Schéma přeměny jednotlivých forem dusíku [5]

Nitrifikace se účastní bakterie rodu Nitrosomonas nebo Nitrobacter [5].

Amoniak způsobuje zápach vody při koncentraci nad 1,5 mg/l. Amonný iont má práh chuti roven obsahu 35 mg/l. Nepatří mezi karcinogenní látky [15]. V pitných vodách se vyskytuje většinou v malém množství, a proto nepředstavuje zdravotní riziko pro obyvatelstvo [5]. Jeho účinky se projevují až při koncentraci 200 mg/kg hmotnosti jedince. V důsledku jeho přítomnosti také může dojít ke snížení účinnosti dezinfekce [11].

Z hlediska životního prostředí je amoniak nebezpečný především pro ryby. Škodlivě se projevuje jeho nedisociovaná forma. Pro kaprovité ryby nesmí množství amoniaku ve vodě přesáhnout hodnotu 0,05 mg/l [5].

Předepsaný limit amonných iontů v pitných vodách je 0,50 mg/l (MH) [4].

1.6. Dusičnany

Dusičnany jsou sloučeniny, které slouží k výživě rostlin a rostliny je také obsahují. V přírodě se s nimi běžně setkáme. Mohou se redukovat na méně stabilní dusitany, které se v životním prostředí nacházejí v nižších koncentracích [11].

Stanovení dusičnanů patří k základnímu rozboru a provádí se u všech typů vod. Výsledné hodnoty se uvádí v mg/l. Ke zjištění obsahu dusičnanů lze použít spektrofotometrické metody, které se dělí na přímé a nepřímé. Stanovovat dusičnany přímo lze jejich převedením

na kyselinu dusičnou, která následně reaguje s organickými látkami aromatického charakteru za vzniku nitrolátek, které mají žlutou barvu. Činidlem může být například salicylan sodný [9].

Nepřímý způsob je založen na dvou krocích. Nejprve se provede redukce dusičnanů za pomoci vhodného činidla. Při jeho výběru záleží na tom, jestli mají vznikat dusitany nebo amoniak. V prvním případě je vhodným činidlem kadmiová amalgama (Jonesův reduktor) v prostředí chloridu amonného. V druhém případě se redukce provádí v zásaditém prostředí za přítomnosti Dewardovy slitiny, přičemž následuje stanovení amoniaku (viz výše). Polarografie může být u stanovení dusičnanů také užitečná. Při tomto stanovení se užívá jako indikační kapková rtuťová elektroda. Při vhodném potenciálu na jejím povrchu dochází k redukci dusičnanů, což se projeví proudovou odezvou ve tvaru píku, jehož výška odpovídá kvantitě. Pro toto stanovení je nezbytná přítomnost ceritých iontů jako katalyzátoru. Dále lze použít i iontově selektivní elektrody [9].

Dusičnany se nachází v pitných, povrchových i odpadních vodách. Jsou součástí dusíkatých hnojiv a dostávají se do vod vlivem jejich nadměrného používání. Dále jsou obsaženy ve fekáliích, které mohou do vod prosakovat ze septiků. Přírodní příčinou vstupu dusičnanů do vod jsou rostliny [11]. Prostředím, které způsobuje jejich zvýšený obsah v podzemních vodách je například borový les s písčitou půdou nebo akátové porosty. Humus tvořící se pod akáty je obohacený o sloučeniny na bázi dusíku. Množství dusičnanů ve vodách je závislé na ročním období. V zimních měsících je jejich obsah vyšší z důvodu zvýšeného přechodu dusičnanů z půdy do vod. V létě jsou ve vodách spotřebovávány rostlinami a nacházejí se v nich v nižších množstvích. Koncentrace dusičnanů je také ovlivněna způsobem obdělávání půdy [5].

Pitná voda není jediným zdrojem dusičnanů, které člověk přijímá. Zelenina jich obsahuje daleko více a dusičnany se také vyskytují v masných výrobcích. Tyto látky nejsou samy o sobě nebezpečné. Problémem je až jejich přeměna v lidském organismu [11]. Bakterie v trávicím traktu jsou zodpovědné za přeměnu dusičnanů na dusitany. Ty se následně dostávají do krve a tam působí na krevní barvivo hemoglobin [22]. Dvojmocné železo nacházející se ve struktuře hemoglobinu se za působení dusitanů oxiduje na trojmocné a následně dojde k obsazení volného koordinačního místa iontem OH^- a vzniká tak methemoglobin, který již nemůže přenášet kyslík do organismu [23]. Pokud se přemění víc jak 10 % hemoglobinu na methemoglobin začnou být zřetelné první příznaky nedostatečného okysličení organismu [24]. Toto onemocnění se nazývá methemoglobinémie. Při nedostatečném zásobování kyslíkem

dochází k tomu, že se kůže a prsty mohou zbarvit do modra. Nemoc je nebezpečná zejména pro děti v kojeneckém věku [22]. U dětí patří mezi další příznaky ospalost, častý pláč. Mohou být málo aktivní. Kojenci jsou ohroženou skupinou díky následujícím faktorům. Mají zásaditější pH žaludku, a proto se v něm nachází více bakterií vytvářejících dusitan. V krvi mají hemoglobin, který se snáze přeměňuje na methemoglobin. Dále mají nižší hladinu enzymu, který umí methemoglobin přeměňovat zpátky na hemoglobin [24].

Ve vyhlášce č.252/2004 byl dříve stanoven limit dusičnanů pro kojence, který měl hodnotu 15 mg/l. Pro dospělého člověka je dán limit 50 mg/l NMH (nejvyšší mezní hodnota). Limit pro kojence již není ve vyhlášce uveden. Zjistilo se, že voda s hodnotou nižší než 50 mg/l a bez mikrobiálního znečištění nepředstavuje pro kojence riziko [22]. Pokud voda obsahuje mikroorganismy může být methemoglobinémie provázena infekcí trávicího traktu, která průběh onemocnění u dětí značně zhoršuje [11].

Existují studie o tom, že dusičnany způsobují mnohá další onemocnění. Například mohou v žaludku vznikat N-nitrososloučeniny, které mají za následek rakovinné bujení [24]. Pro tvrzení, že dusičnany způsobují rakovinu nebylo dosud shledáno dost důkazů, ale některé N-nitrososloučeniny mají prokazatelné karcinogenní účinky. Díky těmto závěrům IARC zařadila dusičnany a dusitany, které způsobují vznik N-nitrososloučenin, do skupiny 2 A. Tato skupina zahrnuje látky, u kterých je karcinogenní účinek na člověka pravděpodobný [11]. Dusičnany by mohly také přispívat ke vzniku zdravotních obtíží jako je zvýšený krevní tlak, cukrovka nebo mohou zvyšovat riziko potratu. Dále mohou mít vliv na úmrtnost dětí, přispívat ke vzniku vrozených vad centrální nervové soustavy a působit na obranyschopnost organismu [24].

Nevhodnější prevencí průniku dusičnanů do pitných vod je zamezení antropogennímu vstupu do životního prostředí. Je potřeba omezit aplikaci hnojiv a záleží také na způsobu skladování přírodních nebo uměle vyráběných hnojiv. Dále je důležité předcházet blízkému kontaktu zdrojů pitné vody se septiky nebo jímkami. Studny by se neměly stavět v jejich okolí. Pokud již ve studni máme vysokou koncentraci dusičnanů nabízí se několik řešení. Prvním způsobem snížení jejich koncentrace mohou být iontoměniče nebo je lze odstranit pomocí elektrodialýzy. Častým problémem těchto metod jsou však vysoké náklady a nesnadná likvidace některých odpadních produktů [11].

Zemědělství je hlavním antropogenním zdrojem dusičnanů ve vodách. K jejich regulaci slouží nitrátová směrnice. Je součástí zákona o vodách č. 254/2001 Sb. Jejimi cíli je prevence

znečištění, zmírnění již existujícího znečištění a zamezení eutrofizace vod. Dále jsou vymezovány zranitelné oblasti. Na těchto územích je zakázána nadměrná aplikace hnojiv a je nařízeno vysazování různorodých rostlin. To působí jako prevence proti erozi půdy. Opatření slouží k tomu, aby nedocházelo k zhoršování stavu znečištění v dané lokalitě. Zranitelné oblasti jsou jednou za 4 roky přezkoumávány [25].

Na základě výše uvedených skutečností se jeví jako nanejvýš potřebné důsledně kontrolovat kvalitu pitných vod, zvláště pak vod ze studní, které nepodléhají pravidelné kontrole příslušnými institucemi.

2. Experimentální část

2.1. Chemikálie a roztoky

Ke stanovení CHSK byl připravován $0,002 \text{ mol.l}^{-1}$ KMnO_4 z pevné substance čistoty p. a. (Lachema, Brno) a destilované vody. Aktuální koncentrace byla zjišťována standardizací pomocí $5,27 \cdot 10^{-3} \text{ mol.l}^{-1}$ kyseliny šťavelové, která sloužila také ke stanovení parametru CHSK. Byla připravena z definovaného množství pevné soli $\text{C}_2\text{H}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ čistoty p. a. (Lachema, Brno) a následným rozpuštěním v destilované vodě. K zajištění potřebné kyselosti prostředí k prováděným titracím byla využívána kyselina sírová p. a. (96 %, Penta), která byla předem ředěna vodou v poměru 1:2.

Titrační stanovení chloridových iontů probíhalo pomocí standardního roztoku AgNO_3 o koncentraci $0,049 \text{ mol.l}^{-1}$, který byl připraven navážením pevné látky čistoty p.a (Lachema, Brno) a rozpuštěním v destilované vodě. Přesná koncentrace byla zjišťována pomocí roztoku základní látky NaCl (p. a. Lachema, Brno) o koncentraci $0,05 \text{ mol.l}^{-1}$. Jako indikátor sloužil 5 % ní roztok K_2CrO_4 .

Tvrdoost vody byla stanovována chelatometricky s využitím odměrného roztoku Chelatonu 3 o koncentraci $0,05 \text{ mol.l}^{-1}$. Pro přípravu tohoto roztoku bylo použito potřebné množství pevného Chelatonu 3 dihydrátu $\{\text{C}_{10}\text{H}_{14}\text{O}_8\text{N}_2\text{NO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}\}$ (p. a. Lachema, Brno), které bylo rozpuštěno a doplněno destilovanou vodou na definovaný objem. Stanovení vápenatých a hořečnatých iontů probíhalo v prostředí tlumivého roztoku amonného pufru o pH 10, který byl připraven smísením roztoku 1 a 2. Roztok 1 byl připraven rozpuštěním chloridu amonného za horka ve 100 ml vody, přidáním 350 ml vodného roztoku amoniaku a doplněním destilovanou vodou na objem 500 ml. Při přípravě roztoku 2 se navázilo 0,896 g $\text{C}_{10}\text{H}_{12}\text{MgN}_2\text{Na}_2\text{O}_8$ chelatonátu disodno-hořečnatého (lze použít i 0,977g $\text{C}_{10}\text{H}_{12}\text{K}_2\text{MgN}_2\text{O}_8$ chelatonát didraselno-hořečnatý) a rozpustilo se v 200 ml destilované vody. Směs roztoků 1 a 2 byla poté doplněna na objem 1000 ml. Bod ekvivalence byl určován pomocí metalochromního indikátoru Eriochromové černě T.

K převedení amonných iontů na NH_3 byl ke vzorku vody přidán roztok 4M NaOH , který byl připraven navážením pevného NaOH (p. a., Penta) a jeho rozpuštěním v destilované vodě. Titrace uvolněného amoniaku se prováděla pomocí cca $0,10 \text{ mol.l}^{-1}$ HCl , připravené ředěním 35 % ní kyseliny čistoty p.a (Penta).

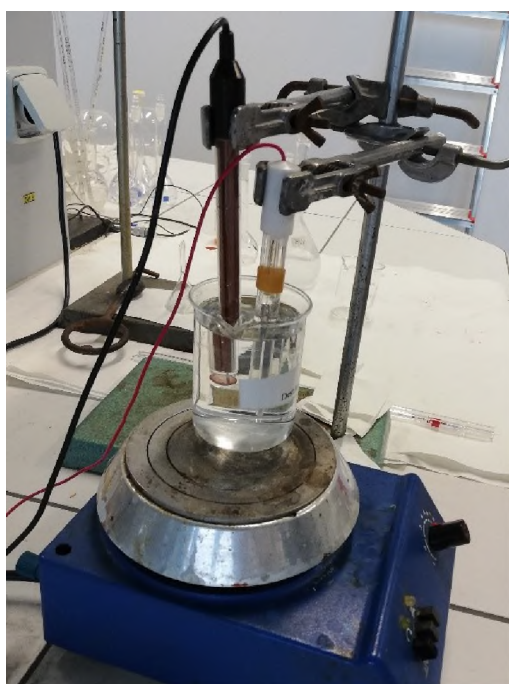
Ke stanovení dusičnanů kromě výše uvedených chemikálií byla užita Dewardova slitina (p.a., Merck), která se skládá z cca 50 % mědi, cca 45 % hliníku, cca 5 % zinku a obvykle stopového množství dusíku.

2.2. Použité metody a zařízení při stanovení vybraných parametrů vody

pH vzorků vod bylo měřeno pomocí přístroje MV 870 Pracitronic, který je znázorněn na obrázku 3. Elektrochemický měrný článek viz obrázek 4 se skládal ze skleněné indikační elektrody a z referentní kalomelovy elektrody (obojí Monokrystaly Turnov, ČR).



Obrázek 3 – Přístroj pro měření pH MV 870 Pracitronic



Obrázek 4 – Elektrochemický měrný článek při stanovení pH

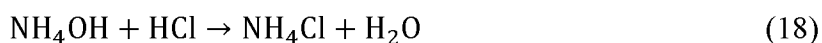
Ke stanovení CHSK bylo vždy dávkováno 100 ml zkoumané vody, která se okyselila 5 ml H₂SO₄ (1:2). Po přidání 20 ml roztoku manganistanu draselného následoval 10minutový var. Poté bylo ještě k horkému roztoku přidáno 20 ml standardního roztoku kyseliny šťavelové. Vzniklý přebytek této kyseliny, který odpovídá spotřebovanému manganistanu na oxidaci organických látek, byl zpětně titrován standardním roztokem KMnO₄.

Hodnota CHSK byla vyhodnocena na základě spotřeby manganistanu po přepočtu na kyslík v jednotkách mg/l.

Chloridy byly stanovovány opět v objemu 100 ml vzorku. Po přidání 1 ml roztoku srážecího indikátoru K₂CrO₄ byla směs titrována cca 0,05 mol.l⁻¹ AgNO₃, standardizovaným pomocí 0,05 mol.l⁻¹ roztoku NaCl, do slabě hnědého zbarvení. Obsah chloridů byl vypočítán na základě vzniklé spotřeby a příslušné titrační stechiometrie a vyjádřen v mg/l.

Tvrdość vody byla stanovována odměřením 100 ml vzorku, který byl alkalizován 10 ml amoniakálního pufru. Po přidání indikátoru Eriochromové černě T došlo ke zbarvení směsi do růžovofialového odstínu. Následovala titrace 0,05 mol.l⁻¹ chelatonem do jasně modrého zbarvení. Spotřeba sloužila k výpočtu celkového obsahu Ca²⁺ a Mg²⁺ iontů, který se uvádí v mmol/l.

Obsah amonných iontů ve vzorcích vod byl stanovován s využitím simultánní spektrofotometricky sledované neutralizační mikrotitrace ve speciálním aparátu [26]. Použité zařízení je uvedeno na obrázku 5. Přítomný amoniak byl stripován vzduchem za varu z 50 ml vody alkalizované 10 ml roztoku NaOH o koncentraci 4 mol.l⁻¹ a byl zachycován do absorpčního roztoku složeného z 0,1 mol.l⁻¹ NH₄Cl s přísadou acidobazického indikátoru methylové červeně. Účinkem amoniaku docházelo ke zvyšování pH absorpční náplně, což se projevovalo změnou barvy – z červené do žluté. Toto bylo objektivně sledováno jednoduchým spektrofotometrickým systémem [26]. Následovala simultánní titrace amoniaku přidavky kyseliny chlorovodíkové z mikrobyrety do té doby, dokud se zbarvení absorpčního roztoku již neměnilo. Přitom probíhala následující reakce:



Obsah amoniaku v mg/l se vypočítal na základě celkové spotřeby kyseliny.



Obrázek 5 – Zařízení pro stanovení amoných iontů a dusičnanů

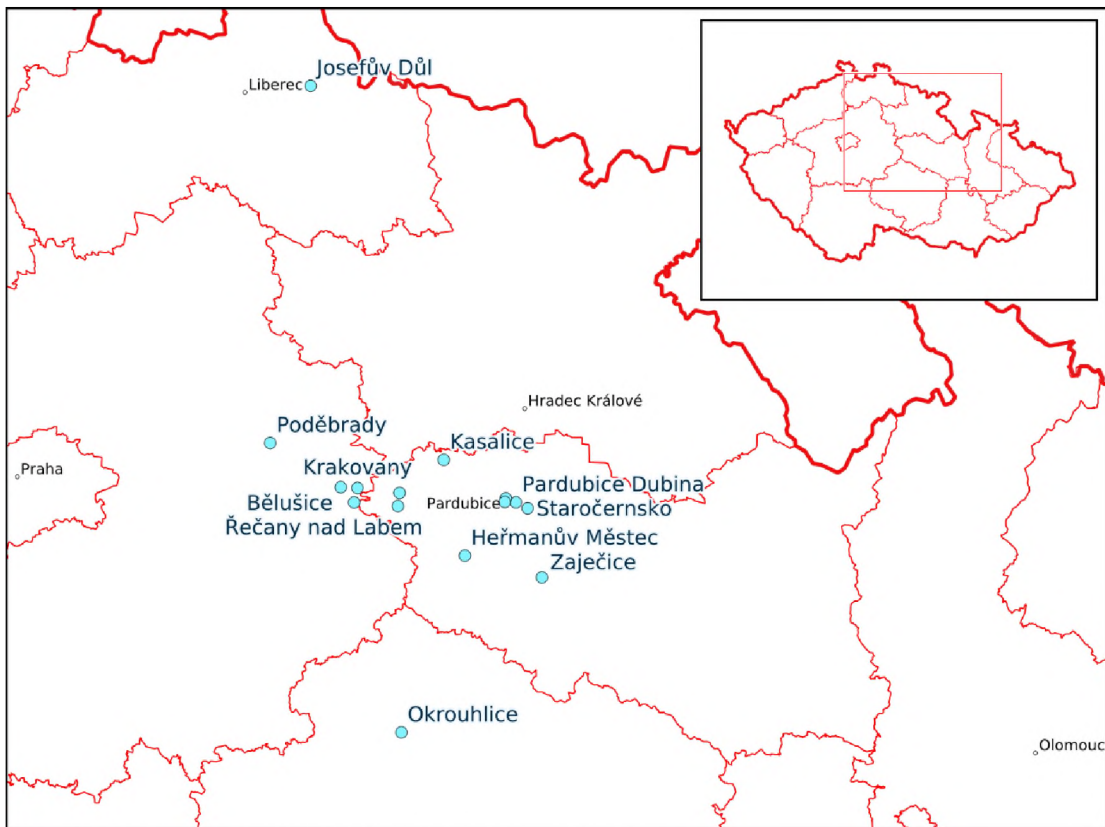
Po ochlazení alkalizované vody (zbytek po stanovení amoných iontů) bylo přidáno do reakční baňky 0,5g práškové Dewardovy slitiny. Po proběhlé reakci, kdy došlo k redukci přítomných dusičnanů vodíkem ve stavu zrodu na amoniak (viz rovnice č. 19) následná eliminace, absorpce a titrace amoniaku sloužily ke zjištění přítomnosti NO_3^- iontů ve vzorku vody.



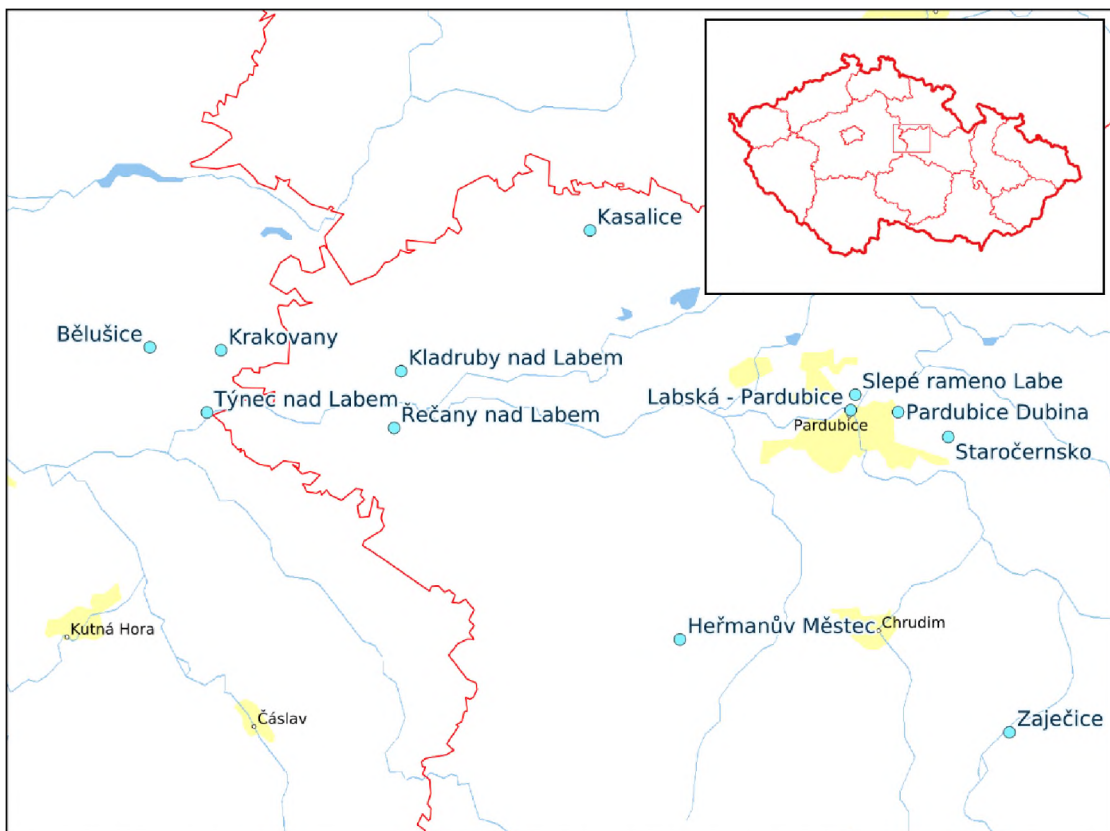
Výsledek se uváděl v mg/l.

2.3. Popis odběrových míst

Bylo odebráno celkem 20 vzorků z 15 lokalit, které jsou souhrnně zobrazeny na obrázku 6. Detailní umístění odběrových míst v okolí Pardubic je znázorněno na obrázku 7.



Obrázek 6 – Souhrnná mapa odběrových míst



Obrázek 7 – Detailní mapa odběrových míst v okolí Pardubic

Vzorky byly odebírány do 1,5 litrových plastových láhví. Po odběru byly uchovávány v lednici při teplotě 4 °C po nezbytně dlouhou dobu a dále následovala jejich analýza.

3. Výsledky a diskuse

V rámci experimentální části této bakalářské práce bylo analyzováno 20 vzorků studniční vody z 15 lokalit, které byly odebrány v časovém rozmezí od října 2019 do června 2020. V těchto vodách bylo stanoveno 6 vybraných parametrů, a to pH, chemická spotřeba kyslíku, chloridy, celková tvrdost, amonné ionty a dusičnany. Stanovené hodnoty jsou shrnuty v tabulce 2.

Tabulka 2 - Výsledky rozborů vzorků studniční vody

Místo odběru	Datum odběru	Výsledky rozboru studniční vody					
		pH	CHSK [mg O/l]	Cl ⁻ [mg/l]	Tvrdost [mmol/l]	NH ₄ ⁺ [mg/l]	NO ₃ ⁻ [mg/l]
Bělušice u Kolína 1	13. 10. 2019	7,31	3,13	46,47	2	0	24,27
Pardubice, Dubina	18. 10. 2019	7,20	0,96	110,74	5,93	0	28,8
Kasalice, Lázně Bohdaneč 1	22. 10. 2019	7,15	1,39	67,74	5,9	0	66,44
Týnec nad Labem 1	28. 10. 2019	6,71	2,57	29,53	0,48	0	8,6
Okrouhlice u Havlíčkova Brodu*	2. 11. 2019	6,07	1,43	8,69	0,4	0	3,03
Zaječice u Chrudimi	6. 11. 2019	7,12	1,45	76,43	5,35	0	30,4
Kasalice, Lázně Bohdaneč 2	12. 11. 2019	7,32	2,41	149,39	4,25	0	24,07
Slepé rameno Labe, chatová kolonie	12. 11. 2019	7,79	0,99	76,43	0,7	0,59	1,01
Staročernsko u Pardubic	12. 11. 2019	8,04	20,65	34,74	2,91	0	2,02
Poděbrady**	16. 11. 2019	5,7	1,59	444,68	18,25	4,12	2,02

Pokračování **Tabulky 2:**

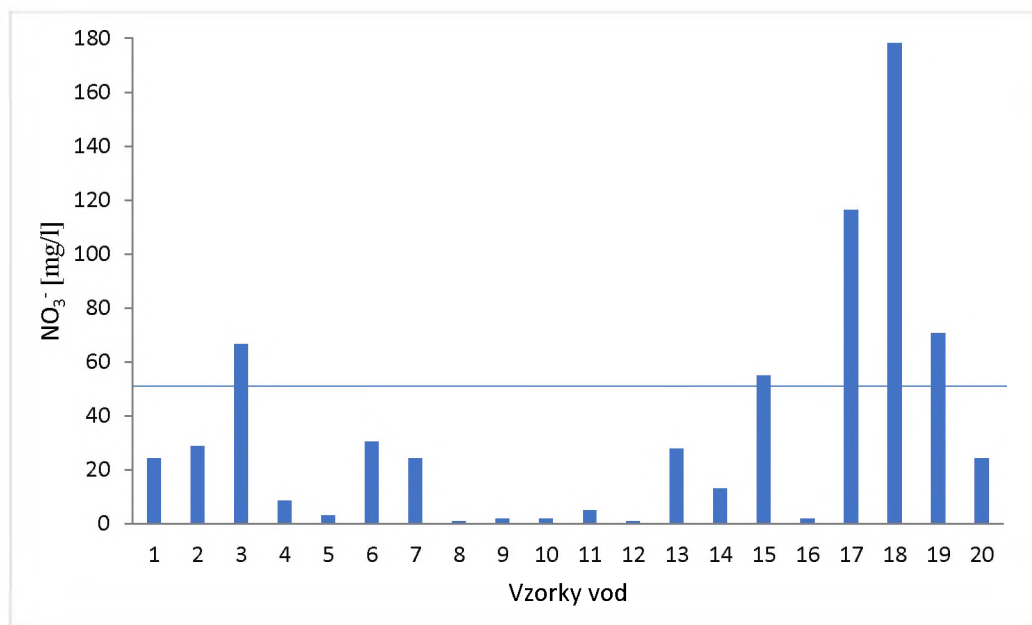
Místo odběru	Datum odběru	Výsledky rozboru studniční vody					
		pH	CHSK [mg O/l]	Cl ⁻ [mg/l]	Tvrdost [mmol/l]	NH ₄ ⁺ [mg/l]	NO ₃ ⁻ [mg/l]
Josefův důl, Jizerské hory	17. 11. 2019	6,53	1,2	9,85	0,45	0	5,06
Kladruby nad Labem	19. 11. 2019	6,01	1,81	237,98	0,34	1,18	1,01
Heřmanův Městec 1	27. 11. 2019	7,52	0,77	17,37	3,4	0	27,81
Labská, Pardubice	27. 11. 2019	7,12	2,32	72,1	3,3	0	13,15
Bělušice u Kolína 2	30. 11. 2019	7,34	0,58	22,58	4,75	0	55,01
Krakovany u Kolína	30. 11. 2019	7,43	0,27	38,22	4,45	0	2,02
Týnec nad Labem 2	1. 3. 2020	6,86	1,5	146,78	4,38	0,35	116,3
Bělušice u Kolína 3	1. 3. 2020	7,01	2,65	59,06	5,6	0	178,29
Řečany nad Labem	3. 6. 2020	7,33	2,5	54,16	3	0	70,8
Heřmanův Městec 2	3. 6. 2020	7,07	1,38	19,7	3	0	24,27

Poznámka: *studánka, **lázeňská voda.

Na základě uvedených výsledků lze konstatovat, že hodnoty pH všech analyzovaných vod leží v rozmezí povoleném vyhláškou č. 70/2018 Sb. Parametr CHSK, který reprezentuje především organické znečištění vod byl překročen oproti povolenému limitu ve dvou případech, a to nepatrně u vody z Bělušic 1 a velmi významně u vody ze Staročernska. Od majitele studny bylo zjištěno, že se jedná o studnu hlubokou cca 3-4 m v zastavěné oblasti a voda je pravděpodobně spíše povrchového původu. Obsah chloridů byl překročen u pěti vzorků, a to z Pardubic-Dubiny, z Kasalic 2, Kladrub, Týnce nad Labem 2 a z Poděbrad. Zvláště voda z poslední jmenované lokality vykazovala významný obsah Cl⁻, který překračoval povolený limit pitné

vody více jak 4krát. Jednalo se však o vodu minerální, kterou definuje lázeňský zákon č. 164/2001 Sb. Pro tuto vodu tak neplatí limity, které jsou uvedeny ve vyhlášce č.70/2018 Sb. Tvrdost vody, která ovlivňuje její chuť a při zvýšené hodnotě způsobuje technické problémy v domácnostech byla překročena u devíti testovaných vod, a to z Dubiny v Pardubicích, Kasalíc 1, Zaječic, Kasalíc 2, Bělušic 2, Krakovan, Týnce 2, Poděbrad a Bělušic 3. Významné překročení limitu bylo nalezeno opět u minerální vody z Poděbrad. Obsah amonných iontů byl nulový v 80 % vzorků. Jeden vzorek vykazoval mírně zvýšené množství, nepřesahující však povolený limit. U třech zbývajících byl limit obsahu NH_4^+ překročen, zvláště pak u vody z Poděbrad více jak 8krát.

Přítomnost nadlimitního množství dusičnanů byla nalezena u pěti vod, a to v lokalitách Kasalice 1, Bělušice 2 a 3, Týnec nad Labem 2 a Řečany. Zbývajících 75 % vzorků splňovalo předepsaný obsah z toho 8 vod nepřekročilo hodnotu 10 mg/l. Vzhledem k tomu, že dusičnany představují významný toxikologický ukazatel kvality pitných vod, byl jejich obsah v jednotlivých vzorcích za účelem jejich porovnání zpracován i graficky, což dokumentuje obrázek 8.



Obrázek 8 – Graf: Obsahy dusičnanů v jednotlivých vzorcích vod

Legenda k **obrázku 8**: (1)-Bělušice 1, (2)-Pardubice Dubina, (3)-Kasalice 1, (4)-Týnec n. L. 1, (5)- Okrouhlice, (6)-Zaječice, (7)-Kasalice 2, (8)-Slepé rameno Labe, (9)-Staročernsko, (10)-Poděbrady, (11)-Josefův důl, (12)-Kladruby, (13)- Heřmanův Městec 1, (14)-Labská Pardubice, (15)-Bělušice 2, (16)-Krakovany, (17)-Týnec n. L. 2, (18)-Bělušice 3, (19)-Řečany, (20)-Heřmanův Městec 2

Z obrázku je vidět, že nejvíce znečištěná voda (18), která překračuje povolený limit více jak 3krát, pochází z Bělušic 3 a podle vyjádření majitele je umístěna v blízkosti septiku. Také vzorek (17) cca 2krát překračuje povolenou mez. Podle sdělení vlastníků studny nebyla voda před odběrem průběžně čerpána.

Podle vyhlášky o kvalitě pitné vody č. 70/2018 Sb. platí, že obsahuje-li voda jeden nadlimitní ukazatel, musí být brána jako nepitná. Z tohoto pohledu vyplývá, že jen 25 % zkoumaných vzorků studniční vody obsahovalo pitnou vodu. Dále z výsledků vyplynulo, že minerální vody nejsou určeny k trvalému užívání, ale jen ke krátkodobému.

Závěr

První část bakalářské práce se zabývala teorií jednotlivých ukazatelů jakosti pitné vody. Byl zde popisován způsob jejich stanovení, jejich původ, limity omezující jejich obsah v pitných vodách a negativní účinky na lidské zdraví v případě překročení přípustných koncentrací. Jako první ukazatel bylo uvedeno pH. Dále se tato část věnovala chemické spotřebě kyslíku, chloridům, celkové tvrdosti vody, amonným iontům a dusičnanům.

Cílem experimentální části bylo stanovení všech zmíněných parametrů ve vzorcích studniční vody. Bylo zjištěno, že pH všech vzorků vod leží v povoleném rozmezí daném vyhláškou č. 70/2018. U parametru CHSK nevyhovovaly limitům 2 vzorky. Chloridy byly překročeny v 5 případech. Vyšší hodnoty tvrdosti mělo celkem 9 vzorků. Amonné ionty obsahovaly 4 vzorky, z toho pouze jedna hodnota byla v limitu daném vyhláškou. Poslední ukazatelem byly dusičnany a ty se vyskytovaly nadlimitně u 5 stanovovaných vod. Nejvíce však u vzorku Bělušice 3, kde se však studna nacházela v blízkosti septiku. Celkově se za pitné vody dalo označit 25 % stanovovaných vzorků. Zbývajících 75 % nevyhovovalo nejméně v jednom ukazateli.

Použitá literatura

1. MALÝ J., MALÁ J.: Chemie a technologie vody. Brno: Noel 2000, (1996), 197 s. ISBN 80-86020-13-4
2. LIEBLOVÁ D., MATĚJA Z.: Klimatické změny a hrozba nedostatku vody v České republice. In. Sborník z příspěvků z 11. mezinárodní vědecké konference "Veřejná správa" Univerzita Pardubice, (2016) ISBN 978-80-7560-041-7
3. KOŽÍŠEK F.: Studny jako zdroj pitné vody: Příručka pro uživatele domovních a veřejných studní. 2.vyd. Praha: Státní zdravotní ústav, (2003), 36 s. ISBN 80-7071-224-4
4. Vyhláška č 70/2018 Sb. ze dne 27. 4. 2018, kterou se mění vyhláška č. 252/2004 Sb., kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody, ve znění pozdějších předpisů.
5. PITTER P.: Hydrochemie. 3. přepracované vyd. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, (1999), 568 s. ISBN 80-7080-340-1
6. KŘÍŽENECKÁ S., SYNEK V.: Základy analytické chemie. (2014) [online]. [cit. 2020-07-06]. Dostupné z: http://fzp.ujep.cz/ktv/uc_texty/zach/zach.pdf
7. KULVEITOVÁ H.: Chemie II.: (chemie prvků). VŠB-Technická univerzita Ostrava, (2007), 152 s. ISBN 978-80-248-1322-6
8. TUČEK M. a kol.: Hygiena a epidemiologie pro bakaláře. Univerzita Karlova, Praha: Karolinum, (2012), 358 s. ISBN 978-80-246-2025-1
9. HORÁKOVÁ M., LISCHKE P., GRÜNWARD A.: Chemické a fyzikální metody analýzy vod. 2. vyd. Praha: Nakladatelství technické literatury, (1986), 389 s. ISBN 31.00
10. PIVOKONSKÝ M. a kol.: Úprava vody s obsahem huminových látek. Chem. Listy 104, (2010), 1015-1022
11. WORLD HEALTH ORGANIZATION: Guidelines for Drinking-Water Quality: Fourth Edition Incorporating the First Addendum. Geneva: World Health Organization, (2017), 631 s. ISBN 978-92-4-154995-0
12. SIROTIK M., MICHALÍKOVÁ A., BARTOŠOVÁ A.: Povrchovo aktívne látky a ich dopad na životné prostredie. In. Zborník medzinarodnej vedeckej konferencie. Bratislava. (2014) ISBN 978-80-89281-96-1

13. KUMAR M., PURI A.: A review of permissible limits of drinking water. *Indian Journal of Occupational and Environmental Medicine*. Kolkata: Medknow Publications, (2012), 16(1), 40-44, ISSN 09732284
14. PIEPER K. a kol.: Impact of Road Salt on Drinking Water Quality and Infrastructure Corrosion in Private Wells. *Environmental Science and Technology*. Easton: American Chemical Society, (2018), 52(24), 14078-14087, ISSN: 0013936X
15. WORLD HEALTH ORGANIZATION & INTERNATIONAL PROGRAMME ON CHEMICAL SAFETY: Guidelines for drinking-water quality, Vol. 2. Health criteria and other supporting information. 2 vyd. Geneva: World Health Organization, (1996), 973 s. ISBN 9241544805
16. KOŽÍŠEK F., JELIGOVÁ H.: Zdravotní význam sodíku ve vodách. [online] Praha: Státní zdravotní ústav. (2002). [cit. 2020-07-06] Dostupné z: <http://www.szu.cz/tema/zivotni-prostredi/zdravotni-vyznam-sodiku-ve-vodach>.
17. KOŽÍŠEK F.: Zdravotní význam „tvrdosti“ pitné vody. [online] 3. aktualizovaná verze. Praha: Státní zdravotní ústav, (2000). [cit. 2020-07-06] Dostupné z: <https://www.vak.cz/soubory/tvrdost.pdf>
18. KYNCL M.: Možnosti zvyšování obsahu hořčíku v pitné vodě. In: Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava. Řada hornicko-geologická, (2002), 9-12, ISSN 0474-8476
19. WILHELM Z.: Co je dobré vědět o hořčíku. *Praktické lékařství*. Solen, (2007), 3(3), 132-138, ISSN 1803-5329
20. ALLEN M. J., SHARMA S.: Magnesium. [online] In: StatPearls Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; (2020). [cit. 2020-07-06] Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK519036/#article-24640.s1>
21. DRAKE T. M., GUPTA V.: Calcium. [online] In: StatPearls. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; (2020) [cit. 2020-07-06] Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK557683/#article-80649.s1>
22. KOŽÍŠEK F.: Je vodovodní voda vhodná i pro kojence? *SOVAK: Časopis oboru vodovodů a kanalizací* 11, (2005), 29-31, ISSN 1210-3039
23. KARLSON P.: Základy biochemie. Praha: ACADEMIA, (1971), 474 s. ISBN 21-059-71

24. FEWTRELL L.: Drinking-water nitrate, methemoglobinemia, and global burden of disease: a discussion. *Environmental health perspective*, (2004), 112(14), 1371-1374, ISSN 1552-9924
25. HRABÁNKOVÁ A.: Ochrana vod před dusičnany ze zemědělství. *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace*, (2016), 58(5), 34-39, ISSN 1805-6555
26. CHÝLKOVÁ J., ŘÍHA V., ROSA A.: Automatická spektrofotometrická metoda stanovení mikrogramových množství dusičnanů. *Vodní hospodářství* 1, (1986), 25-27, ISSN 1211-0760