



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA CHEMICKÁ

FACULTY OF CHEMISTRY

ÚSTAV CHEMIE A TECHNOLOGIE OCHRANY ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

INSTITUTE OF CHEMISTRY AND TECHNOLOGY OF ENVIRONMENTAL PROTECTION

STANOVENÍ ANIONTŮ VE VODÁCH LESNÍCH STUDÁNEK POMOCÍ IONTOVÉ CHROMATOGRRAFIE

DETERMINATION OF ANIONS IN WATER OF FOREST SPRINGS USING ION CHROMATOGRAPHY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Soňa Kouřilová

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Lukáš Alexa, Ph.D.

BRNO 2024

Zadání bakalářské práce

Číslo práce: FCH-BAK1940/2023 Akademický rok: 2023/24
Ústav: Ústav chemie a technologie ochrany
životního prostředí
Studentka: **Soňa Kouřilová**
Studijní program: Environmentální chemie, bezpečnost
a management
Studijní obor: bez specializace
Vedoucí práce: **Ing. Lukáš Alexa, Ph.D.**

Název bakalářské práce:

Stanovení aniontů ve vodách lesních studánek pomocí iontové chromatografie

Zadání bakalářské práce:

- Zpracování literární rešerše na téma obsahu aniontů ve vodách a možnosti detekce.
- Analýza reálných vzorků z lesních studánek.
- Zpracování výsledků.

Termín odevzdání bakalářské práce: 20.5.2024:

Bakalářská práce se odevzdává v děkanem stanoveném počtu exemplářů na sekretariát ústavu.
Toto zadání je součástí bakalářské práce.

Soňa Kouřilová
studentka

Ing. Lukáš Alexa, Ph.D.
vedoucí práce

prof. Ing. Jozef Krajčovič, Ph.D.
vedoucí ústavu

V Brně dne 1.2.2024

prof. Ing. Michal Veselý, CSc.
děkan

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zaměřuje na stanovení aniontů ve vodách z lesních studánek pomocí iontové chromatografie. Cílem studie byla analýza běžně se vyskytujících aniontů obsažených ve studánkových vodách, které mohou ovlivňovat kvalitu pitné vody. Pro separaci a kvantifikaci aniontů byla použita metoda iontové chromatografie. Práce zahrnuje odběr vzorků z 25 lesních studánek v okolí města Brna. Vzorkování probíhalo v jarní a podzimní kampani (od 30.5. do 13.6. 2023 a od 26.9. do 11.10. 2023). Teoretická část obsahuje informace o analytických metodách se zaměřením na stanovení aniontů ve vodách. V experimentální části jsou uvedeny výsledky a diskuse poskytující důležité informace o chemickém složení vody ve vybraných studánkách. Výsledky měření mohou sloužit jako základ pro ochranu a monitorování pitné vody v lesním prostředí.

ABSTRACT

The bachelor thesis is focused on the determination of anions in water from forest springs by ion chromatography. The aim of the study was the analysis of common anions contained in spring waters that may affect the quality of drinking water. The ion chromatography method was used to separate and quantify the anions. The work involves the collection of samples from 25 forest springs in the surroundings of Brno. The sampling was carried out in spring and autumn campaigns (from 30 May to 13 June 2023 and from 26 September to 11 October 2023). The theoretical part contains information on analytical methods with application in determination of anions in waters. In the experimental part, results and discussion are presented providing important information on the chemical composition of the water in targeted springs. The results can serve as a basis for protection and monitoring of drinking water in forest environments.

KLÍČOVÁ SLOVA

iontová chromatografie, vzorkování vody, anionty, studánka, analýza vody

KEYWORDS

ion chromatography, water sampling, anions, spring, water analysis

KOUŘILOVÁ, Soňa. Stanovení aniontů ve vodách lesních studánek pomocí iontové chromatografie. Brno, 2024. Dostupné také z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/156642>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, Ústav chemie a technologie ochrany životního prostředí. Vedoucí práce Lukáš Alexa.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracovala samostatně a že všechny použité literární zdroje jsem správně a úplně citovala. Bakalářská práce je z hlediska obsahu majetkem Fakulty chemické VUT v Brně a může být využita ke komerčním účelům jen se souhlasem vedoucího práce a děkana FCH VUT.

.....
Soňa Kouřilová

PODĚKOVÁNÍ

Chtěla bych poděkovat vedoucímu mé bakalářské práce panu Ing. Lukáši Alexovi, Ph.D. za jeho odborný dohled, cenné rady, ochotu a trpělivost, kterou mi v průběhu zpracování práce věnoval. Dále bych ráda poděkovala doc. Mgr. Renatě Komendové, Ph.D. za její cenné připomínky k mé práci.

OBSAH

1 ÚVOD	7
2 CÍLE PRÁCE	8
3 TEORETICKÁ ČÁST	9
3.1 Hydrosféra	9
3.2 Rozdělení přírodních vod	9
3.2.1 Atmosférické vody	10
3.2.2 Povrchové vody	10
3.2.3 Podzemní vody.....	10
3.3 Vybrané ukazatele sledované u pitné vody	12
3.3.1 Kationty.....	13
3.3.2 Anionty	14
3.3.3 Organické látky	17
3.4 Vzorkování pitné vody	17
3.4.1 Plán odběru vzorků	17
3.4.2 Vzorkovnice	18
3.4.3 Odběr vzorků	18
3.4.4 Uchovávání vzorků a transport do laboratoře	19
3.5 Analytické metody pro stanovení aniontů ve vodách	19
3.5.1 Volba analytické metody	19
3.5.2 Iontová chromatografie	19
3.5.3 Elektromigrační metody.....	20
3.5.4 Průtoková analýza	20
4 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	21
4.1 Použité chemikálie	21
4.2 Přístroje a zařízení	22
4.3 Pracovní postupy	22
4.3.1 Výběr lesních studánek pro analýzu vody	22
4.3.2 Vzorkování vody.....	25
4.3.3 Stanovení koncentrací aniontů pomocí IC	25
4.3.4 Příprava standardních roztoků	27
4.4 Předběžná měření	28
4.4.1 Ověření stability vzorků při jejich skladování	28
4.4.2 Porovnávací měření pomocí IC a průtokového analyzátoru NO_3^-	29

5 VÝSLEDKY A DISKUZE	32
5.1 Fyzikálně-chemické parametry	32
5.2 Koncentrace aniontů	35
6 ZÁVĚR	44
7 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	45
8 SEZNAM ZKRATEK	48
9 SEZNAM PŘÍLOH	49
10 PŘÍLOHY	50

1 ÚVOD

Vodu lze považovat za jednu ze základních složek pro udržení života a stability životního prostředí na naší planetě. Je také hlavní surovinou pro průmyslovou výrobu, nezbytnou pro lidskou spotřebu a zároveň médium pro přenos domácího i průmyslového znečištění. Různé směrnice poskytují rámec pro kontrolu znečišťujících látek ve vodách, požadavcích na kvalitu vody ke koupání, parametry pro povrchové a pitné vody, kontrolu odpadních vod a další [1], [2].

Jedním z důležitých aspektů sledování kvality pitné vody je koncentrace rozpuštěných aniontů. Anionty jsou negativně nabitě ionty. Mezi nejvíce přirozeně ve vodě zastoupené patří převážně chloridy, dusičnany, dusitany, sírany a další. Jejich zvýšená koncentrace může ovlivnit jak lidské zdraví, tak i životní prostředí [1], [3].

Lesní studánky představují i v dnešní době významný zdroj pitné vody. Svou historickou tradicí a ekologickým přínosem jsou tyto studánky klíčovým prvkem pro místní obyvatele a životní prostředí. Voda z těchto zdrojů slouží nejen pro lidskou spotřebu, ale také pro udržení biodiverzity a ekosystémové rovnováhy. Avšak současně s rostoucím lidským vlivem na krajinu mohou být lesní studánky ohroženy negativními vlivy, které ovlivňují kvalitu vody.

Cílem této práce bylo provést stanovení koncentrací aniontů obsažených ve vodách z lesních studánek v širším okolí města Brna pomocí iontové chromatografie. Tato moderní analytická metoda umožňuje přesné a citlivé stanovení různých aniontů ve vzorcích vody. Měření probíhalo ve dvou kampaních, na jaře a na podzim roku 2023, aby bylo možné získané výsledky porovnat a určit případné vlivy na kvalitu vody.

2 CÍLE PRÁCE

Cíle bakalářské práce lze shrnout do následujících bodů:

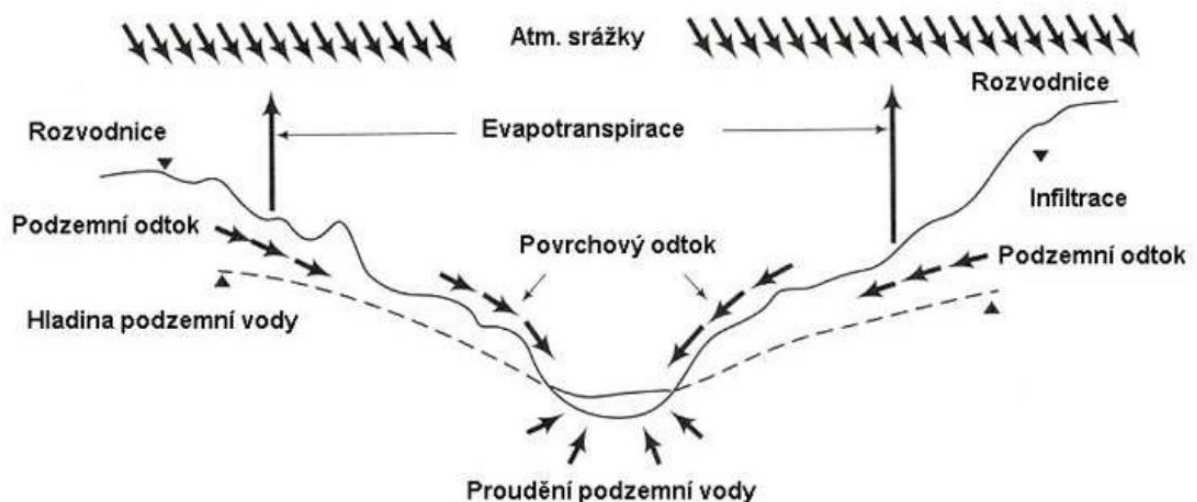
- Zpracování literární rešerše na téma obsahu aniontů ve vodách a možnostmi detekce
- Analýza reálných vzorků z lesních studánek
- Zpracování výsledků

3 TEORETICKÁ ČÁST

3.1 Hydrosféra

Hydrosféra představuje sumu veškeré vody na Zemi, zahrnující vodu pod a nad povrchem Země. Převážná většina (97,5 %) vody na planetě se nachází v oceánech. Zbývajících 2,5 % reprezentuje sladká voda, z čehož je většina vázána v ledovcích, sněhové pokrývky a horských oblastech. Ostatní sladké vody se nacházejí v jezerech, řekách a podzemních zdrojích [4].

Množství sladké vody je udržováno na konstantní úrovni hydrologickým cyklem. Zjednodušený hydrologický cyklus je znázorněn na Obrázek 1 a zahrnuje evapotranspiraci, srážky, infiltraci, odtok a podpovrchové proudění. Voda v rámci udržování hydrologické bilance mění svůj skupenský stav na kapalinu, pevnou látku nebo plyn (vodní páru). Průběh těchto procesů má výrazný vliv na energetickou rovnováhu a biodiverzitu na Zemi. Při jejím odpaření dochází k ochlazení okolí, a naopak při kondenzaci voda uvolňuje energii a okolní prostředí ohřívá. Voda také tvaruje terén erozí a hraje roli při přenosu energie z terestrických do vodních systémů [4].



Obrázek 1: Členy hydrologické bilance [5]

Vody mohou být klasifikovány na základě svého původu, výskytu a účelu. Různé druhy vod se odlišují podle svého původu a míst, kde se vyskytují. Zde můžeme vody rozlišovat na přírodní a odpadní. Přírodní vody jsou ty, které jsou přítomny v přírodě a nepocházejí z lidských zásahů. Na druhé straně odpadní vody jsou produktem lidských aktivit a často vyžadují speciální úpravy předtím, než mohou být znovu použity nebo vypuštěny do životního prostředí [3].

3.2 Rozdělení přírodních vod

Z hlediska výskytu můžeme přírodní vody dělit na tři hlavní kategorie: atmosférické, povrchové a podzemní [3].

3.2.1 Atmosférické vody

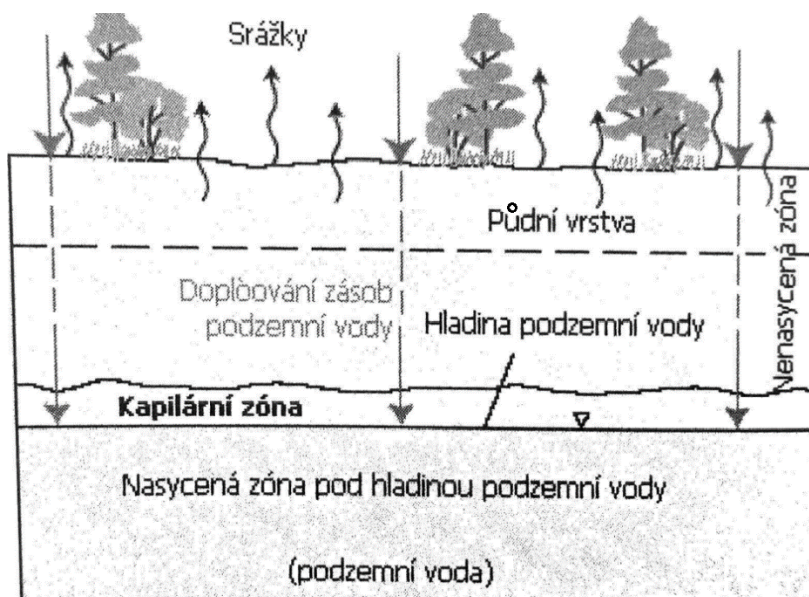
Pojem atmosférické vody zahrnuje všechny formy vody, které se vyskytují v atmosféře, bez ohledu na jejich aktuální skupenství. Voda v atmosféře má velký význam při studiu hydrologických a klimatických procesů. Chemické složení srážek je výrazně ovlivněno složením a znečištěním spodních vrstev atmosféry. Toto složení může výrazně kolísat i v rámci stejné lokality, které je dáno nejen proměnlivým znečištěním ovzduší, ale také úhrnem srážek, trváním a intenzitou srážkových událostí. Základní chemické složení srážkových vod kvalitativně odpovídá složení podzemních a povrchových vod. Nicméně jsou patrné určité rozdíly v poměrech mezi konkrétními anionty a kationty [3].

3.2.2 Povrchové vody

Povrchové vody představují všechny vody, které se přirozeně vyskytují na zemském povrchu. Kategorizují se do dvou hlavních skupin, a to na vodu kontinentální a vodu mořskou. Povrchové vody kontinentální, jako jsou jezera, řeky, potoky a mokřady, jsou ekologicky významnými složkami krajiny a poskytují stanoviště pro rozmanitá společenstva rostlin a živočichů. Většina povrchových vod si vyměňuje vodu a živiny s okolním suchozemským prostředím, což má zásadní dopad na vodní ekosystém. Povrchová voda je téměř vždy spojena s podzemní vodou a k výměně vody normálně dochází na rozhraní sediment/voda. Interakce podzemní a povrchové vody je proto často vnímána jako lokalizovaný proces na daném rozhraní [3], [6].

3.2.3 Podzemní vody

Podzemní voda zahrnuje vodu, která se přirozeně vyskytuje pod zemským povrchem v pásmu nasycení. Nasycená zóna je oblast v podzemí, kde jsou póry a mezery hornin zcela naplněny vodou. Tlak vody v této zóně je vyšší nebo roven atmosférickému tlaku. To způsobuje, že je voda v těchto oblastech stlačena do pórů hornin a vyplňuje všechny dostupné prostory. Nasycená zóna je zásobárnou podzemní vody, ze které jsou čerpány studniční vody, vyvěrají prameny a vodní toky. Nad hladinou podzemní vody se nachází nenasycená zóna, která má nižší tlak pórovité vody než tlak atmosférický a pórové prostory v této zóně obsahují vzduch i vodu. Pásmo nasycení je klíčovým faktorem, který určuje přímý kontakt podzemní vody s horninami a přímo ovlivňuje její pohyb a dostupnost. Schéma proudového systému podzemní vody je znázorněno na Obrázek 2 [7].



Obrázek 2: Schéma proudového systému podzemní vody [8]

Podzemní voda je nedílnou součástí vodního cyklu, kde je vytvářena infiltrací srážek, povrchovým odtokem nebo vodou uloženou v povrchových tělesech. Během cesty skrz horniny a sedimenty se voda filtruje, odstraňují se nečistoty, bakterie a chemické látky. Filtrace probíhá skrz póry a mezery v horninách, kde se nečistoty zachytávají a zůstávají zadrženy. Tento filtrační proces následně zajišťuje kvalitnější pitnou vodu. Většina pitné vody na světě pravděpodobně pochází právě z podzemních zdrojů. Výstupem podzemní vody na povrch jsou prameny, vsakovací oblasti a povrchové vodní toky [7], [9].

3.2.3.1 Prameny

Prameny představují výstup podzemních vod, kdy se voda vynořuje na zemský povrch. Vznikají pouze za specifických geologických a morfologických podmínek, které jsou charakteristické pro danou lokalitu. To může nastat například na nepropustných vrstvách hornin, které vytvářejí přirozené bariéry pro pohyb vody směrem vzhůru. Pukliny a zlomy v horninách pak mohou sloužit jako průchody pro podzemní vodu, která se následně vynořuje na povrchu ve formě pramenů. Specifickými místy výskytu pramenů jsou často úpatí svahových sutí, okolí sněhových polí a ledovců. V těchto oblastech má podzemní voda tendenci se hromadit a hledat cesty na povrch. Častým projevem výronů pramenů jsou takzvané skryté prameny. Ty se vyskytují v místech, kde se podzemní voda dostane na dno toků, jezer, rybníků nebo moří. V těchto případech není výron podzemní vody dobře patrný. Tyto skryté vývěry lze pozorovat v situacích, kdy dojde k vypuštění vodní nádrže nebo k poklesu hladiny vody na minimum [10].

3.2.3.2 Studánky

Specifickým projevem pramenů jsou studánky. Jako studánka se označuje uměle upravený výtok vodního pramene podzemní vody. Studánky mohou být upraveny tak, aby bylo možné získávat vodu s ohledem na její kvalitu a bezpečnost. V mnoha částech světa jsou studánky nezbytným zdrojem pitné vody. Jejich kvalita je ovlivněna několika faktory, včetně

klimatických podmínek, typu podloží, jímž voda protéká a také využitím půdy v dané oblasti a frekvencí dopravy. Analýza studánkových vod představuje kritický aspekt, jenž vyžaduje detailní zhodnocení, neboť hodnoty těchto parametrů mohou určit vhodnost vody pro lidskou konzumaci, zemědělské zavlažování nebo průmyslové využití. Nutnost pravidelného monitorování úrovně znečištění u tohoto typu vod je zásadním krokem k bezpečnému využívání, ochraně prostředí a k zachování veřejného blaha [1].

3.3 Vybrané ukazatele sledované u pitné vody

Pitná voda je voda zdravotně nezávadná, která je určena pro lidskou spotřebu a současně ani při dlouhodobém užívání nezpůsobuje zdravotní komplikace. Kvalita pitné vody je zajištěna dodržováním hygienických limitů mikrobiologických, biologických, fyzikálních, chemických a organoleptických ukazatelů. Je zakázáno, aby pitná voda obsahovala mikroorganismy, parazity nebo jakékoliv látky v množství nebo koncentraci, které by mohly představovat riziko pro veřejné zdraví [3]. Konkrétní ukazatele kvality pitné vody a jejich hygienické limity jsou specifikovány vyhláškou č. 252/2004 Sb. [12]. Vybrané ukazatele pitné vody stanovené touto vyhláškou a týkající se koncentrací kationtů a aniontů jsou uvedeny v Tabulka 1. Hodnoty těchto ukazatelů jsou stanoveny jako doporučené hodnoty (DH), mezní hodnoty (MH) a nejvyšší mezní hodnoty (NMH). Mezní hodnota je nejvyšší povolená koncentrace určité látky nebo parametru ve vodě, kterou lze považovat za stále bezpečnou pro lidskou spotřebu. Dále pak doporučená hodnota množství dané látky doporučené pro optimální jakost vody a nejvyšší mezní hodnota je koncentrace, která by ohrozila lidské zdraví, pokud by byla překročena. Kromě toho je důležité, aby voda nevykazovala agresivitu vůči materiálům rozvodového systému [11], [12].

Tabulka 1: Vybrané ukazatele jakosti pitné vody [11]

Ukazatel	Značka	Jednotka	Limit	Typ limitu
Amonné ionty	NH_4^+	mg/l	0,5	MH
Bromidy	Br^-	mg/l	0,01	MH
Dusičnany	NO_3^-	mg/l	50	NMH
Dusitany	NO_2^-	mg/l	0,5	NMH
Fluoridy	F^-	mg/l	1,5	NMH
Hořčík	Mg	mg/l	20–30	DH
Chloridy	Cl^-	mg/l	100	MH
Jodidy	I^-	mg/l	0,5	NMH
Sířany	SO_4^{2-}	mg/l	250	MH
Sodík	Na	mg/l	200	MH
Vápník	Ca	mg/l	40–80	DH
Železo	Fe	mg/l	0,2	MH

3.3.1 Kationty

3.3.1.1 Amonné ionty

Amoniakální dusík je jednou ze sloučenin, které se vyskytují ve vodním prostředí. Tato sloučenina existuje ve dvou formách, a to jako disociovaný ion NH_4^+ a nedisociovaný NH_3 . Jejich poměr závisí na teplotě a hodnotě pH prostředí. Přirozeně se amoniakální dusík vyskytuje ve vodách jako produkt rozkladu organických dusíkatých látek živočišného a rostlinného původu. Nicméně významný dopad na koncentrace amoniakálního dusíku ve vodách mají antropogenní vlivy, kdy vyšší koncentrace tohoto prvku často slouží jako indikátor možného fekálního znečištění. Jedním z hlavních zdrojů amoniakálního dusíku organického původu jsou splaškové odpadní vody a odpady ze zemědělských výroby. Hlavním anorganickým zdrojem amoniakálního dusíku jsou dusíkatá hnojiva [3], [13].

3.3.1.2 Draslík a sodík

Mezi alkalickými kovy zaujímají zvláštní postavení draslík a sodík, které jsou považovány z hlediska koncentrace ve vodách za nejvýznamnější. Další alkalické kovy jako lithium, rubidium a cesium, nemají zpravidla tak zásadní praktický význam. Při analýze podzemních a povrchových vod lze téměř vždy zaznamenat vyšší koncentrace sodíku než draslíku. Tyto prvky jsou často výsledkem vyluhování solných ložisek do vod. V některých průmyslových odvětvích vznikají odpadní vody obsahující vyšší koncentrace sodíku, zejména v případech, kdy se k neutralizaci nebo vysolování používají materiály obsahující chlorid nebo síran sodný. Tyto antropogenní zdroje mohou významně ovlivnit obsah sodíku ve vodních zdrojích [3].

3.3.1.3 Hořčík a vápník

Hořčík a vápník se v přírodě vyskytují v poměrně hojném množství, ovšem vápníku je ve vodách obvykle více než hořčíku. Jsou přirozenými složkami vod a vyskytují se v nich díky průchodu vodních toků skrz ložiska nerostů a horninové vrstvy. Mezi typické nerosty přispívající ke zvýšení koncentrace hořčíku a vápníku ve vodách patří zejména vápenec (CaCO_3), dolomit ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$) a magnezit (MgCO_3). Vápník a hořčík mohou do vody také vnášet průmyslové provozy, které neutralizují kyseliny pomocí materiálů jako vápenec, dolomit nebo magnezit. Tento proces může způsobit antropogenní zvýšení koncentrace těchto prvků ve vodách [3].

Hořčík a vápník přispívají k celkové tvrdosti vody, což ovlivňuje její chemické vlastnosti. Od tohoto názvu se však v hydrochemii upouští, protože tvrdost vody nesprávně sdružuje vápník a hořčík jako jedinou stejnou vlastnost, přitom pozitivní a negativní vlivy dopadu obsahu vápníku a hořčíku nejsou závislé na celkové tvrdosti, ale na převažující koncentraci jednoho z nich [3].

3.3.1.4 Železo

Železo se vyskytuje v pitné vodě v důsledku přirozených geologických procesů nebo z koroze vodovodního potrubí. V koncentracích, které se obvykle vyskytují v pitné vodě v domácnostech, se považuje za sekundární znečišťující látku, u které nejsou známy žádné

zdravotní problémy. Pitná voda obsahující koncentraci železa vyšší než 0,3 mg/l může mít negativní organoleptické vlastnosti. Mezi tyto nežádoucí senzoričké vlastnosti jsou zahrnuty převážně rezavé zbarvení a hořká svíravá chuť, které podle momentálních poznatků nejsou zdraví škodlivé [1], [14].

Železo se ve vodách vyskytuje ve dvou různých oxidačních stavech: II a III. V anoxickém redukčním prostředí, jaké nalezneme v podzemních vodách, ale také ve vodách povrchových u dna jezer a nádrží, bývá železo převážně v oxidačním stavu II. Naopak, ve vodách obsahujících rozpuštěný kyslík je oxidační forma III u železa nejstabilnější [1].

3.3.2 Anionty

3.3.2.1 Bromidy

Bromidy ve vodě představují důležitý chemický parametr, který má značný vliv na chemickou a biologickou povahu vodního prostředí. Tato anorganická sloučenina může být přirozeně přítomná ve vodních zdrojích, a to jak v povrchových vodách, tak i v podzemních vodách. Výskyt bromidů ve vodách je často spojen s geologickým složením regionu a procesy, které probíhají v horninových vrstvách a půdě. Bromidy lze také najít v odpadních vodách z průmyslových a městských zdrojů, zejména pokud se v těchto oblastech používají organické látky obohacené bromidy [3], [15].

3.3.2.2 Dusičnany

Dusík je základním prvkem hrajícím klíčový vliv na biogenní cyklus v ekosystémech vodního prostředí. Je nezbytný pro růst a rozvoj mikroorganismů, které hrají zásadní roli v úpravě a čištění vody [3].

Dusík ve vodním prostředí existuje v několika oxidačních stavech, včetně amoniakálního dusíku, dusitanů a dusičnanů. Tyto formy dusíku jsou vzájemně propojeny a podléhají změnám v závislosti na oxidačně-redukčním potenciálu a pH vody. Dochází zde jak k biochemickým, tak i k chemickým transformacím, které mají významný dopad na kvalitu vodního prostředí. Zároveň však nadměrná koncentrace dusíku, zejména ve formě dusičnanů, způsobuje environmentální problémy, jako je eutrofizace vodních nádrží a výskyt sinicových květů [3].

Dusičnany jsou anorganické sloučeniny dusíku vyskytující se ve většině vod. Tyto sloučeniny jsou výsledkem rozkladu dusíkatých organických látek v oxickém prostředí a jsou za běžných podmínek stabilní. Pokud však dojde k vystavení dusičnanů anoxickému prostředí, podléhají denitrifikaci za vzniku elementárního dusíku [3], [16], [17].

Hlavním zdrojem dusičnanů v podzemních a povrchových vodách je nadměrné užívání dusíkatých hnojiv. Tyto znečišťující látky mají negativní dopad na vodní prostředí, stimulují nadměrnou produkci řas a fytoplanktonu vedoucí k eutrofizaci vodních zdrojů. Během procesu rozkladu dusičnanů dochází ke spotřebě kyslíku ovlivňující životní prostředí vodních organismů, včetně ryb. Přímý účinek dusičnanů pro člověka není zvláště nebezpečný, mohou mít však závažně nepřímé následky, a to přeměnou v gastrointestinálním traktu bakteriální činností na toxičtější dusitany [3], [17].

3.3.2.3 Dusitany

Dusitany ve vodách vznikají jako produkt biochemických procesů, které jsou spojeny s oxidačními a redukčními reakcemi dusíku. Tento jev může vzniknout zejména dvěma způsoby. Prvním způsobem je proces nitrifikace, při kterém se oxiduje amoniakální dusík. Dalším, méně častým případem, je biochemická redukce dusičnanů [3].

Obsah dusitanů ve vodách je běžně doprovázen dusičnany a amoniakálním dusíkem. S ohledem na jejich biochemickou a chemickou labilitu se ve vodách vyskytují ve velmi nízkých koncentracích. Ovšem i malé množství dusitanů v pitné vodě může vést k nevratnému poškození zdraví. Dusitany v reakci s hemoglobinem v krvi způsobují vytváření methemoglobinu. Methemoglobin již není schopen efektivně přenášet kyslík v krvi, což může negativně ovlivnit funkci krevního oběhu a v konečném důsledku zdraví a život člověka. Nejohroženější věkovou skupinou jsou kojenci ve věku do tří měsíců. Nebezpečný efekt dusitanů může ohrozit i dospělé osoby, a to při dlouhodobé expozici představující možné riziko vzniku rakoviny. S ohledem na negativní následky užívání vody s vyšší hladinou dusitanů je potřeba jejich hladinu v pitné vodě pravidelně kontrolovat. Stanovení dusitanů je však vzhledem k jejich labilitě obtížné a údaje o jejich obsahu ve vodách mohou být velmi proměnlivé [3], [16].

3.3.2.4 Fluoridy

Fluoridy jsou jednou z mála sloučenin, u kterých bylo prokázáno, že u lidí způsobují významné pozitivní účinky prostřednictvím pitné vody. Fluoridy obsažené v pitné vodě v nízkých koncentracích mají příznivé účinky na zubní sklovinu. V minulosti byla voda na území České republiky fluorizována jako součást preventivních opatření pro ochranu před zubním kazem. Na druhé straně nadměrná expozice fluoridů v pitné vodě, nebo v kombinaci s expozicí fluoridů z jiných zdrojů, může způsobit řadu nežádoucích účinků. Ty se pohybují od mírné zubní fluorózy až po ochromující kostní fluorózu. Fluoridy mohou být přítomny ve vodě z různých geologických a geografických důvodů. Například vyšší množství fluoridů ve vodách způsobuje výskyt vod v oblastech, kde jsou sedimenty mořského původu, vulkanických, granitových nebo žulových hornin [18].

3.3.2.5 Fosforečnany

Fosforečnany představují životně důležité chemické sloučeniny, které však mohou v pitné vodě představovat potenciální riziko pro lidské zdraví. Vyšší koncentrace fosforečnanů v pitné vodě jsou spojeny s problémy, jako jsou poruchy ledvin, osteoporóza a zvýšené riziko kardiovaskulárních onemocnění. Do vody se mohou dostávat zemědělskou činností, z čistících prostředků odpadních vod, průmyslovými odpady a splaškovými vodami obsahujícími hnojiva na bázi fosforečnanů. Fosforečnany jsou jednou z hlavních živin, které podporují růst řas a rostlin ve vodních ekosystémech vedoucí k eutrofizaci, která má za následek snížení obsahu kyslíku ve vodě a narušení rovnováhy ekosystému. Hygienické limity pro fosforečnany ve vodách jsou obvykle stanoveny parametrem celkový fosfor. Celkový fosfor je dán množstvím anorganického orthofosforečnanu (PO_4^{3-}), polyfosforečnanů a organicky vázaného fosforu [3], [19].

3.3.2.6 Chloridy

Chloridy se řadí mezi základní anionty, které se vyskytují v přírodních i užitkových vodách. Spolu s hydrogenuhličitanem, sírany a dusičnany vytvářejí základní součást chemického složení vodních systémů. Jejich původ je komplexní a může být spojen s přírodními procesy i lidskou činností [1], [3].

Chloridy jsou přirozenou součástí vodního prostředí a mohou se vyskytovat v různých koncentracích v podzemních i povrchových vodách. Přirozený původ chloridů souvisí s geologickými a hydrogeologickými procesy v daném regionu. V bezprostředním okolí solných ložisek může být koncentrace chloridů výrazně vyšší. Nicméně, významným faktorem ovlivňujícím zvýšený obsah chloridů ve vodách je lidská činnost. Jedním z hlavních antropogenních zdrojů chloridů jsou splaškové odpadní vody z domácností. Dalším významným zdrojem chloridů jsou posypové soli. Během zimního období jsou posypové soli, jako například chlorid sodný (NaCl) a chlorid vápenatý (CaCl₂), uvolňovány na vozovkách a chodnících. Tyto chloridy jsou následně splachovány dešťovou vodou, tajícím sněhem a ledem do kanalizace a povrchových vod [1], [3].

Dalším důležitým zdrojem, odkud se chloridy dostávají do vodních systémů, je prostřednictvím odpadních vod z mycích linek automobilů. V těchto provozech se používají různé chemikálie, včetně chloridu sodného, k vysolování produktů či kyseliny chlorovodíkové k neutralizaci alkalických vod. Tyto látky jsou následně vplavovány do odpadních vod, které dále mohou skončit v řekách a jezerech. Vysoké koncentrace chloridů způsobují nepříjemnou chuť a zápach vody, což může být pro spotřebitele nežádoucí [1], [20].

3.3.2.7 Jodidy

Sloučeniny jodu, především jodidy, jsou běžně přítomny ve vodním prostředí. Mohou být přírodního původu, zejména v mořských oblastech, nebo pocházejí z průmyslového znečištění a z odpadních vod chemického a farmaceutického průmyslu. Tyto sloučeniny jsou rovněž součástí fosilních, minerálních a ropných vod. Jejich koncentrace a výskyt se liší v závislosti na geografickém regionu a průmyslové činnosti. Přestože jodidy ve vodách jsou často přítomny v malých množstvích, mohou znečištěním z průmyslu negativně ovlivnit vodní ekosystémy a lidské zdraví [3].

3.3.2.8 Sírany

Sírany ztupují roli dominantních aniontů přírodních vod. Sírany mohou mít v pitné vodě přirozený původ, zejména tam, kde dochází ke kontaktu zdrojové vody s určitými horninovými vrstvami a minerálními ložisky, převážně s obsahem hemihydrátu síranu vápenatého. V České republice jsou některé minerální vody mimořádně bohaté na obsah síranů jako například síranové vody Šaratice (asi 19 g/l) a Zaječická (30 g/l), které několikanásobně přesahují mezní hodnotu jakosti pitné vody v ČR, která činí 250 mg/l. Vysokých koncentrací síranů v minerálních vodách se pro jejich projímavé vlastnosti využívá převážně při léčbě zažívacích a trávicích problémů [3], [21], [22].

Z hlediska antropogenních faktorů lze identifikovat několik hlavních zdrojů síranů v životním prostředí. Jedním z těchto zdrojů je odpadní voda z metalurgických provozů, kde se k moření kovů často využívá kyselina sírová. Tato průmyslová činnost může přispět ke zvýšeným koncentracím síranů v okolních vodách. Dalším významným zdrojem síranů jsou emise vznikající v městských a průmyslových oblastech. Tyto emise mohou obsahovat významné množství oxidu siřičitého a oxidu sírového, které vznikají při spalování fosilních paliv, jako je uhlí a ropa. Tyto látky se mohou dostat do atmosférických vod vedoucí ke zvýšení koncentrace síranů ve vodním prostředí. Přestože je známá souvislost mezi konzumací vody s vysokým obsahem síranů a projímavými onemocněními, stále neexistuje dostatek informací o celkovém dopadu na lidské zdraví [3], [22].

3.3.3 Organické látky

Organické látky ve vodách představují rozmanitou skupinu sloučenin obsahující uhlík, které mohou pocházet z různých zdrojů. Organické látky mohou být přítomny ve vodě přirozeně, například v důsledku rozkladu organických materiálů v přírodě, nebo jako důsledek lidské činnosti, jako jsou průmyslové emise, znečištění zemědělskými chemikáliemi nebo odpadními vodami. Stanovení organických látek ve vodě je poměrně obtížné, protože tyto látky se obvykle vyskytují jako složité směsi různých sloučenin, jejichž přesné složení není známo. S ohledem na rozmanitost organických látek se analýza vod často zaměřuje na celkovou koncentraci určitých charakteristických skupin těchto látek, jako jsou tenzidy, fenoly a další [23], [24].

3.4 Vzorkování pitné vody

Vzorkování lze definovat jako proces výběru části materiálu o dostatečně malém objemu, aby bylo možné ho pohodlně přenášet a zpracovávat v laboratoři, přičemž vybraný vzorek stále přesně reprezentuje část vzorkovaného prostředí. Hlavním problémem vzorkování je dosažení požadované reprezentativnosti a integrity. Vzorkování je nedílnou součástí analytického procesu, tudíž analýza začíná právě vzorkováním. V některých případech představuje vzorkování hlavní zdroj chyb celého analytického procesu, zejména pokud se stanovují stopové koncentrace [2].

3.4.1 Plán odběru vzorků

Před samotným odběrem vzorků pitné vody, je nezbytné stanovit jasné cíle prováděné studie. Tyto cíle budou určovat, jaké parametry vody budou analyzovány a jakým způsobem se budou provádět odběry. Klíčové body tohoto kroku zahrnují parametry vody, cílová místa a frekvenci odběru [8].

Prvním krokem je identifikace stanovovaných ukazatelů, které jsou relevantní pro danou problematiku. To může zahrnovat fyzikální, chemické a biologické parametry, jako je teplota, pH, koncentrace kontaminantů a mnoho dalších. Dále je nutné vybrat vhodná místa pro odběr vzorků, která budou nejlépe reprezentovat zkoumaný systém pitné vody. Posledním parametrem je frekvence odběru, kde se určuje, jak často se budou odběry provádět. Závisí to na konkrétním monitorovacím plánu a cílech studie. Některé parametry mohou vyžadovat častější odběry než jiné [3], [8].

3.4.2 Vzorkovnice

Vzorkovnice jsou nepostradatelnými nástroji v oblasti laboratorní analýzy. Tyto zařízení mají zásadní význam pro sběr reprezentativních vzorků různých materiálů, a to ve velmi různorodých odvětvích, od výzkumu životního prostředí až po průmyslovou kontrolu kvality. Do vzorkovnic se odebírá vzorek vody z předem určeného místa a každá vzorkovnice se označuje štítkem, aby nedošlo k jejich záměně. Pro stanovení chemických a fyzikálních ukazatelů se používají plastové nebo skleněné vzorkovnice [8].

Při výběru mezi plastovými a skleněnými vzorkovnicemi pro analýzu pitné vody je důležité vzít v úvahu několik faktorů. Plastové vzorkovnice jsou lehké, snadno manipulovatelné a odolné proti rozbití. Tyto vlastnosti jsou výhodné zejména pro terénní vzorkování. Na druhé straně skleněné vzorkovnice jsou chemicky inertní vůči většině chemikálií, tudíž jsou ideální pro aplikace, kde se vyžaduje vysoká přesnost analýzy a minimalizace interakce mezi vzorkem a materiálem vzorkovnice. Při výběru je třeba zvážit povahu analyzovaných látek, místo vzorkování, požadovanou přesnost analýzy a dostupný rozpočet, aby byla zvolena nejvhodnější vzorkovnice pro konkrétní aplikaci [3], [8].

3.4.3 Odběr vzorků

3.4.3.1 Vzorky pro chemický a fyzikální rozbor

Pro správný odběr vzorků pitné vody pro fyzikální a chemické analýzy lze využít jak skleněné, tak plastové vzorkovnice. Postup spočívá v pomalém plnění vzorkovnice vodou až po okraj, kterou následně ihned těsně uzavřeme, přičemž se postupuje tak, aby se v ní nevytvářely vzduchové bubliny. V případě, že je vzorkovnice nová nebo nebyla použita delší dobu je potřeba nejprve vzorkovnici vypláchnout odebíraným vzorkem. V případě vzorků, které vyžadují chemickou konzervaci, například pro stanovení kovů, se použijí vzorkovnice s již přidaným konzervačním činidlem, a to bez jakéhokoli vyplachování nebo přelití vzorku [8].

3.4.3.2 Vzorky pro mikrobiologický rozbor

Při odběru vzorku určeného k mikrobiologickému rozboru je nezbytné použít sterilní vzorkovnici, která zahrnuje i sterilně zabalené hrdlo. V některých případech se před samotným odběrem provádí dezinfekce odběrového místa. Pokud je pitná voda hygienicky zabezpečena chlorací, je třeba vzorkovnici připravit s předem aplikovaným dechloračním činidlem, které zahrnuje přidání 0,1 ml 1,8% roztoku pentahydrátu thiosíranu sodného na každých 100 ml vzorku. Při odběru vzorku není nutné vyplachovat vzorkovnici. Voda by měla být do vzorkovnice napouštěna pomalu, tak aby v ní zůstala dostatečná vzduchová bublina, která zajistí promíchání vzorku před samotnou analýzou [8].

3.4.3.3 Vzorky pro biologický rozbor

Větší bezobratlé živočichy a odumřelou organickou hmotu ve vodovodní síti lze odebírat buď přímo nebo pomocí speciálního procesu proplachování. Tento proces spočívá v průchodu vody s dostatečnou rychlostí, aby se odloučily usazeniny a organická hmota od stěn potrubí a byly vyplaveny ven z vodovodní sítě. Pro odběr vzorků se využívá polyamidová síťka s malými

otvory, asi o velikosti 150 μm . Biologický rozbor lze také provádět ze vzorku odebraného pro mikrobiologický rozbor [8].

3.4.4 Uchovávání vzorků a transport do laboratoře

Uchovávání vzorků pitné vody a jejich následný transport do laboratoře jsou klíčovými kroky, které zajišťují zachování vzorků v požadovaném stavu a správnou analýzu. Transport vzorků musí být proveden tak, aby nedošlo ke změně jejich kvality nebo složení. Vzorkovnice s pitnou vodou by měly být chráněny před přímým slunečním zářením a extrémní teplotou, které by mohly ovlivnit stabilitu vzorku. Při přepravě se doporučuje udržovat stabilní teplotu vzorku, například použitím přenosné lednice. Je důležité, aby byl transport vzorků co nejrychlejší, zejména pokud jsou vzorky citlivé na změny. V laboratoři lze poté provést rozsáhlé analytické testy na zachovaném vzorku, což je zásadní pro správné hodnocení kvality pitné vody a zajištění bezpečnosti její konzumace [8], [23].

3.5 Analytické metody pro stanovení aniontů ve vodách

3.5.1 Volba analytické metody

Volba správné analytické metody při provádění analýzy je důležitým krokem, který vyžaduje odborné znalosti a zkušenosti. Rozhodování zahrnuje několik otázek. První z nich je rozsah koncentrací analytu, který určuje vhodnost různých metod. Pokud je obsah analytu v řádech nižších než 10 mmol/l, metody jako gravimetrie nebo volumetrie obvykle nejsou vhodné. Druhou otázkou je potřebná přesnost a citlivost metody, což závisí na charakteristikách jednotlivých analytických metod. Dále je třeba zohlednit přítomnost dalších složek ve vzorku, jejich možný vliv na výsledek analýzy a fyzikální a chemické vlastnosti vzorku. Poslední otázkou je množství a četnost analyzovaných vzorků. Volba správné metody závisí na těchto faktorech a vyžaduje pečlivé zvážení, aby bylo dosaženo spolehlivých výsledků analýzy [25].

3.5.2 Iontová chromatografie

Iontová chromatografie (IC) je typ kapalinové chromatografie, která představuje stěžejní techniku v analýze širokého spektra sloučenin, zejména anorganických aniontů. Navzdory své specializaci na aniony lze IC v omezené míře využít i pro stanovení anorganických kationtů a nízkomolekulárních organických ionizovaných sloučenin. Tato analytická metoda vyniká díky své vysoké citlivosti, opakovatelnosti a schopnosti současně stanovovat různé ionty. Právě díky těmto vlastnostem nachází IC široké uplatnění pro standardní postupy v akreditovaných laboratořích, kde se využívá k důkladné kontrole vody a environmentálních vzorků [26].

Princip iontové chromatografie spočívá v separaci iontů (aniontů nebo kationtů) na chromatografické koloně. Tento proces využívá interakce mezi ionty v mobilní fázi a částicemi fáze stacionární. Jedná se o elektrostatické interakce mezi ionizovanými funkčními skupinami stacionární fáze (iontoměnič), a opačně nabitými ionty v mobilní fázi. Při separaci hraje klíčovou roli selektivita sorpce iontů vůči stacionární fázi na koloně. Selektivita iontů v mobilní fázi je obvykle nižší než selektivita iontů, které se mají oddělit. Různé analyty mají různou afinitu nebo interakci s iontoměnič na stacionární fázi, a tím dochází k jejich zadržení na koloně

a následné separaci. Důsledkem separace vznikají jednotlivé chromatografické zóny, které jsou detektorem detekovány jako píky [26].

3.5.3 Elektromigrační metody

Elektromigrační metody představují skupinu analytických technik, které využívají elektrokinetické jevy, konkrétně elektroforézu a elektroosmózu, k separaci složek vzorku. Při elektroforéze dochází k pohybu iontů v elektrickém poli, zatímco elektroosmóza zahrnuje objemové proudění kapalin vzniklého díky povrchovému náboji na vnitřní stěně kapiláry. Separace probíhá v kapalně fázi v roztoku elektrolytu. Elektrolytem může být buď vodný roztok nebo roztok na bázi čistých organických rozpouštědel nebo jejich směsí. Díky své přesnosti stanovení nacházejí elektromigrační metody široké uplatnění například v molekulární biologii, farmakologii, soudním lékařství, forenzní vědě a analýze potravin. V laboratorní praxi se používá převážně kapilární zónová elektroforéza a kapilární izotachoforéza [27], [28], [29].

Kapilární izotachoforéza (ITP) a kapilární zónová elektroforéza (CZE) se liší v mechanismu oddělování nabitých částic. ITP využívá dvou elektrolytů s rozdílnou elektroforetickou pohyblivostí analytů, z nichž jeden je vedoucí a druhý koncový. Vedoucí elektrolyt obsahuje ionty s vyšší pohyblivostí než analyzované ionty, zatímco koncový elektrolyt obsahuje ionty s nižší pohyblivostí. Během separace vytváří ionty jednotlivé za sebou jdoucí zóny mezi oběma elektrolyty. CZE využívá elektroforetických pohyblivostí iontů v kapiláře naplněné základním elektrolytem. Analyty se po aplikaci vysokého napětí pohybují směrem k elektrodám s opačným nábojem (kationty ke katodě, anionty k anodě). V důsledku elektroosmotického toku jsou však při normálním uspořádání všechny nabitě i neutrální analyty postupně unášeny směrem ke katodě [29], [30].

3.5.4 Průtoková analýza

Průtokové analyzátory jsou stále více využívány při chemických analýzách pro svoji jednoduchost a rychlost. Existuje několik typů těchto analyzátorů, zahrnující kontinuální průtokový analyzátor (CFA), průtokový injekční analyzátor (FIA), sekvenční průtokový analyzátor (SFA) a sekvenční injekční analyzátor (SIA). Tyto analyzátory spojuje vysoká rychlost procesu analýzy, nižší spotřeba chemikálií a tím snížená zátěž pro životní prostředí. To činí průtokové analyzátory efektivními nástroji pro rychlou, citlivou a opakovatelnou chemickou analýzu, což je zásadní pro mnoho různých aplikací využívajících automatizované procesy. U průtokových analyzátorů bývají často využívány speciální spektrofotometrické, luminiscenční a elektrochemické detektory. Tento typ analyzátorů je ideální pro aplikace, které vyžadují vysokou rychlost analýzy a nachází uplatnění od klinických laboratoří po různá průmyslová odvětví, přičemž výrazně zvyšují produktivitu a minimalizují riziko kontaminace vzorků [27], [31].

4 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

4.1 Použité chemikálie

Tabulka 2: Seznam použitých chemikálií

Název chemikálie	Sumární vzorec	M_r	Výrobce	Země původu
Aceton	C_3H_6O	58,08	Lach-Ner	ČR
Bromid draselný p.a.	KBr	84,99	Lachema	ČR
Dihydrogenfosforečnan draselný p.a.	KH_2PO_4	136,09	Lachema	ČR
Dusitan sodný p.a.	$NaNO_2$	69,00	Lachema	ČR
Dusičnan sodný p.a.	$NaNO_3$	84,99	Lachema	ČR
Fluorid sodný p.a.	NaF	41,99	Lachema	ČR
Formaldehyd	CH_2O	30,03	Merck	Německo
Hydroxid draselný p.a.	KOH	56,11	Lach-ner	ČR
Chlorid sodný p.a.	NaCl	58,44	Lachema	ČR
Jodid draselný p.a.	KI	166,01	Onex	ČR
Kyselina mravenčí p.a.	CH_2O_2	46,03	Lach-Ner	ČR
Kyselina octová p.a.	CH_3COOH	60,05	Lach-Ner	ČR
Kyselina salicylová p.a.	$C_7H_6O_3$	138,12	Sigma-Aldrich	USA
Kyselina sulfamidová p.a.	H_3NSO_3	97,10	Sigma-Aldrich	USA
Kyselina šťavelová (dihydrát) p.a.	$C_2H_2O_4$	126,07	Lach-Ner	ČR
Luminol p.a.	$C_8H_7N_3O_2$	177,16	Sigma-Aldrich	USA
Pyrofosforečnan sodný p.a.	$Na_4P_2O_7$	265,90	Sigma-Aldrich	USA
Síran draselný p.a.	K_2SO_4	174,27	Lachema	ČR
Sířičitan sodný p.a.	Na_2SO_4	126,04	Lachema	ČR
Uhličitan sodný p.a.	Na_2CO_3	105,99	Lachema	ČR

4.2 Přístroje a zařízení

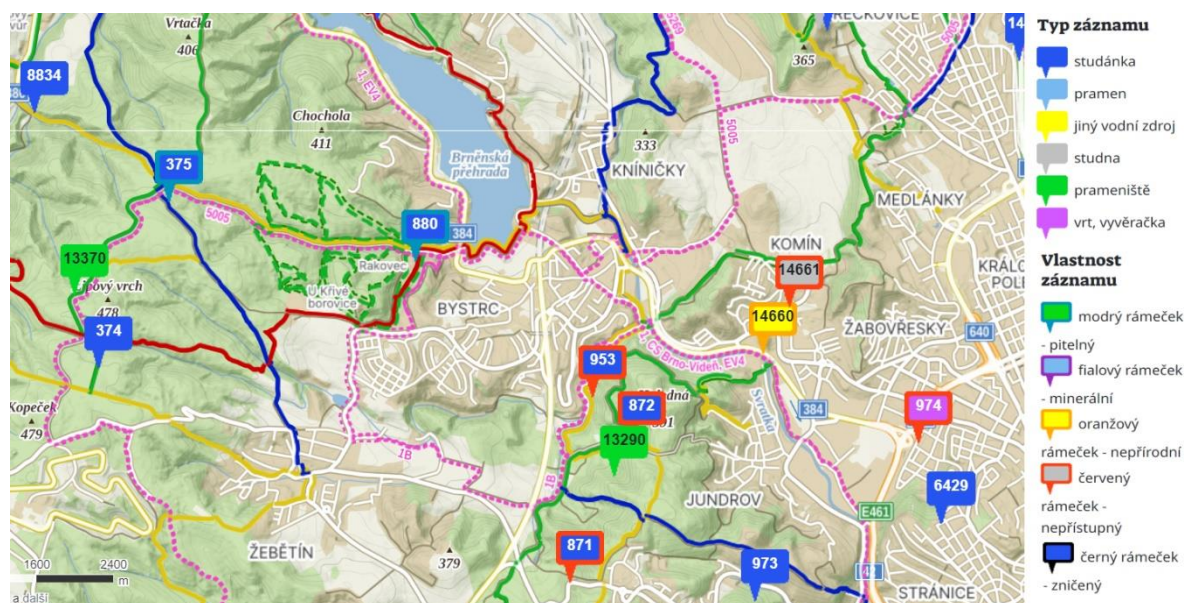
- Iontový chromatograf ICS 2100, Dionex, USA
- Kontinuální průtokový analyzátor NO_3^- , prototyp, ÚIACH AV, ČR
- Peristaltická čerpadla, Ismatec, Švýcarsko
- Analytické váhy AX224, Ohaus Corporation, USA
- Ultrazvuková vodní lázeň Teson 1, Tesla, ČR
- pH metr a konduktometr CyberScan PC 510, Eutech instruments, Singapur
- Teploměr HH306A, Omega, USA
- 100 ml polypropylenové láhve, KARTELL, Itálie
- 18 ml polypropylenové nádoby, KARTELL, Itálie
- Běžné laboratorní vybavení

4.3 Pracovní postupy

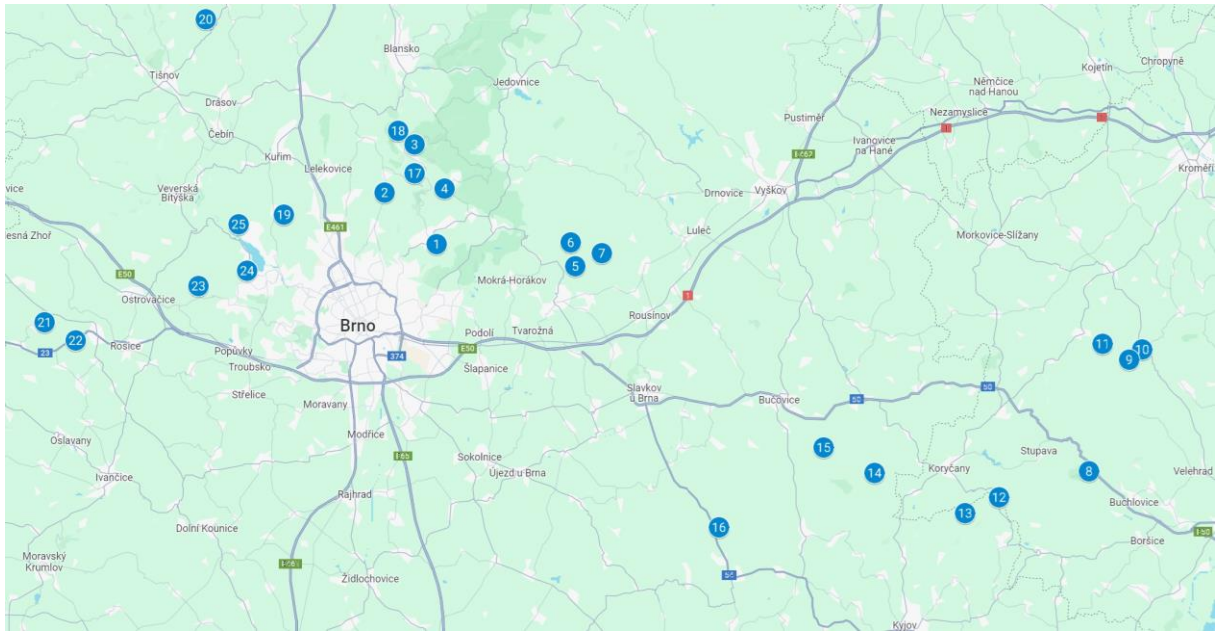
4.3.1 Výběr lesních studánek pro analýzu vody

Pro účely analýzy vod z lesních studánek bylo vybráno 25 studánek v okolí města Brna (Tabulka 3). Předběžné informace o těchto studánkách byly získány prostřednictvím internetového Národního registru pramenů a studánek pro Českou republiku (Obrázek 3). Konkrétní informace o rozmístění studánek na mapě jsou uvedeny na Obrázek 4 [32].

Klíčovým hlediskem pro výběr konkrétních studánek bylo nezbytné zařazení jako pitná voda, snadná dostupnost, umístění u cesty a tekoucí charakter vody. Tato kritéria byla pečlivě vybrána s ohledem na zajištění reprezentativity a rozmanitosti studánek, aby poskytly komplexní pohled na kvalitu vody v daném regionu. Analyzované studánky byly vybrány také s cílem zajistit dostatečné množství informací o vodě, které byly poté vyhodnoceny ve formě protokolu a následně vyvěšeny u studánek, čímž byl zajištěn systematický a informovaný přístup k výsledkům kvality vody.



Obrázek 3: Informacemi o vodních zdrojích v městské části Brno-Bystrc a okolí [32]



Obrázek 4: Umístění sledovaných studánek s číselným označením daného vzorku

Tabulka 3: Seznam vzorkovaných studánek s jejich umístěním

Vzorek č.	Název studánky	Území obce	GPS
1	studánka Leoše Janáčka	Bílovice nad Svitavou	49.2445428N, 16.6806514E
2	studánka Jana Doležala	Bílovice nad Svitavou	49.2763039N, 16.6314839E
3	studánka U kalicha	Olomučany	49.3059417N, 16.6601333E
4	studánka U Huberta	Babice nad Svitavou	49.2788606N, 16.6882603E
5	Žalmanova studánka	Pozořice	49.2309703N, 16.8111158E
6	Habrová studánka	Hostěnice	49.2458900N, 16.8069361E
7	studánka U dudka	Olšany	49.2393117N, 16.8364322E
8	Kamenná studánka	Buchlovice	49.1051103N, 17.2958325E
9	studánka U lvích hlav	Salaš	49.1738344N, 17.3334581E
10	Kubitova studánka	Salaš	49.1800042N, 17.3458592E
11	studánka U Roštínské kaple	Roštín	49.1834169N, 17.3086844E
12	studánka Pět židel	Moravany u Kyjova	49.0890278N, 17.2112500E
13	studánka Zavadilka	Moravany u Kyjova	49.0792503N, 17.1792508E
14	studánka Bezdýnka	Snovídky	49.1040694N, 17.0939611E
15	studánka U tábora Jitřenka	Nevojice	49.1197014N, 17.0457992E
16	studánka Zdravá voda	Žarošice	49.0704156N, 16.9472769E
17	studánka Ptačí svatyně	Adamov	49.2882778N, 16.6600556E
18	studánka Pod Novým hradem	Olomučany	49.3141639N, 16.6445808E
19	studánka Barborka	Jinačovice	49.2628364N, 16.5371119E
20	studánka U Jamněnky	Jamně u Tišnova	49.3825753N, 16.4633489E
21	studánka U zelené hory	Příbram na Moravě	49.1968056N, 16.3113889E
22	Masarykova studánka	Babice u Rosic	49.1856003N, 16.3407994E
23	Helenčina studánka	Brno-Bystřec	49.2191247N, 16.4566000E
24	Betelná studánka	Brno-Bystřec	49.2284167N, 16.5022167E
25	Soví studánka	Brno-Kníničky	49.2570200N, 16.4939761E

4.3.2 Vzorkování vody

Vzorkování vod z lesních studánek bylo provedeno během dvou třítydenních kampaní. Jarní kampaň probíhala v rozmezí od 30.5. do 13.6. 2023 a podzimní kampaň od 26.9. do 11.10. 2023. Tato vzorkování probíhala v rámci vybraných studánek lokalizovaných v okolí Brna, Moravského krasu, Boskovické brázdy, Křižanovské a Dražanské vrchoviny, Chřibů a Ždánického lesa. Odebírání vzorků bylo provedeno do 100 ml polypropylenových vzorkovnic (Obrázek 5: Vzorkování vody z lesní studánky). Při odběru vzorků byla vždy změřena vydatnost pramene, teplota vody a ihned po příjezdu do laboratoře také pH a konduktivita. Odebrané vzorky byly převezeny autem do laboratoře Ústavu analytické chemie Akademie věd České republiky (ÚIACH AV ČR). Během cesty byly skladovány v lednici s aktivním chlazením.



Obrázek 5: Vzorkování vody z lesní studánky

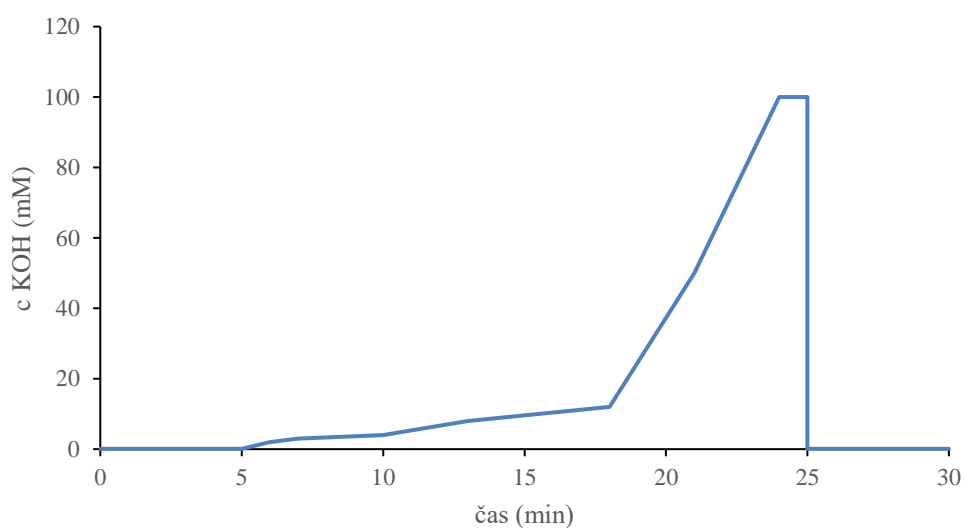
4.3.3 Stanovení koncentrací aniontů pomocí IC

Samotná analýza vod probíhala v laboratořích ÚIACH AV ČR. Pro analýzu vzorků vody byl využit iontový chromatograf ICS-2100 (Dionex, USA), který je zobrazen na Obrázek 6. Odebrané vzorky ve 100 ml vzorkovnicích byly přelity do 5 ml vialek a uzavřeny speciální fritou. Takto připravené vzorky byly vloženy do autosampleru pro následnou analýzu. Separace aniontů byla provedena na koloně AS11-HC (2·250 mm, Dionex IonPac™, Thermo Scientific, USA) s předkolonou AG11-HC (2·50 mm, Dionex IonPac™, Thermo Scientific, USA). Pro separaci byla použita mobilní fáze KOH s gradientem 1–100 mM (Dionex EGC III KOH RFIC™, Thermo Scientific, USA) a průtokem 0,38 ml/min. Gradient mobilní fáze (Obrázek

7) byl optimalizován pro efektivní separaci sledovaných aniontů. Celková doba analýzy, zahrnující nástřik, eluci a separaci vzorku, byla stanovena na 30 minut. Detekce byla realizována pomocí vodivostního detektoru v kombinaci s elektrolyticky regenerovaným supresorem (Dionex AERS 500 2 mm, Thermo Scientific, USA) a odstraňovačem uhličitanu (Dionex CRD 200 2 mm RFIC™ AS11-HC, Thermo Scientific, USA).



Obrázek 6: Iontový chromatograf



Obrázek 7: Gradient mobilní fáze použitý během separace na IC

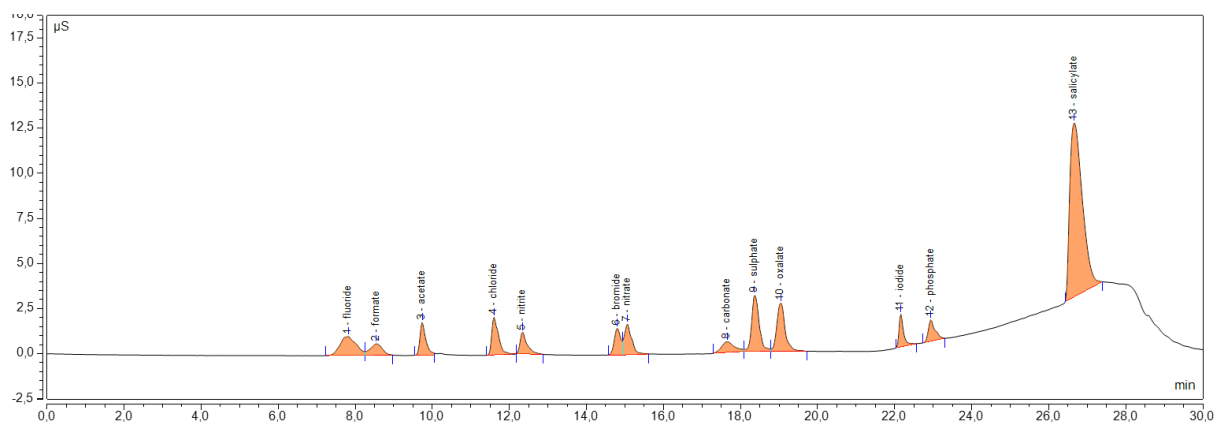
4.3.4 Příprava standardních roztoků

Při analýze vody byly sledovány následující anionty: fluoridy, chloridy, dusitany, dusičnany, sírany, bromidy, jodidy a fosforečnany. Pro navážku zásobních roztoků o koncentraci 0,1 M byly využity standardní látky uvedené v Tabulka 4. Tyto standardy byly naváženy na analytických vahách do 50 ml odměrných baněk. Zásobní roztoky byly poté uloženy v lednici při konstantní teplotě 4 °C a byly používány pro přípravu potřebných zředěných roztoků. Zředěné roztoky byly připravovány zcela nové před každou kalibrací, aby bylo zajištěno zachování jejich čistoty a přesnosti pro analytické účely.

Tabulka 4: Navážky pro přípravu 0,1 M standardních roztoků

Standard	Navážka (g)
NaCl	0,2922
NaF	0,2099
NaNO ₂	0,3449
NaNO ₃	0,4250
KH ₂ PO ₄	0,6805
K ₂ SO ₄	0,8714
KI	1,6601
KBr	0,5950

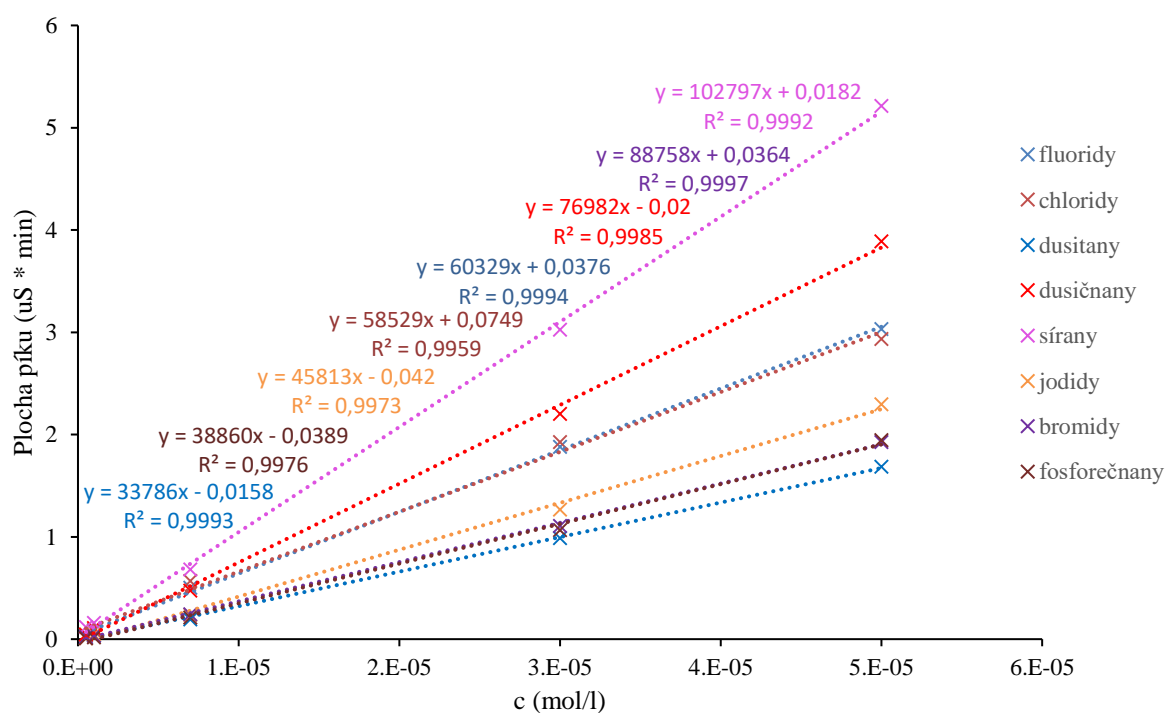
Pro vyhodnocení koncentrací ve vodách byly připraveny kalibrační roztoky v rozmezí od 0,5 µM do 100 µM. Kalibrační roztoky byly proměřeny na IC a z chromatogramu (Obrázek 8) jednotlivých ploch píků byly vypočítány a sestrojeny kalibrační křivky a vypočítány limity detekce (LOD). Retenční časy a LOD jednotlivých aniontů jsou vypsány v Tabulka 5. Kalibrační řada byla vytvořena vždy nová před začátkem každého měření. Příklad konkrétních kalibračních křivek použitých pro vyhodnocení koncentrací aniontů pomocí IC je uveden na Obrázek 9.



Obrázek 8: Chromatogram standardního směsného roztoku aniontů

Tabulka 5: Retenční časy a detekční limity vybraných aniontů

Anionty	Retenční čas (min)	LOD (mg/l)
Fluoridy	7,9	0,0005
Chloridy	11,9	0,0008
Dusitany	12,5	0,0031
Bromidy	14,8	0,0062
Dusičnany	15,1	0,0018
Sírany	18,4	0,0020
Jodidy	22,3	0,0068
Fosforečnany	23,0	0,0054



Obrázek 9: Kalibrační křivky pro vyhodnocení koncentrací pomocí IC

4.4 Předběžná měření

4.4.1 Ověření stability vzorků při jejich skladování

Během předběžného měření byly testovány nejvhodnější podmínky pro uchování vzorků. Pro tyto účely byly použity směsné 1 μM roztoky (F^- , Cl^- , NO_2^- , NO_3^- , SO_4^- , PO_4^{3-}), připravené z reálného vzorku vody z Helenčiny studánky, v nichž byly sledovány procentuální úbytky aniontů po dobu 8 dní při následujících podmínkách. První roztok byl ponechán při teplotě 21 °C na stole v laboratoři (Tabulka 6). Druhý roztok byl skladován v lednici při 4 °C (Tabulka 7) a třetí v mrazáku při -18 °C (Tabulka 8). U všech aniontů, kromě NO_2^- , byla ověřena stabilita vzorků při všech 3 skladovacích podmínkách, kdy téměř nedocházelo k úbytku nebo k nárůstu

koncentrací jednotlivých aniontů. Malé procentuální rozdíly jsou způsobeny pouze odchylkami vzniklými při vyhodnocování chromatogramů. U vzorku skladovaného na světle při laboratorní teplotě (21 °C) byl pozorován značný pokles koncentrace dusitanů, které mohou být za daných podmínek oxidovány na dusičnany nebo redukovány na amoniak např. vlivem přítomných mikroorganismů. Z tohoto důvodu byla pro skladování všech následných reálných vzorků zvolena lednice (4 °C).

Tabulka 6: Stabilita roztoku skladovaném při laboratorní teplotě (21 °C)

Den	F ⁻ (%)	Cl ⁻ (%)	NO ₂ ⁻ (%)	NO ₃ ⁻ (%)	SO ₄ ⁻ (%)	PO ₄ ³⁻ (%)
1.	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
2.	99,20	99,98	97,64	100,51	100,30	102,02
3.	99,83	99,69	96,46	100,55	100,12	102,93
4.	100,67	100,80	96,27	100,94	99,77	102,01
5.	102,59	100,34	94,89	100,47	100,18	102,70
6.	98,41	100,18	82,37	101,39	100,53	100,28

Tabulka 7: Stabilita roztoku skladovaném v lednici (4 °C)

Den	F ⁻ (%)	Cl ⁻ (%)	NO ₂ ⁻ (%)	NO ₃ ⁻ (%)	SO ₄ ⁻ (%)	PO ₄ ³⁻ (%)
1.	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
2.	97,72	100,05	102,15	100,18	100,14	98,10
3.	99,07	99,92	102,64	100,19	100,12	102,90
4.	97,03	100,84	106,94	100,92	99,82	97,29
5.	99,50	100,35	105,45	100,47	100,14	98,94
6.	99,76	100,49	103,05	100,98	100,49	97,79

Tabulka 8: Stabilita roztoku skladovaném v mrazáku (-18 °C)

Den	F ⁻ (%)	Cl ⁻ (%)	NO ₂ ⁻ (%)	NO ₃ ⁻ (%)	SO ₄ ⁻ (%)	PO ₄ ³⁻ (%)
1.	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
2.	97,32	100,29	99,72	100,07	100,22	99,95
3.	103,59	100,04	98,62	99,88	100,11	103,55
4.	100,12	100,57	100,88	99,93	99,54	101,59
5.	101,85	100,21	100,10	100,78	100,35	98,64
6.	99,96	100,53	99,07	100,74	100,61	99,67

4.4.2 Porovnávací měření pomocí IC a průtokového analyzátoru NO₃⁻

Pro stanovení ultrastopových koncentrací dusičnanů byl na ÚIACH AV ČR vyvinut kontinuální průtokový analyzátor (CFA) s chemiluminiscenční detekcí, který byl během předběžných měření použit jako srovnávací metoda k IC [33], [34].

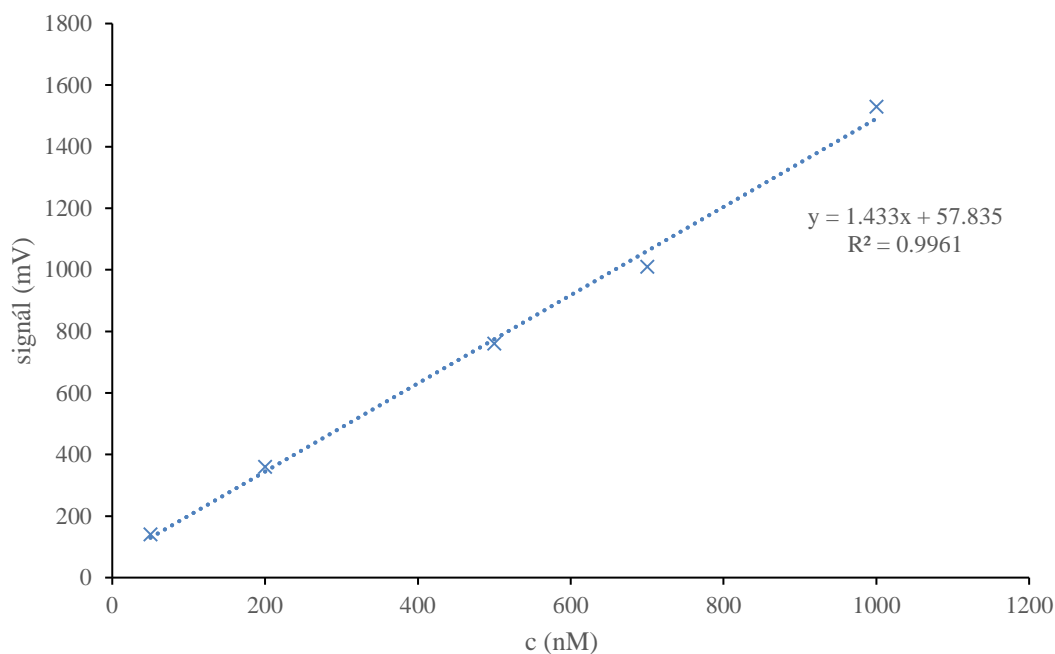
Pro tyto účely bylo odebráno a proměřeno 8 reálných vzorků vody z Brna a okolí. Vzorky vod byly podrobeny analýze na IC (Tabulka 9), kde bylo vyhodnocováno 6 nejběžněji se vyskytujících aniontů (F^- , Cl^- , NO_2^- , NO_3^- , SO_4^- , PO_4^-).

Tabulka 9: Výsledky stanovení aniontů na IC v předběžném měření

Název	Území obce	F^- (mg/l)	Cl^- (mg/l)	NO_2^- (mg/l)	NO_3^- (mg/l)	SO_4^- (mg/l)	PO_4^- (mg/l)
Helenčina studánka	Brno-Žebětín	0,03	14,7	<LOD	15,1	109	<LOD
Žebětínský rybník	Brno-Žebětín	<LOD	5,08	<LOD	0,02	87,5	<LOD
Zahradní jezírko	Brno-Žebětín	0,09	227	<LOD	0,15	47,8	<LOD
Potok Vrbovec	Brno-Bystrc	0,39	740	<LOD	3,34	63,1	<LOD
Studánka Ptačí svatyně	Adamov	0,02	<LOD	<LOD	5,27	28,5	<LOD
Vodovodní voda	Adamov	0,01	<LOD	<LOD	17,4	21,9	<LOD
Studna v bývalé šatlavě	Šlapanice	<LOD	173	<LOD	538	223	<LOD
Zahradní studna	Brno- Maloměřice	0,93	218	<LOD	17,4	119	<LOD

Princip detekce aniontu NO_3^- pomocí CFA je založen na jeho konverzi na peroxodusitan ($ONOO^-$) pomocí UV záření a následné reakci s luminolem, což vyvolává chemiluminiscenci a emitované záření je poté detekováno fotonásobičem. Pro potlačení interferencí aniontů NO_2^- , které také reagují s luminolem, je ke vzorku přidáván reakční roztok s kyselinou sulfamidovou (SMA), která redukuje NO_2^- na plynný N_2 . Tato metoda umožňuje velmi citlivou přímou detekci aniontu NO_3^- ve vodě (5,1 nM) bez jakékoli úpravy vzorku. [33]

Vyhodnocení koncentrací NO_3^- ve vzorcích vody bylo prováděno pomocí kalibrační řady roztoků v rozsahu 50–1000 nM (Obrázek 10). Porovnání výsledků koncentrací NO_3^- v jednotlivých vzorcích dosažených pomocí IC a CFA je uvedeno v Tabulka 10. Z procentuálních rozdílů vyplývá, že metoda CFA je vhodná spíše pro čistší vzorky s menším obsahem ostatních aniontů, případně dalších látek. Analyzátor je určen především k analýzám stopových koncentrací dusičnanů v ovzduší. Pro analýzu všech dalších vzorků byla tedy použita metoda IC [33].



Obrázek 10: Kalibrační křivka pro vyhodnocení koncentrace NO_3^- pomocí CFA

Tabulka 10: Porovnání výsledků měření CFA a IC

Název	Území obce	CFA c (mg/l)	IC c (mg/l)	Rozdíl (%)
Helenčina studánka	Brno-Žebětín	19,2	15,1	27,2
Žebětínský rybník	Brno-Žebětín	0,03	0,02	38,0
Zahradní jezírko	Brno-Žebětín	0,04	0,15	-76,8
Potok Vrbovec	Brno-Bystřec	1,83	3,34	-45,1
Studánka Ptačí svatyně	Adamov	5,35	5,27	1,60
Vodovodní voda	Adamov	13,3	17,4	-23,7
Studna v bývalé šatlavě	Šlapanice	713	538	32,7
Zahradní studna	Brno-Maloměřice	18,7	17,4	7,41

5 VÝSLEDKY A DISKUZE

V rámci bakalářské práce byly sledovány hodnoty nejběžněji se vyskytujících aniontů ve vybraných studánkách v okolí Brna. Kvůli porovnání změn koncentrací aniontů v jarním a podzimním období byly vzorky odebírány ve dvou třítydenních kampaních od 30.5. do 13.6. 2023 a od 26.9. do 11.10. 2023.

5.1 Fyzikálně-chemické parametry

U všech vzorků během jarní (Tabulka 11) a podzimní (Tabulka 12) kampaně byla při odběru změřena vydatnost pramene, teplota vody a ihned po příjezdu do laboratoře také pH a konduktivita. Norma pro teplotu pitné vody udává doporučenou hodnotu 8–12 °C. Tuto hodnotu z jarní kampaně nesplňuje pouze vzorek č. 6 (Habrová studánka, 7,6 °C). V podzimní kampani některé studánky dosahují teplot přes 12 °C, ovšem rozdíl oproti doporučené hodnotě je zanedbatelný. Dalším pozorovaným parametrem byla vydatnost pramene. Tento parametr není udán normou, jedná se pouze o ukazatel sledující, kolik vody proteče v odběrovém místě za jednu minutu. Vydatnost pramene souvisí s koncentracemi aniontů obsažených ve vzorcích (Tabulka 16). U studánky č. 21 (studánka U Zelené hory) byla během podzimní kampaně pozorována nedostatečná vydatnost pramene (voda pouze podtékala pod studánkou) a z tohoto důvodu nebylo možné vzorek odebrat. Rozmezí vydatnosti studánek během jarní kampaně se pohybovalo v širokém rozmezí od 0,46 l/min do 19,8 l/min. Tyto velké rozdíly mohou být způsobeny rozdílnou vlhkostí podloží v dané lokalitě, hladinou podzemní vody a vydatností srážek. Rozmezí vydatností pramenů během podzimní kampaně se pohybovalo od 0,18 l/min do 18 l/min. Během podzimní kampaně u mnoha studánek došlo ke snížení vydatností pramenů a to převážně díky snížení vlhkosti podloží a úbytku srážek během letních měsíců. V laboratoři bylo změřeno pH, kdy mezní hodnotou pro pitnou vodu je 6,5–9,5. Toto rozmezí během jarní kampaně nesplňuje pouze vzorek č. 21 (studánka U Zelené hory, pH 5,76). V podzimní kampani nebylo pH u této studánky možno změřit. Nižší hodnota pH může být způsobena kyseljším typem podloží. Studánka se nachází v lese přilehlém k obci Příbram na Moravě. Posledním sledovaným fyzikálně-chemickým parametrem byla vodivost (konduktivita). Tento parametr je nepřímým indikátorem obsahu minerálních látek ve vzorku. Hodnoty vodivosti ve sledovaných vzorcích se v jarní kampani pohybovaly mezi 302–1711 $\mu\text{S/cm}$. Mezní hodnota daná normou pro pitnou vodu činí 1250 $\mu\text{S/cm}$. Tento parametr překročil pouze vzorek č. 2 (studánka Jana Doležala), kdy na jaře byla naměřena vodivost 1711 $\mu\text{S/cm}$ a na podzim 1620 $\mu\text{S/cm}$. Zvýšená hodnota tohoto parametru může být způsobena vysokými koncentracemi chloridů, které byly změřeny v jarní (Tabulka 13: Koncentrace aniontů v lesních studánkách změřené v jarní kampani) i v podzimní (Tabulka 14) kampani [11].

Tabulka 11: Změřené fyzikálně-chemické parametry vod během jarní kampaně

Vzorek č.	Název studánky	Teplota (°C)	Vydatnost (l/min)	pH	Vodivost (μS/cm)
1	studánka Leoše Janáčka	9,4	2,12	7,32	585
2	studánka Jana Doležala	9,6	2,98	6,70	1711
3	studánka U kalicha	10,4	0,65	7,95	559
4	studánka U Huberta	11,1	0,46	7,26	696
5	Žalmanova studánka	9,4	6,10	7,24	421
6	Habrová studánka	7,6	19,8	6,68	334
7	studánka U dudka	8,7	8,89	7,09	582
8	Kamenná studánka	9,4	2,40	7,48	724
9	studánka U lvích hlav	8,7	2,12	7,19	606
10	Kubitova studánka	9,4	3,60	6,83	416
11	studánka U Roštínské kaple	11,0	9,11	7,29	466
12	studánka Pět židel	9,0	1,24	7,34	696
13	studánka Zavadilka	9,5	11,9	7,15	840
14	studánka Bezdýnka	9,1	12,1	7,14	1011
15	studánka U tábora Jitřenka	9,3	3,27	7,17	899
16	studánka Zdravá voda	10,2	7,20	7,01	1174
17	studánka Ptačí svatyně	11,2	1,89	7,53	568
18	studánka Pod Novým hradem	11,0	2,25	7,20	508
19	studánka Barborka	10,3	1,89	7,64	592
20	studánka U Jamněnky	11,0	1,29	7,59	627
21	studánka U Zelené hory	9,6	7,20	5,76	302
22	Masarykova studánka	8,9	2,12	7,35	711
23	Helenčina studánka	10,3	6,00	6,82	562
24	Betelná studánka	9,7	7,20	7,03	942
25	Soví studánka	11,3	2,77	7,60	628

Tabulka 12: Změřené fyzikálně-chemické parametry vod během podzimní kampaně

Vzorek č.	Název studánky	Teplota (°C)	Vydatnost (l/min)	pH	Vodivost (μS/cm)
1	studánka Leoše Janáčka	13,4	2,28	7,19	545
2	studánka Jana Doležala	11,2	1,38	6,68	1620
3	studánka U kalicha	13,1	0,66	8,04	478
4	studánka U Huberta	11,5	0,36	7,33	606
5	Žalmanova studánka	10,3	7,20	7,31	337
6	Habrová studánka	14,3	18,0	6,93	334
7	studánka U dudka	10,8	9,00	7,10	545
8	Kamenná studánka	11,3	1,74	7,69	643
9	studánka U lvích hlav	9,2	7,20	6,98	618
10	Kubitova studánka	10,9	2,40	7,07	464
11	studánka U Roštínské kaple	14,3	2,76	7,32	504
12	studánka Pět židel	11,7	1,02	7,30	671
13	studánka Zavadilka	10,4	6,00	7,09	814
14	studánka Bezdýnka	10,4	9,00	7,13	976
15	studánka U tábora Jitřenka	10,2	4,02	7,24	903
16	studánka Zdravá voda	10,6	5,16	7,13	1125
17	studánka Ptačí svatyně	13,1	1,92	7,53	564
18	studánka Pod Novým hradem	15,6	0,18	7,32	468
19	studánka Barborka	13,3	0,84	7,82	637
20	studánka U Jamněnky	13,3	0,18	7,32	652
21	studánka U Zelené hory	–	–	–	–
22	Masarykova studánka	9,6	1,62	7,27	698
23	Helenčina studánka	10,9	2,76	6,88	555
24	Betelná studánka	11,0	6,00	7,00	887
25	Soví studánka	12,1	1,2	7,36	621

5.2 Koncentrace aniontů

Koncentrace aniontů byly vyhodnocovány pomocí IC během jarní (Tabulka 13) a podzimní (Tabulka 14) kampaně. Každý vzorek byl proměřen dvakrát a výsledky byly zprůměrovány. V jarní kampani bylo proměřeno všech vybraných 25 studánek. Během podzimní kampaně byla analyzována voda pouze ze 24 studánek, kvůli nedostatečné vydatnosti pramene studánky U Zelené hory (vzorek č. 21). Koncentrace aniontů Br^- , I^- , NO_2^- a PO_4^{3-} se ve všech vzorcích pohybovaly pod detekčním limitem (LOD). Vyhodnotitelnými anionty v daných vzorcích byly tedy F^- , Cl^- , NO_3^- a SO_4^- . Hodnoty koncentrací fluoridů v obou kampaních se ve všech vzorcích pohybovaly mezi 0,01–0,17 mg/l. Vzorky tedy s dostatečnou rezervou splnily NMH pro pitnou vodu, která činí 1,5 mg/l. Koncentrace chloridů se vyskytovaly v širokém rozpětí 1,64–362 mg/l. Jedinou studánkou, která překročila hodnoty dané normou byl vzorek č. 2 (studánka Jana Doležala). Hodnotami 362 mg/l v jarní kampani a 325 mg/l v podzimní kampani několikanásobně převyšuje MH (100 mg/l). Možné zvýšené koncentrace některých aniontů u vzorku č. 2 byly očekávány již při měření vodivosti vzorků (Tabulka 11 a Tabulka 12), kde byly tyto hodnoty v obou kampaních viditelně zvýšené. Vysoké koncentrace chloridů v obou kampaních mohou být způsobeny umístěním studánky ve svahu 80 metrů od frekventované pozemní komunikace mezi Soběšicemi a Útěchovem, kde v zimních měsících dochází k intenzivnímu zasolování. Třetím vyhodnotitelným aniontem byly dusičnany, které nepřekročily NMH (50 mg/l) v žádném proměřeném vzorku. Vyhodnocené koncentrace se pohybovaly od 0,45 mg/l do 45,4 mg/l. Posledním analyzovaným aniontem byly sírany, jejichž hodnoty byly stanoveny v rozmezí od 1,83 mg/l do 172 mg/l, tudíž žádný ze vzorků nepřekročil MH (250 mg/l).

Tabulka 13: Koncentrace aniontů v lesních studánkách změřené v jarní kampani

Vzorek č.	Název studánky	F ⁻ (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)	NO ₃ ⁻ (mg/l)	SO ₄ ⁻ (mg/l)
Norma pro pitnou vodu		1,5	100	50	250
1	studánka Leoše Janáčka	0,08	13,5	0,57	52,9
2	studánka Jana Doležala	0,08	362	1,45	160
3	studánka U kalicha	0,06	5,84	1,73	106
4	studánka U Huberta	0,05	19,6	14,4	69,7
5	Žalmanova studánka	0,14	6,12	1,41	57,9
6	Habrová studánka	0,09	10,2	1,80	85,2
7	studánka U dudka	0,08	6,01	2,44	141
8	Kamenná studánka	0,01	4,35	16,31	55,9
9	studánka U lvích hlav	0,01	7,59	12,0	87,0
10	Kubitova studánka	0,02	7,43	11,2	77,6
11	studánka U Roštínské kaple	0,04	2,55	1,70	1,83
12	studánka Pět židel	0,02	2,74	7,41	68,8
13	studánka Zavadilka	0,02	7,50	9,90	122
14	studánka Bezdýnka	0,04	11,6	5,62	95,0
15	studánka U tábora Jitřenka	0,04	4,57	0,72	96,2
16	studánka Zdravá voda	0,05	5,76	0,74	172
17	studánka Ptačí svatyně	0,07	3,22	4,37	26,6
18	studánka Pod Novým hradem	0,02	2,78	12,7	23,7
19	studánka Barborka	0,12	2,68	0,45	65,9
20	studánka U Jamněnky	0,06	8,09	12,2	29,7
21	studánka U Zelené hory	0,01	8,71	17,7	56,7
22	Masarykova studánka	0,05	6,46	17,3	88,6
23	Helenčina studánka	0,04	7,71	12,4	111
24	Betelná studánka	0,05	58,2	6,24	93,0
25	Soví studánka	0,07	6,45	3,54	89,3

Tabulka 14: Koncentrace aniontů v lesních studánkách změřené v podzimní kampani

Vzorek č.	Název studánky	F ⁻ (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)	NO ₃ ⁻ (mg/l)	SO ₄ ⁻ (mg/l)
Norma pro pitnou vodu		1,5	100	50	250
1	studánka Leoše Janáčka	0,08	6,07	2,28	42,5
2	studánka Jana Doležala	0,06	325	6,30	146
3	studánka U kalicha	0,04	5,28	6,90	97,4
4	studánka U Huberta	0,04	18,6	45,4	68,0
5	Žalmanova studánka	0,09	5,88	5,44	56,3
6	Habrová studánka	0,09	8,38	1,39	67,3
7	studánka U dudka	0,08	4,19	6,28	120
8	Kamenná studánka	0,02	4,79	20,3	41,5
9	studánka U lvích hlav	0,02	5,32	16,1	68,7
10	Kubitova studánka	0,03	15,1	10,6	74,0
11	studánka U Roštínské kaple	0,06	3,51	1,78	38,8
12	studánka Pět židel	0,03	4,47	11,3	61,9
13	studánka Zavadilka	0,03	12,6	13,8	105
14	studánka Bezdýnka	0,06	7,19	8,37	75,6
15	studánka U tábora Jitřenka	0,05	5,90	0,89	83,7
16	studánka Zdravá voda	0,06	6,90	1,20	148
17	studánka Ptačí svatyně	0,09	4,56	5,05	29,9
18	studánka Pod Novým hradem	0,03	3,82	18,4	31,8
19	studánka Barborka	0,17	1,64	0,59	84,9
20	studánka U Jamněnky	0,10	13,5	17,2	46,5
21	studánka U zelené hory	–	–	–	–
22	Masarykova studánka	0,07	9,23	33,2	110
23	Helenčina studánka	0,06	13,8	30,2	136
24	Betelná studánka	0,06	79,3	16,2	121
25	Soví studánka	0,07	9,11	4,48	116

Procentuální porovnání rozdílů koncentrací aniontů v podzimní kampani vůči jarní je uvedeno v Tabulka 15. Rozdíl není stanoven pouze u studánky U Zelené hory, kvůli nedostatečnému průtoku pramene během podzimní kampaně. Vyhodnocení procentuálních rozdílů poukazuje u několika studánek na významné rozdíly v koncentracích aniontů v jarním a podzimním období. Nejvýraznější rozdíly lze pozorovat u vzorku studánky Leoše Janáčka a studánky Jana Doležala, dále u studánek U kalicha, U Huberta, Žalmanovy studánky, studánky U dudka, Kamenné studánky a studánky U lvích hlav.

Jedním z faktorů, který ovlivňuje koncentrační rozdíly mezi jarní a podzimní kampaní je vydatnost pramene dané studánky. V případě nižší vydatnosti pramenů, která byla změřena během podzimních měsíců u více než poloviny studánek, jsou koncentrace aniontů vyšší. V případě vyšší vydatnosti jsou anionty více naředěny a koncentrace tak mohou být nižší.

Obecně lze říct, že se koncentrace fluoridů (Tabulka 16) ve vzorcích v podzimní kampani lehce zvýšila. Dvojnásobné zvýšení je možné sledovat u Kamenné studánky a studánky U lvích hlav.

U 13 studánek je pozorováno lehké zvýšení koncentrací chloridů (Tabulka 17) během podzimního období, naopak u studánky Leoše Janáčka, U dudka a Bezdýnka je znatelné snížení. Dvojnásobné zvýšení koncentrace je viditelné pouze u Kubitovy studánky.

U studánek Leoše Janáčka, Jana Doležala, U kalicha, U Huberta, U dudka a Žalmanovy studánky je pozorován několikanásobný nárůst koncentrací dusičnanů (Tabulka 18) během podzimní kampaně. To může být způsobeno například použitím hnojiv obsahující dusičnany v zemědělských oblastech. K vyšší koncentraci dusičnanů může přispět také činnost mikroorganismů, kdy dochází k rozkladu organických látek v půdě.

Koncentrace síranů (Tabulka 19) byly ve většině případů nižší nebo se nepatrně zvýšily. Výjimku tvoří pouze extrémní nárůst (2122 %) ve vodě ze studánky U Roštínské kaple. Tato studánka se nachází na frekventovaném poutním místě u kapličky a je zde tedy možná kontaminace související s množstvím návštěvníků. Množství síranů však i přes strmý nárůst v podzimním období zdaleka nepřekročilo MH 250 mg/l.

Celkově lze konstatovat, že změny v koncentracích aniontů mezi jarní a podzimní kampaní jsou významné a mohou být ovlivněny různými faktory, jako jsou meteorologické podmínky, vydatnost pramene, sezónní vlivy, nebo lidská aktivita v okolí studánek.

Tabulka 15: Procentuální rozdíly koncentrací podzimní kampaně vůči jarní kampani

Vzorek č.	Název studánky	F ⁻ (%)	Cl ⁻ (%)	NO ₃ ⁻ (%)	SO ₄ ⁻ (%)
1	studánka Leoše Janáčka	100	44,9	400	80,4
2	studánka Jana Doležala	75,0	89,8	434	91,3
3	studánka U kalicha	66,7	90,4	399	91,6
4	studánka U Huberta	80,0	94,8	314	97,5
5	Žalmanova studánka	64,3	96,1	386	97,3
6	Habrová studánka	100	82,4	77,2	79,0
7	studánka U dudka	100	69,7	257	84,7
8	Kamenná studánka	200	110	125	74,4
9	studánka U lvích hlav	200	70,1	134	79,0
10	Kubitova studánka	150	203	93,9	95,4
11	studánka U Roštínské kaple	150	138	105	2122
12	studánka Pět židel	150	163	153	90,0
13	studánka Zavadilka	150	168	139	85,7
14	studánka Bezdýnka	150	61,8	149	79,5
15	studánka U tábora Jitřenka	125	129	124	87,0
16	studánka Zdravá voda	120	120	162	86,0
17	studánka Ptačí svatyně	129	142	116	113
18	studánka Pod Novým hradem	150	137	145	134
19	studánka Barborka	142	61,2	131	129
20	studánka U Jamněnky	167	167	141	157
21	studánka U Zelené hory	–	–	–	–
22	Masarykova studánka	140	143	193	124
23	Helenčina studánka	150	179	244	123
24	Betelná studánka	120	136	259	130
25	Soví studánka	100	141	127	130

Tabulka 16: Procentuální porovnání vydatností pramenů a koncentrací fluoridů podzimní kampaně vůči jarní kampani

Vzorek č.	Název studánky	Rozdíl vydatnosti (%)	c jaro (mg/l)	c podzim (mg/l)	Rozdíl koncentrace (%)
1	studánka Leoše Janáčka	108	0,08	0,08	100
2	studánka Jana Doležala	46,3	0,08	0,06	75,0
3	studánka U kalicha	102	0,06	0,04	66,7
4	studánka U Huberta	78,3	0,05	0,04	80,0
5	Žalmanova studánka	118	0,14	0,09	64,3
6	Habrová studánka	90,9	0,09	0,09	100
7	studánka U dudka	101	0,08	0,08	100
8	Kamenná studánka	72,5	0,01	0,02	200
9	studánka U lvích hlav	340	0,01	0,02	200
10	Kubitova studánka	66,7	0,02	0,03	150
11	studánka U Roštínské kaple	30,3	0,04	0,06	150
12	studánka Pět židel	82,3	0,02	0,03	150
13	studánka Zavadilka	50,4	0,02	0,03	150
14	studánka Bezdýnka	74,4	0,04	0,06	150
15	studánka U tábora Jitřenka	123	0,04	0,05	125
16	studánka Zdravá voda	71,7	0,05	0,06	120
17	studánka Ptačí svatyně	102	0,07	0,09	129
18	studánka Pod Novým hradem	8,00	0,02	0,03	150
19	studánka Barborka	44,4	0,12	0,17	142
20	studánka U Jamněnky	14,0	0,06	0,10	167
21	studánka U Zelené hory	–	0,01	–	–
22	Masarykova studánka	98,2	0,05	0,07	140
23	Helenčina studánka	98,8	0,04	0,06	150
24	Betelná studánka	94,2	0,05	0,06	120
25	Soví studánka	98,9	0,07	0,07	100

Tabulka 17: Procentuální porovnání vydatností pramenů a koncentrací chloridů podzimní kampaně vůči jarní kampani

Vzorek č.	Název studánky	Rozdíl vydatnosti (%)	c jaro (mg/l)	c podzim (mg/l)	Rozdíl koncentrace (%)
1	studánka Leoše Janáčka	108	13,5	6,07	44,9
2	studánka Jana Doležala	46,3	362	325	89,8
3	studánka U kalicha	102	5,84	5,28	90,4
4	studánka U Huberta	78,3	19,6	18,6	94,8
5	Žalmanova studánka	118	6,12	5,88	96,1
6	Habrová studánka	90,9	10,2	8,38	82,4
7	studánka U dudka	101	6,01	4,19	69,7
8	Kamenná studánka	72,5	4,35	4,79	110
9	studánka U lvích hlav	340	7,59	5,32	70,1
10	Kubitova studánka	66,7	7,43	15,1	203
11	studánka U Roštínské kaple	30,3	2,55	3,51	138
12	studánka Pět židel	82,3	2,74	4,47	163
13	studánka Zavadilka	50,4	7,50	12,6	168
14	studánka Bezdýnka	74,4	11,6	7,19	61,8
15	studánka U tábora Jitřenka	123	4,57	5,90	129
16	studánka Zdravá voda	71,7	5,76	6,90	120
17	studánka Ptačí svatyně	102	3,22	4,56	142
18	studánka Pod Novým hradem	8,00	2,78	3,82	137
19	studánka Barborka	44,4	2,68	1,64	61,2
20	studánka U Jamněnky	14,0	8,09	13,5	167
21	studánka U Zelené hory	–	8,71	–	–
22	Masarykova studánka	98,2	6,46	9,23	143
23	Helenčina studánka	98,8	7,71	13,8	179
24	Betelná studánka	94,2	58,2	79,3	136
25	Soví studánka	98,9	6,45	9,11	141

Tabulka 18: Procentuální porovnání vydatností pramenů a koncentrací dusičnanů podzimní kampaně vůči jarní kampani

Vzorek č.	Název studánky	Rozdíl vydatnosti (%)	c jaro (mg/l)	c podzim (mg/l)	Rozdíl koncentrace (%)
1	studánka Leoše Janáčka	108	0,57	2,28	400
2	studánka Jana Doležala	46,3	1,45	6,30	434
3	studánka U kalicha	102	1,73	6,90	399
4	studánka U Huberta	78,3	14,4	45,4	314
5	Žalmanova studánka	118	1,41	5,44	386
6	Habrová studánka	90,9	1,80	1,39	77,2
7	studánka U dudka	101	2,44	6,28	257
8	Kamenná studánka	72,5	16,31	20,3	125
9	studánka U lvích hlav	340	12,0	16,1	134
10	Kubitova studánka	66,7	11,2	10,6	93,9
11	studánka U Roštínské kaple	30,3	1,70	1,78	105
12	studánka Pět židel	82,3	7,41	11,3	153
13	studánka Zavadilka	50,4	9,90	13,8	139
14	studánka Bezdýnka	74,4	5,62	8,37	149
15	studánka U tábora Jitřenka	123	0,72	0,89	124
16	studánka Zdravá voda	71,7	0,74	1,20	162
17	studánka Ptačí svatyně	102	4,37	5,05	116
18	studánka Pod Novým hradem	8,00	12,7	18,4	145
19	studánka Barborka	44,4	0,45	0,59	131
20	studánka U Jamněnky	14,0	12,2	17,2	141
21	studánka U Zelené hory	–	17,7	–	–
22	Masarykova studánka	98,2	17,3	33,2	193
23	Helenčina studánka	98,8	12,4	30,2	244
24	Betelná studánka	94,2	6,24	16,2	259
25	Soví studánka	98,9	3,54	4,48	127

Tabulka 19: Procentuální porovnání vydatností pramenů a koncentrací síranů podzimní kampaně vůči jarní kampani

Vzorek č.	Název studánky	Rozdíl vydatnosti (%)	c jaro (mg/l)	c podzim (mg/l)	Rozdíl koncentrace (%)
1	studánka Leoše Janáčka	108	52,9	42,5	80,4
2	studánka Jana Doležala	46,3	160	146	91,3
3	studánka U kalicha	102	106	97,4	91,6
4	studánka U Huberta	78,3	69,7	68,0	97,5
5	Žalmanova studánka	118	57,9	56,3	97,3
6	Habrová studánka	90,9	85,2	67,3	79,0
7	studánka U dudka	101	141	120	84,7
8	Kamenná studánka	72,5	55,9	41,5	74,4
9	studánka U lvích hlav	340	87,0	68,7	79,0
10	Kubitova studánka	66,7	77,6	74,0	95,4
11	studánka U Roštínské kaple	30,3	1,83	38,8	2122
12	studánka Pět židel	82,3	68,8	61,9	90,0
13	studánka Zavadilka	50,4	122	105	85,7
14	studánka Bezdýnka	74,4	95,0	75,6	79,5
15	studánka U tábora Jitřenka	123	96,2	83,7	87,0
16	studánka Zdravá voda	71,7	172	148	86,0
17	studánka Ptačí svatyně	102	26,6	29,9	113
18	studánka Pod Novým hradem	8,00	23,7	31,8	134
19	studánka Barborka	44,4	65,9	84,9	129
20	studánka U Jamněnky	14,0	29,7	46,5	157
21	studánka U Zelené hory	–	56,7	–	–
22	Masarykova studánka	98,2	88,6	110	124
23	Helenčina studánka	98,8	111	136	123
24	Betelná studánka	94,2	93,0	121	130
25	Soví studánka	98,9	89,3	116	130

6 ZÁVĚR

Předložená bakalářská práce byla zaměřena na stanovení aniontů ve vodách z vybraných lesních studánek, které reprezentují kvalitu vody v Brně a okolí. Cílem této práce bylo vyhodnotit koncentrace aniontů ve 25 vzorcích vod z lesních studánek, které se používají jako možné zdroje pitné vody.

V průběhu práce byly také vyhodnoceny procentuální rozdíly v koncentracích aniontů v jarním a podzimním období. Jarní vzorkovací kampaň probíhala v rozmezí od 30.5. do 13.6. 2023 a podzimní kampaň byla následně uskutečněna v rozmezí od 26.9. do 11.10. 2023.

Tato práce přispívá k pochopení sezónních změn v chemickém složení studánkových vod. Studie zdůrazňuje význam sledování aniontů, jako jsou fluoridy, chloridy, bromidy, jodidy dusitany, dusičnany, sírany a fosforečnany, které mohou odrážet přírodní i lidské vlivy v daném prostředí. Identifikace a kvantifikace těchto aniontů poskytuje klíčové informace pro ochranu vodních zdrojů a přijímání opatření na zlepšení kvality vody.

7 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] KLECZEK, Josip (ed.). *Voda ve vesmíru, na zemi, v životě a v kultuře*. V Praze: Radioservis, 2011. ISBN 978-80-86212-98-2.
- [2] MICHALSKI, Rajmund. Ion Chromatography as a Reference Method for Determination of Inorganic Ions in Water and Wastewater. Online. *Critical reviews in analytical chemistry*. 2006, roč. 36, č. 2, s. 107-127. ISSN 1040-8347. Dostupné z: <https://doi.org/10.1080/10408340600713678>.
- [3] PITTER, Pavel. *Hydrochemie*. 5. aktualizované a doplněné vydání. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2015. ISBN 978-80-7080-928-0.
- [4] DELLASALA, Dominick A. a GOLDSTEIN, Michael I. *Encyclopedia of the Anthropocene*. Waltham, MA: Elsevier, 2018. ISBN 9780128143742.
- [5] STRAKA, Jakub. *Metody stanovení základního odtoku na příkladu anenského potoka v Košetících*. Bakalářská práce, vedoucí Mgr. Tomáš Kuchovský, Ph.D. Brno: Masarykova univerzita, Přírodovědecká fakulta, 2010. Dostupné také z: <https://is.muni.cz/th/owjxn/>.
- [6] HAYASHI, Masaki a ROSENBERRY, Donald O. Effects of Ground Water Exchange on the Hydrology and Ecology of Surface Water. Online. *Ground water*. 2002, roč. 40, č. 3, s. 309-316. ISSN 0017-467X. Dostupné z: <https://doi.org/10.1111/j.1745-6584.2002.tb02659.x>.
- [7] FITTS, Charles R. *Groundwater Science*. Online. 2nd edition. Academic Press, 2012. ISBN 978-0-12-384705-8. Dostupné z: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/C2009-0-62950-0>.
- [8] KOTLÍK, Bohumil; LANGHANS, Jan; BERNÁTH, Pavel a KRAJÁK, Vladimír. *Vzorkování II: životní prostředí*. Český Těšín: 2 Theta, 2016. ISBN 978-80-86380-81-0.
- [9] GIORDANO, Mark. Global Groundwater? Issues and Solutions. *Annual Review of Environment and Resources*. 2009, roč. 34, s. 153-178. ISSN 1545-2050.
- [10] RAGNO, Gaetano; LUCA, Michele De a IOELE, Giuseppina. An application of cluster analysis and multivariate classification methods to spring water monitoring data. Online. *Microchemical journal*. 2007, roč. 87, č. 2, s. 119-127. ISSN 0026-265X. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.microc.2007.06.003>.
- [11] ČESKÁ REPUBLIKA. Vyhláška č. 252/2004 Sb. ze dne 22. dubna 2004, kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody. In: *Sbírka zákonů České republiky*. 2004. ISSN 2644-4674.

- [12] ČESKÁ REPUBLIKA. Zákon č. 258/2000 Sb. ze dne 14. července 2000 o ochraně veřejného zdraví a o změně některých souvisejících zákonů. In: *Sbírka zákonů České republiky*. ISSN 2644-4674.
- [13] ALEXA, Lukáš a MIKUŠKA, Pavel. Simultaneous Determination of Gaseous Ammonia and Particulate Ammonium in Ambient Air Using a Cylindrical Wet Effluent Diffusion Denuder and a Continuous Aerosol Sampler. Online. *Analytical chemistry (Washington)*. 2020, roč. 92, č. 24, s. 15827-15836. ISSN 0003-2700. Dostupné z: <https://doi.org/10.1021/acs.analchem.0c03037>.
- [14] YUCE, Galip a ALPTEKIN, Candan. In situ and laboratory treatment tests for lowering of excess manganese and iron in drinking water sourced from river-groundwater interaction. Online. *Environmental earth sciences*. 2013, roč. 70, č. 6, s. 2827-2837. ISSN 1866-6280. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s12665-013-2343-x>. [cit. 2023-11-19].
- [15] WANG, Yumin a ZHU, Guangcan. Risk associated with increasing bromide in drinking water sources in Yancheng City, China. Online. *Environmental monitoring and assessment*. 2020, roč. 192, č. 1, s. 36-36. ISSN 0167-6369. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s10661-019-7997-8>. [cit. 2023-12-02].
- [16] NARAYANA, Badiadka a SUNIL, Kenchaiah. A Spectrophotometric Method for the Determination of Nitrite and Nitrate. Online. *Eurasian Journal of Analytical Chemistry*. 2009, s. 204-214. ISSN 1306-3057. Dostupné z: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:98014272>.
- [17] ALAHI, Md. Eshrat E. a MUKHOPADHYAY, Subhas Chandra. Detection methods of nitrate in water: A review. Online. *Sensors and actuators. A. Physical*. 2018, roč. 280, s. 210-221. ISSN 0924-4247. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.sna.2018.07.026>.
- [18] FAWELL, John. *Fluoride in Drinking-water*. World Health Organization, 2006. ISBN 9789241563192.
- [19] VALETOVÁ, Olga; MÁCHOVÁ, Jana; FAINA, Richard; KROUPOVÁ, Hana a SVOBODOVÁ, Zdeňka. *Souprava COMBI - terénní analýzy vody*. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích: Metodik, 2009. ISBN 978-80-85887-90-7.
- [20] BASHIR, Muhammad Tariq a ALI, Salmiaton. Health Effects from Exposure to Sulphates and Chlorides in Drinking Water. *Pakistan Journal of Medical & Health Sciences*. 2012, roč. 6, č. 3, s. 648-652.
- [21] POTUŽÁK, Miloš. Minerální vody ve výživě a terapii. Online. *Praktické lékařství*. 2011, s. 242-244. Dostupné z: <https://www.praktickelekarenstvi.cz/pdfs/lek/2011/05/10.pdf>.
- [22] KARAVOLTSOS, Sotirios; SAKELLARI, Aikaterini; MIHOPOULOS, Nikolaos; DASSENAKIS, Manos a SCOULLOS, Michael J. Evaluation of the quality of drinking

- water in regions of Greece. Online. *Desalination*. 2008, roč. 224, č. 1, s. 317-329. ISSN 0011-9164. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.desal.2007.06.013>.
- [23] HORÁKOVÁ, Marta. *Analytika vody*. Vyd. 2., opr. a rozš. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2003. ISBN 80-7080-520-X.
- [24] MALÝ, Josef a MALÁ, Jitka. *Chemie a technologie vody*. Brno: NOEL 2000, 1996. ISBN 80-86020-13-4.
- [25] SKOOG, Douglas A.; WEST, Donald M.; HOLLER, F. James a CROUCH, Stanley R. *Analytická chemie*. Přeložil Karel NESMĚRÁK, přeložil Václav ČERVENÝ, přeložil Tomáš KRÍŽEK, přeložil Eliška NOVÁKOVÁ. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2019. ISBN 978-80-7592-043-0.
- [26] KANICKÝ, Viktor; KUČERA, Jan a TOMÁŠEK, Vladimír. *Analýza anorganických látek*. Český Těšín: 2 Theta, 2021. ISBN 978-80-88279-06-8.
- [27] KRÍŽEK, Martin a ŠÍMA, Jan. *Analytická chemie*. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích Zemědělská fakulta, 2015. ISBN 978-80-7394-486-5.
- [28] *Elektroanalytické metody: Sborník přednášek z kurzu*. Český Těšín: 2 THETA, 2001. ISBN 80-86380-07-6.
- [29] BUSZEWSKI, Boguslaw; DZIUBAKIEWICZ, Ewelina a SZUMSKI, Michal (ed.). *Electromigration techniques: theory and practice*. Springer series in chemical physics, vol. 105. Berlin: Springer, 2013. ISBN 978-3-642-35042-9.
- [30] Terminology for Analytical Capillary Electromigration Techniques (IUPAC Recommendations 2003). Online. *Chemistry international*. 2004, roč. 26, č. 3, s. 28-28. ISSN 0193-6484. Dostupné z: <https://doi.org/10.1515/ci.2004.26.3.28>.
- [31] BETTERIDGE, David. Flow injection analysis. Online. *Analytical chemistry (Washington)*. 1978, roč. 50, č. 9, s. 832A-846A. ISSN 0003-2700. Dostupné z: <https://doi.org/10.1021/ac50031a001>.
- [32] *Národní registr pramenů a studánek*. Online. ESTUDÁNKY. 2008. Dostupné z: <https://www.estudanky.eu/>.
- [33] ČMELÍKOVÁ, Dorota. *Simultánní stanovení ultrastopových koncentrací kyseliny dusičné a dusičnanů v ovzduší pomocí chemiluminiscenčních online analyzátorů*. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta chemická, 2023.
- [34] MIKUŠKA, Pavel; ČAPKA, Lukáš; VEČEŘA, Zbyněk; KALINICHENKO, Ivan a KELLNER, Josef. Photo-induced flow-injection determination of nitrate in water. Online. *International journal of environmental analytical chemistry*. 2014, roč. 94, č. 10, s. 1038-1049. ISSN 0306-7319. Dostupné z: <https://doi.org/10.1080/03067319.2014.914185>.

8 SEZNAM ZKRATEK

ITP – kapilární izotachoforéza

CZE – kapilární zónová elektroforéza

CGU-ACTJU – Condensation Grow Unit – Aerosol Counterflow Two-Jets Unit

ÚIACH AV ČR – Ústav analytické chemie Akademie věd České republiky

IC – Iontová chromatografie

CFA – kontinuální průtokový analyzátor

SFA – sekvenční průtokový analyzátor

FIA – průtokový injekční analyzátor

SIA – sekvenční injekční analyzátor

DH – doporučená hodnota

MH – mezní hodnota

NMH – nejvyšší mezní hodnota

LOD – detekční limit

9 SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1: Fotografie studánek (vzorky 1–4)

Příloha 2: Fotografie studánek (vzorky 5–8)

Příloha 3: Fotografie studánek (vzorky 9–12)

Příloha 4: Fotografie studánek (vzorky 13–16)

Příloha 5: Fotografie studánek (vzorky 17–20)

Příloha 6: Fotografie studánek (vzorky 21–24)

Příloha 7: Fotografie studánek (vzorek 25)

10 PŘÍLOHY

Příloha 1: Fotografie studánek (vzorky 1–4)

1. studánka Leoše Janáčka



2. studánka Jana Doležala



3. studánka U Kalicha



4. studánka U Huberta



Příloha 2: Fotografie studánek (vzorky 5–8)

5. *Žalmanova studánka*



6. *Habrová studánka*



7. *studánka U dudka*



8. *Kamenná studánka*



Příloha 3: Fotografie studánek (vzorky 9–12)

9. studánka U lvích hlav



10. Kubitova studánka



11. studánka U Roštínské kaple



12. studánka Pět židel



Příloha 4: Fotografie studánek (vzorky 13–16)

13. studánka Zavadilka



14. studánka Bezdýnka



15. studánka U tábora Jitřenka



16. studánka Zdravá voda



Příloha 5: Fotografie studánek (vzorky 17–20)

17. studánka Ptačí svatyně



18. studánka Pod Novým hradem



19. studánka Barborka



20. studánka U Jamněnky



Příloha 6: Fotografie studánek (vzorky 21–24)

21. studánka U Zelené hory



22. Masarykova studánka



23. Helenčina studánka



24. Betelná studánka



Příloha 7: Fotografie studánek (vzorek 25)

25. *Soví studánka*

