



Zdravotně
sociální fakulta
Faculty of Health
and Social Studies

Jihočeská univerzita
v Českých Budějovicích
University of South Bohemia
in České Budějovice

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích
Fakulta zdravotně sociální
Ústav laboratorní diagnostiky a veřejného zdraví

Bakalářská práce

Jsou studánky bezpečné? Vliv kvality vody na zdraví obyvatelstva.

Vypracovala: Ing. Zuzana Petroušková

Vedoucí práce: Ing. Petr Porcal, Ph.D.

České Budějovice 2016

Abstrakt

Bakalářská práce sleduje změny kvality vody jedenácti vybraných studánek veřejností vyhledávaných jako náhrada za pitnou vodu dodávanou z rozvodných sítí. V průběhu jednoho roku byly sledovány mikrobiologické, fyzikální a chemické parametry odpovídající nebo i překračující rozsah kráceného rozboru pitné vody, který je pro podobné zdroje vody vyžadován jednou ročně.

U mikrobiologických ukazatelů čistoty vody byly limity překročeny jedenáctkrát (z celkem 41 vzorků), nejčastěji v letních měsících, tudíž lze suché, teplé počasí považovat pro kvalitu pitné vody za rizikové.

Z chemických parametrů byly kritické dusičnany, které byly u jedné ze studánek trvale zvýšené, a patrně zapříčiněné hnojením polí v povodí studánky.

Voda 64% studánek byla alespoň při jednom odběru, minimálně v jednom parametru neuspokojivá.

Četnost odběrů doporučená Vyhláškou č. 252/2004 Sb. (Hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost kontrol) je pro důslednou kontrolu pitné vody nedostatečná a nedokáže odhalit hrozící riziko znečištění.

Klíčová slova: pitná voda, studánky, znečištění vody.

Abstract

Bachelor thesis aims at water quality in eleven springs and wells usually considered as a source of drinking water with superior quality exceeding the quality of drinking water from municipal sources. Springs and wells were monitored for one year and microbial, physical and chemical parameters were determined according to the Czech authorities' requirements.

Microbial contamination was recorded in eleven cases mostly during dry summer. Thus dry hydrological conditions should be considered as a critical factor for water quality.

Chemical parameters were exceeded in nitrate concentration at one site, probably due to agriculture in spring catchment.

Water quality exceeded required values in 64%, thus the required frequency of water quality monitoring is not sufficient and water quality could exceed requirements during parts of a year.

Keywords: drinking water, springs, contamination of water.

Prohlášení

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci jsem vypracoval(a) samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce, a to – v nezkrácené podobě – v úpravě vzniklé vypuštěním vyznačených částí archivovaných fakultou – elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejich internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby kvalifikační práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé kvalifikační práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

V Českých Budějovicích dne 3. května 2016

.....

Zuzana Petroušková

Poděkování

Ráda bych na tomto místě poděkovala panu Ing. Petru Porcalovi, Ph.D. za poskytnuté informace a věcné připomínky k vypracování bakalářské práce.

Dále děkuji Ing. Radce Malé a kolektivu chemických laboratoří Hydrobiologického ústavu AV ČR za vytvoření přátelského pracovního prostředí a pomoc při analýzách vzorků.

Obsah

1	Úvod.....	10
2	Teoretická část	11
2.1	Tvorba podzemní vody	11
2.2	Znečištění vody.....	12
2.2.1	Znečištění podzemních vod	13
2.3	Chemické ukazatele čistoty vody	13
2.3.1	Amonné ionty	14
2.3.2	Dusitany	15
2.3.3	Dusičnany	15
2.3.4	Hydrogenuhličitany	16
2.3.5	Celkový organický uhlík.....	16
2.3.6	Železo.....	17
2.3.7	Vápník a hořčík.....	17
2.3.8	Sodík a draslík	18
2.3.9	Chloridy	18
2.3.10	Sírany	19
2.3.11	Mangan	19
2.3.12	Radon.....	20
2.4	Fyzikální ukazatele čistoty vody.....	20
2.4.1	Konduktivita	20
2.4.2	pH.....	21
2.4.3	Teplota	21
2.5	Mikrobiologické ukazatele čistoty vody.....	22
2.5.1	Escherichia coli.....	23
2.5.2	Koliformní bakterie.....	23
2.5.3	Enterokoky.....	24
2.5.4	Počty kolonií při 22°C a při 36°C.....	24
2.6	Organoleptické ukazatele čistoty vody	25

2.6.1	Zákal a barva.....	25
2.6.2	Pach a chuť	26
2.7	Klasifikace typu vody	26
3	Metodika	27
3.1	Výběr studánek	27
3.2	Popis studánek	28
3.3	Sběr dat před odběrem	29
3.4	Odběr vzorků	30
3.5	Chemické (a fyzikální) analýzy	32
3.5.1	Stanovení NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^- , Cl^- a SO_4^{2-}	32
3.5.2	Stanovení HCO_3^-	33
3.5.3	Stanovení TOC	34
3.5.4	Stanovení Fe, Ca, Mg, Na, K	34
3.5.5	Stanovení Mn a Ra.....	35
3.5.6	Měření konduktivity	35
3.5.7	Měření pH	35
3.5.8	Měření teploty.....	36
3.5.9	Měření průtoku	36
3.6	Stanovení mikrobiologických ukazatelů.....	36
3.6.1	Příprava agarů	37
3.6.2	Stanovení E. coli	37
3.6.3	Stanovení koliformních bakterií	37
3.6.4	Stanovení enterokoků	38
3.6.5	Stanovení počtu kolonií při 22°C	39
3.6.6	Stanovení kolonií při 36°C	39
3.7	Stanovení organoleptických ukazatelů	40
3.7.1	Stanovení pachu a chuti	40
3.7.2	Stanovení zákalu	40
3.7.3	Stanovení barvy	41
3.8	Klasifikace vody dle převládajících iontů	41

3.9	Bilance aniontů a kationtů	42
4	Výsledky	44
4.1	Data z meteorologických stanic	44
4.2	Chemické a fyzikální ukazatele čistoty vody	44
4.3	Mikrobiologické ukazatele čistoty vody	46
4.4	Organoleptické ukazatele čistoty vody	47
4.5	Klasifikace typu vody a bilance iontů	47
5	Diskuse	49
6	Závěr	54
7	Seznam informačních zdrojů	55
8	Přílohy	61
	Příloha 1: Popis studánek	61
	Příloha 2: Příprava agarů	64
	Příloha 3: Výsledky studánek	66

Seznam použitých zkratk

AAS	atomová absorpční spektrometrie
AV ČR	Akademie věd České republiky
ČHMÚ	Český hydrometeorologický ústav
ČR	Česká republika
ČSN	Československá státní norma
DH	doporučená hodnota
HBÚ	Hydrobiologický ústav
CHSK	chemická spotřeba kyslíku
IC	iontová chromatografie
KNK	kyselinová neutralizační kapacita
KTJ	kolonie tvořící jednotka
MŽP	Ministerstvo životního prostředí ČR
MH	mezní hodnota (pro ukazatele nepředstavující akutní zdravotní riziko)
NMH	nejvyšší mezní hodnota (pro zdravotně závažné ukazatele jakosti vody)
NPOC	netěkavý organický uhlík
TOC	celkový organický uhlík (Total Organic Carbon)
USA	Spojené státy americké (United States of America)
WHO	Světová zdravotnická organizace (World Health Organization)

1 Úvod

„Znám křišťálovou studánku,
kde nejhlubší je les,
tam roste tmavé kapradí
a vůkol rudý vřes.

Tam ptáci, laně chodí pít
pod javorový kmen,
ti ptáci za dne bílého,
ty laně v noci jen...“ (1)

Snad každý se někdy setkal s verši našeho známého básníka, ale nepochybně si jen málokdo uvědomil, jak jsou pravdivé. Ovšem nejen zvěř chodí pít do nejhlubšího lesa, studánky a různě vyvěrající podzemní prameny jsou i lidmi často užívány jako zdroje pitné vody. Některým pramenům jsou dokonce přisuzovány léčivé účinky, obvykle na základě nějaké pověsti či místní báchorky. Občas se najde někdo, kdo se o studánku stará, ale ať už je to jednotlivec, spolek nebo obec, jen zřídkakdy je udělán rozbor vody, aby se zjistilo, zda je vůbec možné vodu bez potenciálního nebezpečí užívat.

Cílem této práce je analýza zdravotních rizik konzumace vody ze studánek považovaných veřejností za kvalitní náhradu pitné vody z rozvodných sítí.

V rámci této práce bylo sledováno 11 studánek a v průběhu jednoho roku byla hodnocena kvalita jejich vody po chemické, mikrobiologické i organoleptické stránce. Výsledky jsou prezentovány v souvislosti s ročním obdobím a případnými významnými hydrologickými událostmi, přičemž odběry vody byly uskutečněny tak, aby zachytily všechny důležité mezníky ve vývoji počasí.

2 Teoretická část

Voda je nejrozšířenější anorganická sloučenina na světě, pokrývá 71% povrchu planety Země a i naše tělo je ze 60% tvořeno vodou. Na vodě, kterou většinou bereme jako samozřejmost závisí život jako takový. (2)

Většina (97%) z veškeré vody na Zemi je uloženo v oceánech (3), jen zbývající 3% zahrnují sladkou vodu (2), přičemž téměř 2% jsou skryta ve sněhu a ledu (4).

Jen 0,027% z celkového množství vody je využíváno lidmi (2), z toho nejvíce podzemní a povrchová voda vzhledem k jejich snadné dostupnosti. (3)

Podzemní vody je až stokrát více než povrchové, ale využití našla spíše voda povrchová. Ve Spojených státech amerických byl v roce 1995 poměr použití povrchové a podzemní vody 78:22. (3) V České republice je dokonce tento poměr dlouhodobě roven 90:10. (5) V některých státech Evropy však podzemní voda tvoří převážnou část obyvatelstvem používané pitné vody, což je z důvodu ekonomické náročnosti úpravy výhodnější. Více jak 90% pitné vody určené pro spotřebu obyvatelstva je tvořeno podzemní vodou ve státech jako Rakousko, Portugalsko a Itálie. V Dánsku je poměr používané povrchové vody ku podzemní dokonce 2:98. (4)

2.1 Tvorba podzemní vody

Podzemní voda je doplňována třemi způsoby. Největší podíl na tvorbě jejích zásob má infiltrace srážkových a povrchových vod, následuje kondenzace vodních par v půdě a vznik a kondenzace vodních par z magmatu. K doplňování zásob podzemních vod dochází obvykle na jaře. V létě, na podzim a v zimě se naopak její zásoby zmenšují.

Kvalitu podzemních vod významně ovlivňuje složení půd a hornin. Když jimi voda protéká, obohacuje se různými látkami buď jejich přímým rozpouštěním nebo chemickým působením (hydrolýza nebo chemická či biochemická oxidace). Zároveň

může podzemní voda obsahovat složky srážkových a povrchových vod, které se do ní infiltrují (toxické kovy, uhlovodíky,...). (6)

2.2 Znečištění vody

Proč je voda tak náchylná ke znečištění? Voda vytváří mezimolekulární vodíkové vazby a prostorové pseudokrystalické struktury, což jí umožňuje dobře rozpouštět (disociovat) většinu biologicky aktivních látek (anorganických i organických, s pevnou iontovou vazbou i nepolární sloučeniny). (7) Pro mnohé aplikace je tato vlastnost velkým přínosem, ale pro zachování dobrého stavu pitné vody to může představovat a představuje problém. (8) Z hydrochemického a hygienického hlediska neexistují látky nerozpustné ve vodě, protože i látky pokládané v běžné chemické praxi v podstatě za nerozpustné se ve vodě částečně rozpouštějí (včetně elementárních kovů). (6)

O znečištění hovoříme v případě, kdy je voda obohacena o látky nebezpečné pro zdraví člověka. (8)

Díky velkému rozvoji přírodních věd i technického vybavení během 20. století bylo dosaženo velkého pokroku v poznání vztahů mezi kvalitou vody a vznikem určitých chorob. Zároveň se zlepšilo zabezpečení nezávadné pitné vody. (8) Přesto má znečištěná voda na svědomí několik tisíc úmrtí denně. (9) I když se jedná hlavně o problém rozvojové části světa, epidemie se nevyhýbají ani Evropě, přestože zde naštěstí většinou nekončí smrtí. (8) Ze 16 epidemií evidovaných v letech 2006 až 2010 v České republice byla jen jedna způsobena volným přírodním zdrojem vody (studánkou). (10)

Nemoci způsobené požitím vody mohou být biologické, chemické nebo radiologické povahy. (8) V rozmezí let 1991-2000 bylo ve Spojených státech amerických 16% onemocnění způsobených požitím znečištěné vody vyvoláno kontaminací chemickými látkami, 45% bylo zapříčiněno biologickým znečištěním (6% virového původu, 18% bakteriálního a 21% přivezeno prvky) a ve 39% případů nebyla příčina určena. (11)

2.2.1 Znečištění podzemních vod

U podzemních vod jsou nejčastějším antropogenním zdrojem znečištění dusičnany ze zemědělství a kontaminace odpadní vodou jak z domovů, tak ze zemědělství (bakteriální a organické znečištění i dusičnany). (8)

Mezi přírodní faktory, které ovlivňují kvalitu vodních zdrojů, patří srážky (splachují s polí složky hnojiv a postřikových látek a nejjemnější půdní částice) (12), vegetační pokryv a složení půdy. Z těchto faktorů jsou lidskou činností ovlivnitelné pouze rozsah a složení vegetačního pokryvu. (13)

Také geologické podloží může významně ovlivnit přírodní složení podzemní vody. Vzhledem k jeho skladbě může podzemní voda v některých oblastech obsahovat větší množství nežádoucích prvků jako je arzen, berylium nebo antimon, případně může vykazovat vyšší obsah všech rozpuštěných látek, takže se pak svými vlastnostmi spíše podobá vodě minerální a pro dlouhodobou spotřebu není vhodná. (8)

Dle studie z roku 1999 testující cca 5000 studní v 11 okresech všech krajů ČR je kvalita podzemní vody ve studních dlouhodobě neuspokojivá a asi 70% z nich je považováno za zdravotně závadné. (14) Bauerová a kol. je poněkud optimističtější a odhaduje, že znečištěno může být 50% až 70% studní. (15)

2.3 Chemické ukazatele čistoty vody

Vliv znečištění vody chemickými látkami na zdravotní stav uživatele je obvykle zcela odlišný od kontaminace biologické, která má zpravidla okamžité účinky. Akutní otravy chemickými látkami pocházejícími z pitné vody jsou velmi vzácné a za mnohem závažnější se považuje kumulace toxických látek v těle člověka a jejich chronické působení. Tyto toxické látky se mohou ve vodách vyskytovat jen v malém množství, ale mohou mít ve svém důsledku mutagenní, teratogenní, karcinogenní a/nebo alergenní účinky. (16)

Hodnocení chemických ukazatelů čistoty vody není jednoduché z důvodu velkého množství látek, které mohou kontaminaci pitné vody způsobovat. Ve vyhlášce č. 252/2004 Sb. je definováno 46 chemických stanovení, které poukazují na znečištění chemickými látkami, přičemž za minimum je považován tzv. krácený rozbor, který požaduje stanovení amonných iontů, dusičnanů, dusitanů, celkového organického uhlíku a železa. (17) Kožíšek k tomuto minimu přidává ještě vápník a hořčík (způsobující tvrdost vody), chloridy, sírany, mangan a radon. (5) Pro možnost klasifikace chemického složení a posouzení typu vody (podle převládajících aniontů a kationtů) a pro kontrolu výsledků chemického rozboru je nutné znát všechny hlavní kationty (vápník, hořčík, sodík a draslík) a anionty (hydrogenuhličitan, sírany, chloridy a dusičnany) obsažené ve vodě. Proto je vhodné k rozboru přidat ještě stanovení sodíku, draslíku a hydrogenuhličitanů (6).

2.3.1 Amonné ionty

Amonné ionty (NH_4^+) jsou jednou ze sloučenin dusíku, které se vyskytují ve vodách. Dusík spolu s fosforem patří mezi tzv. nutriety (prvky nezbytné pro rozvoj mikroorganismů). (18) Amonné ionty jsou ve vodách produktem rozpadu dusíkatých látek rostlinného i živočišného původu, v podzemních vodách mohou amonné ionty pravděpodobně vznikat i chemickou redukcí dusičnanů při styku vody s minerály obsahujícími Fe^{II} a Mn^{II} . Mezi antropogenní zdroje patří nejčastěji odpadní vody a dusíkatá hnojiva. (6)

Amonný kation slouží u pitné vody jako indikátor fekálního znečištění. (5) Obvykle je poměrně rychle přeměňován nitrifikačními bakteriemi přes dusitany na dusičnany (6), takže při společném výskytu amonných iontů, dusitanů a organických látek můžeme usuzovat na čerstvou kontaminaci živočišnými odpady. (8)

I když ze zdravotního hlediska je přípustná koncentrace do 30 mg/l (8), mezní hodnota je vyhláškou stanovena na 0,5 mg/l (17) hlavně kvůli snadné detekci náhlého zvýšení koncentrace nad hodnotu danou geologickým podložím. (5)

2.3.2 Dusitany

Dusitany (NO_2^-) obvykle doprovází ve vodách dusičnany a amonné ionty. Vznikají nitrifikací amoniakálního dusíku nebo méně často biochemickou redukcí dusičnanů, antropogenním zdrojem jsou průmyslové odpadní vody. Dusitany jsou ve vodách velmi nestálé a zpravidla jsou velmi rychle oxidovány na dusičnany, případně v anoxických podmínkách denitrifikovány na elementární dusík. Proto se dusitany ve vodách obvykle vyskytují ve velmi malých koncentracích. Jak publikoval Pitter, průměrný obsah dusitanů v pitných podzemních vodách je okolo 0,013 mg/l a dle návrhu MŽP z roku 1992 se již koncentrace 0,025 mg/l posuzuje jako znečištění podzemní vody (kromě vod s vyšším přirozeným výskytem dusitanů) bez vlivu na zdraví člověka. (6)

Jejich zdravotní riziko spočívá v reakci s hemoglobinem za vzniku methemoglobinu (oxidací hemoglobinového Fe^{2+} na Fe^{3+}), který není schopen přenášet kyslík. (19) Ohroženi jsou hlavně kojenci do 3 měsíců věku (fetální hemoglobin je oxidován snadněji než hemoglobin A u dospělých a enzymový oxidačně - redukční systém zajišťující zpětnou přeměnu ještě nemá takovou aktivitu). (6) Dusitany také mohou v žaludku reagovat s aminy za vzniku N-nitrosoaminů, které jsou podezřelé z karcinogenního působení (8), avšak bez přímého epidemiologického důkazu. (6)

Nejvyšší mezní hodnota v pitné vodě je stanovena na 0,5 mg/l. (17)

2.3.3 Dusičnany

Dusičnany (NO_3^-) jsou v malých množstvích přirozenou součástí vody (8) a jsou konečným produktem mineralizace organického dusíku. Za oxických podmínek jsou stabilní, za anoxických mohou podléhat denitrifikaci (biochemické redukci) nebo chemické redukci působením Fe^{II} . Co se týče podzemních vod, obsah dusičnanů je značně ovlivněn klimatickým a půdním charakterem oblasti, v důsledku čehož je v oblasti okolo Znojma průměrná koncentrace dusičnanů v podzemní vodě kolem 70 mg/l, v okolí Českých Budějovic je tato koncentrace obvykle do 45 mg/l.

Koncentrace dusičnanů v podzemních vodách je ovlivněna také vegetačním obdobím s maximem v zimě a minimem v létě, kdy jsou dusičnany z půdy odčerpávány vegetací. (6) Negativní působení dusičnanů na zdraví se zakládá na jejich redukci v zaživacím traktu člověka na toxické dusitany, na ovlivnění reprodukčních funkcí a na dalších toxických účincích. (8)

NMH je rovna 50 mg/l (17), avšak pro kojence, kteří jsou náchylnější k působení dusitanů, je optimální hodnota do 10 mg/l. (5) Limit pro kojence byl však ve vyhlášce pro pitnou vodu zrušen. (20)

2.3.4 Hydrogenuhlčitany

Hydrogenuhlčitany (HCO_3^-) ve vodách vznikají převážně zvětráváním hlinitokřemičitanů za působení CO_2 a H_2O a reakcemi uhličitanových minerálů s CO_2 . V podzemních a povrchových vodách jsou obvykle dominujícím aniontem a jejich koncentrace se pohybuje v desítkách až stovkách mg/l (6), přičemž koncentrace v pitných podzemních vodách je zhruba dvojnásobná oproti pitným povrchovým vodám. (21) Hydrogenuhlčitany příznivě ovlivňují chuť vody a jejich přítomnost je ve vodě žádoucí. Koncentrace hydrogenuhlčitanů v pitné vodě může být nepřímo vyjádřena jako hodnota kyselinové neutralizační kapacity do pH 4,5 ($\text{KNK}_{4,5}$). (6)

Dle normy platící do roku 2001 byla doporučena hodnota nad 0,8 mmol/l. (20) Nově vyhláška 252/2004 Sb. nestanovuje pro množství hydrogenuhlčitanů ve vodě žádné limity. (17)

2.3.5 Celkový organický uhlík

Celkový organický uhlík (TOC = Total Organic Carbon), jak už název říká, je ukazatel hodnotící koncentrace organických látek ve vodách, které mohou být jak přírodního (výluhy z půd a sedimentů nebo produkty organismů a bakterií), tak antropogenního (průmyslové odpadní vody, odpady ze zemědělství a skládek atd.)

původu. Z hygienického hlediska jsou nejzávažnější znečištění biologicky rezistentními organickými látkami (těžko biologicky rozložitelné). Identifikace a kvantifikace jednotlivých organických látek by však byla vzhledem k množství látek časově i finančně náročná, proto se organické sloučeniny stanovují jako celek. (6) Kromě stanovení TOC, pro zjištění kontaminace vody organickými látkami, je možné využít stanovení chemické spotřeby kyslíku (CHSK). (17) Zatímco CHSK indikuje pouze znečištění vody organickými látkami přírodního původu (5), metodou TOC jsou stanovovány všechny organické látky. (6)

Vyhláška č. 252/2004 Sb. povoluje obojí a předepisuje limit mezních hodnot pro TOC roven 5 mg/l, pro CHSK (manganistanovou metodou) rovnající se 3 mg/l. (17)

2.3.6 Železo

Železo (Fe) je běžnou součástí přírodních vod. Vyskytuje se zde v oxidačních stupních II nebo III, podle množství ve vodě rozpuštěného kyslíku. (6) Z hygienického hlediska nejsou běžné koncentrace na závadu, hlavní negativní význam spočívá v ovlivnění organoleptických vlastností (chuť, barva, sediment), při koncentracích nad 1 mg/l může ve tkáních vyvolávat oxidační stres. (8) V podzemních vodách bez rozpuštěného kyslíku se může železo vyskytovat i v koncentracích nad 10 mg/l. Z těchto vod se železo často vylučuje ve formě sraženiny oxidu železitého. (6)

Mezní hodnota je rovna 0,2 mg/l, ale pokud jsou vyšší hodnoty obsahu železa dány geologickým podložím a zároveň nejsou ovlivněny organoleptické vlastnosti, jsou tolerovány hodnoty do 0,5 mg/l. (17)

2.3.7 Vápník a hořčík

Vápník a hořčík (Ca^{2+} a Mg^{2+}) patří vedle jódu, fluoru, železa a dalších prvků, přítomných ve vodách pouze ve stopovém množství, k tzv. biogenním prvkům, tedy takovým, které jsou lidskému zdraví ve správném množství prospěšné. (22) Světová

zdravotnická organizace WHO ve své studii prezentovala pozitivní výsledky vlivu obsahu vápníku a hořčíku na kardiovaskulární onemocnění, přičemž obsah hořčíku se jeví jako důležitější než obsah vápníku. (23) Vápník a hořčík se ve vodách obvykle vyskytují ve formě vápenatých a hořečnatých iontů, přičemž v podzemních vodách je obsah vápníku zpravidla od desítek do několika set mg/l, koncentrace hořčíku bývá několikanásobně menší (od jednotek do několika desítek mg/l) z důvodu sorpce hořčíku některými horninami a jeho využívání rostlinami. (6)

Doporučená hodnota pro koncentraci vápníku stanovená vyhláškou je 40-80 mg/l, pro hořčík 20-30 mg/l. (17)

2.3.8 Sodík a draslík

Sodík a draslík se ve vodách zpravidla vyskytují jako kationty Na^+ a K^+ . Patří mezi čtyři základní kationty, ale jejich koncentrace jsou obvykle nižší než koncentrace vápníku a hořčíku. Hmotnostní poměr výskytu sodíku ku draslíku v podzemních vodách se pohybuje kolem hodnoty čtyři. Sodík a draslík nepatří mezi hygienicky významné látky, ale vyšší koncentrace sodíku mohou nepříznivě ovlivňovat zdraví osob se srdečními chorobami, hypertenzí a cirhózou jater. (6)

Z důvodu stále se zvyšujícího obsahu sodíku ve vodách v důsledku antropogenních činností stanovuje Vyhláška č. 252/2004 Sb. mezní hodnotu pro koncentraci sodíku 200 mg/l. Pro draslík neplatí žádné omezení. (17)

2.3.9 Chloridy

Chloridy (Cl^-) patří spolu s hydrogenuhličitanu, sírany a dusičnany mezi základní anionty vyskytující se v přírodních vodách, antropogenním zdrojem je sám člověk, který denně vyloučí močí asi 9 g chloridů, dále odpadní vody ze zemědělství a průmyslu a posypy vozovek solí. (6) Jeho význam jako ukazatele čistoty vody je podobný jako u amonných iontů. (5) Průměrná hodnota koncentrace chloridů v podzemních vodách

v ČR je asi 24 mg/l. Chloridy jako takové nejsou hygienicky závadné, pouze ve vyšších koncentracích negativně ovlivňují chuť vody, zdravotní riziko představují spíše jiné (převážně organické) sloučeniny chloru. (6)

Mezní hodnota koncentrace chloridů stanovená vyhláškou je 100 mg/l, pro vody, kde je vyšší koncentrace chloridů dána geologickým podložím je povolena hodnota do 250 mg/l. (17) MŽP však ve svém prohlášení z roku 1992 pro hodnocení čistoty podzemní vody již hodnotu 25 mg Cl⁻/l posuzuje jako znečištění podzemní vody (kromě vod s vyšším přirozeným výskytem chloridů) a podobně jako u dusitanů doporučuje nápravná opatření. (6)

2.3.10 Sířany

Sířany (SO₄²⁻), jak již bylo řečeno výše, patří mezi hlavní anionty vyskytující se v přírodních vodách, antropogenními zdroji jsou odpadní vody z mořření kovů a exhalace vznikající spalováním fosilních paliv (obsahují SO₂ a SO₃). V podzemních vodách je obvykle obsah síranů od desítek do stovek mg/l. (6) Z epidemiologického hlediska není obsah síranů v pitných vodách významný, pouze ve vyšších koncentracích může nepříznivě ovlivnit chuť vody a v přítomnosti hořčíku způsobovat průjemy. (8)

Mezní hodnota koncentrace síranů daná vyhláškou je 250 mg/l. (17)

2.3.11 Mangan

Mangan (Mn) se ve vodách vyskytuje v různých oxidačních stupních podle obsahu kyslíku a kyselosti vody. Obvykle ve vodách doprovází výskyt železa (při zvýšené koncentraci železa je zvýšena i koncentrace manganu), manganu bývá oproti železu méně, přičemž podzemní vody mají obsah obou těchto prvků vyšší než vody povrchové. (6) Koncentrace manganu obsažené v přírodních vodách nepředstavují zdravotní riziko, ve vysokých koncentracích je podezříván z neurodegenerativních změn. (8)

Mezní hodnota je dle vyhlášky rovna 0,05 mg/l. Kde je vyšší koncentrace manganu dána geologickým podložím, je povolena hodnota do 0,1 mg/l. (17) Zdravotní riziko však nehrozí až do obsahu 0,4 mg/l, pouze mohou být ovlivněny organoleptické vlastnosti vody. (5)

2.3.12 Radon

Radon (^{222}Rn) je nejčastějším nositelem radioaktivity v našich podmínkách. Je to radioaktivní plyn bez barvy, chuti a zápachu, jehož výskyt ve vodách je vázán na horninové prostředí. Sám o sobě není nebezpečný, je ale dobře rozpustný ve vodě a jeho rozpadové produkty mohou dlouhou expozicí způsobit rakovinu (nejčastěji plic). Při pozření radon není tak nebezpečný jako při inhalaci (při sprchování, koupání a mytí nádobí horkou vodou). (8)

Pro individuální zásobování neexistuje pro radon žádný závazný limit, pouze se doporučuje při hodnotách nad 1000 Bq/l snížit obsah radonu ve vodě nebo se zcela vyhnout jejímu používání. (5)

2.4 Fyzikální ukazatele čistoty vody

Mezi fyzikální veličiny, jejichž hodnoty nám mohou pomoci rozeznat kontaminaci vody, patří elektrolytická konduktivita (měrná vodivost), pH a teplota. (17)

2.4.1 Konduktivita

Konduktivita (vodivost) je mírou koncentrace ionizovaných součástí vody (anorganických i organických). V případě přírodních vod s velmi nízkou koncentrací organických látek je obrazem obsahu anorganických iontů, přičemž u velmi zředěných roztoků je konduktivita lineární funkcí koncentrace iontů. (6)

Mezní hodnota pro konduktivitu je rovna 125 mS/m (17), což odpovídá obsahu rozpuštěných látek přibližně 1000 mg/l. Takto vysoký obsah rozpuštěných látek je však již charakteristický pro minerální vody, které nejsou vhodné pro každodenní užívání, může nepříjemně ovlivňovat chuť a způsobovat průjmovitá onemocnění. Ideálně by pitná voda měla obsahovat mezi 200 a 400 mg/l rozpuštěných látek, což odpovídá vodivosti 25 až 50 mS/m. (5)

Rozhodně není vhodné pít vodu zcela zbavenou rozpuštěných látek (demineralizovanou, destilovanou,...), jak z důvodu nepříznivé chuti a odstranění některých látek rozpuštěných ve vodě, které prospěšně působí na lidský organismus (viz. kapitola Vápník a hořčík), tak i z důvodu možného narušení metabolismů homeostázy. (24)

2.4.2 pH

Hodnota pH je rovna zápornému dekadickému logaritmu aktivity vodíkových iontů v roztoku. V závislosti na disociační konstantě vody dosahuje při 25°C hodnot 0 – 14. Mezní hodnota je stanovena na 6,5 až 9,5. (17) Dle Kožíška je lepší neutrálnější rozmezí pH 6 až 8, ale kromě extrémních hodnot nemá pH vliv na zdraví uživatelů (5), podílí se spíše na rozpustnosti solí vápníku a železa a také fosforu. (12) Vyšší hodnota může dát vodě nepříjemnou chuť. Nižší hodnota pH je charakteristická pro málo mineralizovanou vodu (5), je přirozenou vlastností vody v menších neupravovaných zdrojích a pokud voda ve všech ostatních parametrech splňuje požadavky na pitnou vodu, není nutno považovat nižší pH za závadu. (16)

2.4.3 Teplota

Teplota je základní fyzikální veličinou soustavy SI, ale při hodnocení kvality vody je často řazena mezi organoleptické vlastnosti pitné vody, protože vyšší teploty mohou zrychlit růst mikroorganismů a způsobit pachovou nebo chuťovou kontaminaci. (16)

Teplota vody také ovlivňuje množství rozpuštěných plynů (čím teplejší voda, tím méně rozpuštěných plynů) a rychlost chemických reakcí při samočištění. Podzemní vody mívají konstantní teplotu kolem 10°C, která nekolísá během ročních období. (12) Větší teplotní změny nasvědčují rychlému pronikání povrchové vody do podzemí, což souvisí s větším nebezpečím její kontaminace. (6)

Doporučená hodnota je rovna 8°C až 12°C (17), přičemž voda o teplotě vyšší než 15°C již neosvěžuje a teplota vody pod 5°C může způsobit žaludeční potíže. (12)

2.5 Mikrobiologické ukazatele čistoty vody

Patogeny vyskytující se ve vodě mohou být přenášeny požitím, vdechnutím nebo kontaktem s kůží. Pro vodu z lesních studánek a pramenů jsou nejdůležitější infekce přenášené požitím, přičemž mechanismy účinku mohou být různé od poškození střevní sliznice přes pronikání infekčního agens do tkání až po rozmanité působení uvolňovaných toxinů. (25) Gastrointestinálním traktem mohou být šířeny bakterie (*Campylobacter jejuni*, *Campylobacter coli*, *Escherichia coli*, *Salmonella typhi* a jiné salmonely, *Shigella*, *Vibrio cholerae*, *Yersinia enterocolitica*), viry (adenoviry, enteroviry, virus hepatitidy A, virus hepatitidy E, noroviry, rotaviry, sapoviry) a prvoci (*Cryptosporidium parvum*, *Entamoeba histolytica*, *Giardia intestinalis*, *Toxoplasma gondii*), červi nejsou pro ČR relevantní. (9)

Nemoci, které jsou mikrobiologickým znečištěním vody způsobené, zahrnují břišní tyfus, salmonelózu, cholera, úplavici, onemocnění jater i rozličná průjmovitá onemocnění. (26) Průběh uvedených nemocí může být rozmanitý - od lehkého, kdy si s nemocí organismus poradí bez lékařské pomoci, až po život ohrožující nebo smrtelné onemocnění, přičemž nejvíce ohroženy jsou malé děti, staré osoby a osoby s poruchou imunity. (8)

Při monitoringu mikrobiálního znečištění pitné vody nelze z technických, časových i finančních důvodů sledovat všechny výše uvedené původce onemocnění. Všude ve světě se proto používá metoda indikátorů fekálního znečištění, kdy se ve vodě sledují

bakterie žijící ve střevním traktu teplokrevných živočichů (*Escherichia coli*, koliformní bakterie a enterokoky), a metoda indikátorů obecného znečištění (počty kolonií při 22°C a počty kolonií při 36°C). (27) Pokud se ve vodě vyskytnou některé z bakterií indukujících fekální znečištění, je velmi pravděpodobné, že voda byla ve styku s výkaly nebo zbytky živočichů a tudíž může s velkou pravděpodobností obsahovat i další viry a bakterie pocházející ze střevního traktu, které mohou vykazovat mnohem větší patogenitu. A i když bývá užívání takto kontaminované vody dlouhou dobu bez důsledků díky toleranci k těmto bakteriím u pravidelných uživatelů, onemocnění může propuknout u návštěv, malých dětí nebo při oslabení imunitního systému. (5)

2.5.1 *Escherichia coli*

Escherichia coli reprezentuje hlavní indikátor fekálního znečištění a dle WHO také jediný správný a vyhovující. (28) Její původ je pouze fekální, takže lze snadno interpretovat výsledky jejího výskytu ve vodě. (5)

Nejvyšší mezní hodnota je rovna 0 KTJ/100 ml. (17)

2.5.2 *Koliformní bakterie*

Koliformní bakterie jsou neškodné bakterie žijící ve střevech, ale i běžně v půdě. Jen výjimečně mohou některé jejich patogenní kmeny, které tvoří toxiny, vyvolat onemocnění. Mezi koliformní bakterie patří i *E. coli*, takže jejich hodnocení má význam jen při nepřítomnosti *E. coli*. (5)

Mezní hodnota je rovna 0 KTJ/100 ml. (17)

2.5.3 Enterokoky

Enterokoky se běžně vyskytují v obsahu intestinálního traktu, proto je lze využít k indikaci fekální kontaminace. Fekální původ znečištění však v jejich případě není tak jednoznačný jako v případě *E. coli*. (5) Jsou velmi citlivé ke změnám prostředí, a tak se ve vodě vzácně množí a přežívají v ní jen krátce, tudíž jsou na rozdíl od koliformních bakterií považovány za indikátory čerstvého fekálního znečištění. (28)

Enterokoky nejsou součástí kráceného rozboru stanoveného vyhláškou č. 252/2004 Sb., ale Kožíšek jejich stanovení doporučuje. (5) Nejvyšší mezní hodnota je rovna 0 KTJ/100 ml. (17)

2.5.4 Počty kolonií při 22°C a při 36°C

Kromě indikace fekálního znečištění se zjišťuje ještě takzvaná obecná kontaminace. Indikátory obecné kontaminace jsou počty kolonií při 22°C a při 36°C, dříve nazývány psychofilní a mezofilní bakterie. (5) Jejich hygienický význam je menší než u fekální kontaminace. Jedná se o všudypřítomné bakterie, kterých člověk denně přijímá s potravou řádově více než ve vodě. Jejich zvýšený počet v podzemních vodách může být způsoben průsaky při tání sněhu, silných deštích nebo v důsledku jiných povětrnostních podmínek. Expozice těmto bakteriím obvykle nepředstavuje zdravotní riziko, to může být spojeno jen s některými specifickými druhy těchto bakterií a pouze při oslabení imunitního systému. (29) Trochu větší hygienický význam má počet kolonií při 36°C kvůli jejich návaznosti na teplotokrevné organismy. (5)

Česká republika má pro tyto dva typy kolonií stanoveny doporučené numerické limitní hodnoty a jako mezní hodnotu „bez abnormálních změn“ (17), evropská směrnice se zabývá pouze abnormálními změnami počtu kolonií (přičemž tyto abnormální změny nejsou nijak definovány), protože absolutní momentálně zjištěné počty nepovažuje za důležité. Hlavní negativní dopad absolutního vysokého počtu

kolonií jsou falešně negativní výsledky u koliformních bakterií a *E. coli* při stanovení plotnovou metodou. (29)

Doporučená hodnota pro počty kolonií při 22°C je stanovena na 500 KTJ/1 ml, pro počty kolonií při 36°C se rovná 100 KTJ/1 ml. Jak již bylo zmíněno výše, mezní hodnota pro oba typy kolonií je definována jako „bez abnormálních změn“. (17)

2.6 Organoleptické ukazatele čistoty vody

Mezi organoleptické ukazatele čistoty vody patří pach, chuť, barva a zákal. Tyto vlastnosti mohou (ale nemusí) poukazovat na znečištění chemického nebo mikrobiologického původu a jako jediné ukazatele jsou snadno hodnotitelné i koncovým uživatelem.

Dle vyhlášky č. 252/2004 Sb., stanovující hygienické požadavky na pitnou vodu, patří pach a chuť mezi ukazatele subjektivní a musí být přijatelné pro spotřebitele, barva a zákal jsou limitovány mezní číselnou hodnotou.

Mezní hodnota pro barvu je rovna 20 mg/l Pt, mezní hodnota zákalu činí 5 ZF (t, n) (měřeno v turbidimetrickém (t) nebo nefelometrickém (n) uspořádání). (17)

2.6.1 Zákal a barva

Zákal a barva jsou vlastnostmi vzhledu vody a mohou být způsobeny i různými typy bakterií. (30) Podzemní vody bývají zakaleny zřídka a zákal je nejčastěji tvořen nerozpuštěnými anorganickými látkami. Barva vody může být od odstínů žluté přes zelenou až k hnědé. Zelené zbarvení bývá způsobeno řasami, žluté až hnědé huminovými kyselinami pocházejícími z rašelinišť. Dalšími zdroji zbarvení vod mohou být odpadní vody z některých průmyslových výroby. (12) Z chemických látek barvu a/nebo zákal způsobují hliník, mangan, měď, zinek a železo. (30)

2.6.2 *Pach a chuť*

Mnoho pachotvorných látek je tvořeno řasami a sinicemi. (31) Z chemických látek chuť ovlivňují chloridy, chlor, měď, vápník, hořčík, hydrogenuhličitany, mangan, sodík, sírany, zinek a železo. Na chuť i pach zároveň mají vliv amonné ionty a sirovodík, stejně jako většina organických látek, jejichž chuťové a pachové prahy jsou poměrně nízké. (30)

Z fyzikálních ukazatelů jakosti vody se na ovlivnění chuti podílí všechny tři parametry, tedy pH, vodivost i teplota. Nejvhodnější hodnota pH z hlediska chuti je 6,5 až 7,5, vyšší hodnoty způsobují louhovitě mýdlovitou příchut'. Z hlediska vodivosti, tedy celkové mineralizace, jsou optimální hodnoty rozpuštěných látek mezi 200 mg/l a 500 mg/l, nižší nebo naopak vyšší hodnoty jsou obvykle chuti na závadu. Teplota vody ovlivňuje spíše intenzitu chuťových vjemů než samotnou chuť vody, přičemž intenzita těchto vjemů se stoupající teplotou klesá. (6)

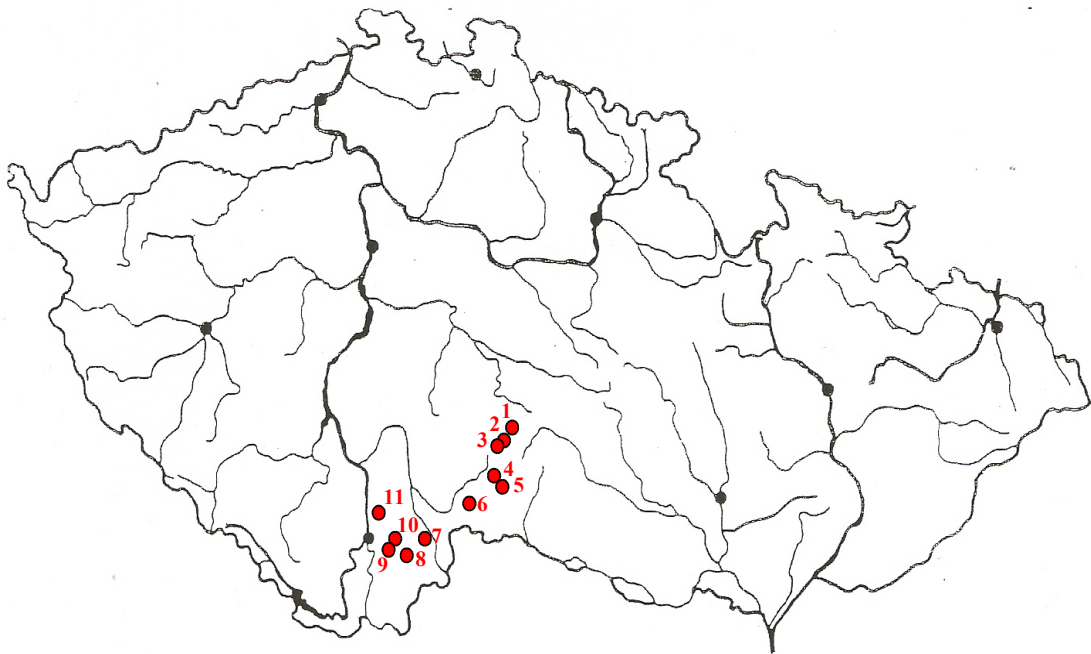
2.7 Klasifikace typu vody

Z hlediska klasifikace typu vod je pro podzemní vody dle hydrochemického průzkumu provedeného v ČR nejobvyklejším typem (73% všech podzemních vod) hydrogenuhličitano - vápenatá, popř. hydrogenuhličitano – sírano - vápenatá voda. Významnější podíl draslíku nebo sodíku se vyskytuje cca v 11% vod, významnější poměrné zastoupení chloridů cca v 10% a významnější zastoupení síranů společně s vápníkem nebo hořčíkem ve 4,4% zkoumaných pitných vod podzemního původu. (21)

3 Metodika

3.1 Výběr studánek

Prvním úkolem této práce bylo vytipování vhodných studánek tak, aby byly hojně užívány jako zdroje pitné vody. Dalším požadavkem na výběr studánek bylo, aby se nenacházely všechny v jedné lokalitě a bylo tak možné zohlednit i vliv polohy studánky na kvalitu vody, ale zároveň aby bylo možné provést odběr všech vybraných studánek během jednoho dne. Nejprve bylo s použitím Národního registru pramenů a studánek (32), který čítá skoro 9 tisíc vodních zdrojů (33), vybráno patnáct pramenů. Ty byly posléze navštíveny a po zhodnocení jejich využitelnosti a přístupnosti (některé z nich byly zamčeny) bylo jedenáct z nich shledáno jako vhodné pro výzkum. Poloha vybraných studánek je zakreslena na obrázku 1.



Obr.1: Poloha studánek s jejich číselným označením zakreslena červenými kolečky na slepé mapě České republiky se schématem povodí.

3.2 Popis studánek

Všechny studánky byly očíslovány tak, jak byly pokaždé směrem od severu odebírány. Jak je vidět na obrázku 1, studánky je možné roztrždit do tří lokalit. Nejsevernější oblast se nachází v okolí Pelhřimova a zahrnuje tři studánky: Stříbrnou {1}, Jakubcovu {2} a Nebohou {3}. Druhá oblast mezi Kamenicí nad Lipou a Jindřichovým Hradcem zahrnuje taktéž tři studánky: studánku v obci Lhota - Vlasenice {4}, Pramen sv. Ludmily {5} a studánku v Kunějově {6}. A třetí oblast okolo Českých Budějovic a Třeboně čítá pět studánek: Jednotu {7}, Mariánský pramen {8}, Pramen Pod Lustenkem {9} a studánky U Mrhalu {10} a U Šraňku {11}. Hlavní parametry studánek jsou uvedeny v tabulce 1, přičemž množství lesů a vzdálenost výstavby jsou hodnoceny v předpokládaném povodí studánky (dle vrstevnic), odkud je pravděpodobný přítok vody do studánky.

	Výtok	Péče o studánku	Les v okolí	Vzdálenost výstavby
Studánka 1	+	-	95%	250 m
Studánka 2	+	+	50%	600 m
Studánka 3	-	+	98%	700 m
Studánka 4	-	+	50%	200 m
Studánka 5	+	-	80%	400 m
Studánka 6	+	-	30%	500 m
Studánka 7	-	+	90%	1200 m
Studánka 8	+	+	0%	0 m (v zástavbě)
Studánka 9	+	-	90%	200 m
Studánka 10	+	+	98%	100 m
Studánka 11	+	+	20%	300 m

Tabulka 1: Základní parametry studánek: výtok = není nutné do studánky ponořit odběrnou nádobu; péče o studánku = pravidelná kontrola a údržba; les v okolí = podíl plochy povodí; vzdálenost výstavby = možný antropogenní vliv; + označuje přítomnost, - nepřítomnost parametru.

Fotografie (obrázek 5 až 15) a podrobný popis polohy studánek jsou uvedeny v příloze 1 této práce. Na obrázcích 8 a 11 je znázorněno, jak se studánka v obci Lhota-Vlasenice a studánka Jednota změnila během doby trvání tohoto výzkumu.

Z jedenácti vybraných studánek byly tři studánky bez výtoku – Nebohá, studánka ve Lhotě – Vlasenice a Jednota nedaleko Třeboně.

3.3 Sběr dat před odběrem

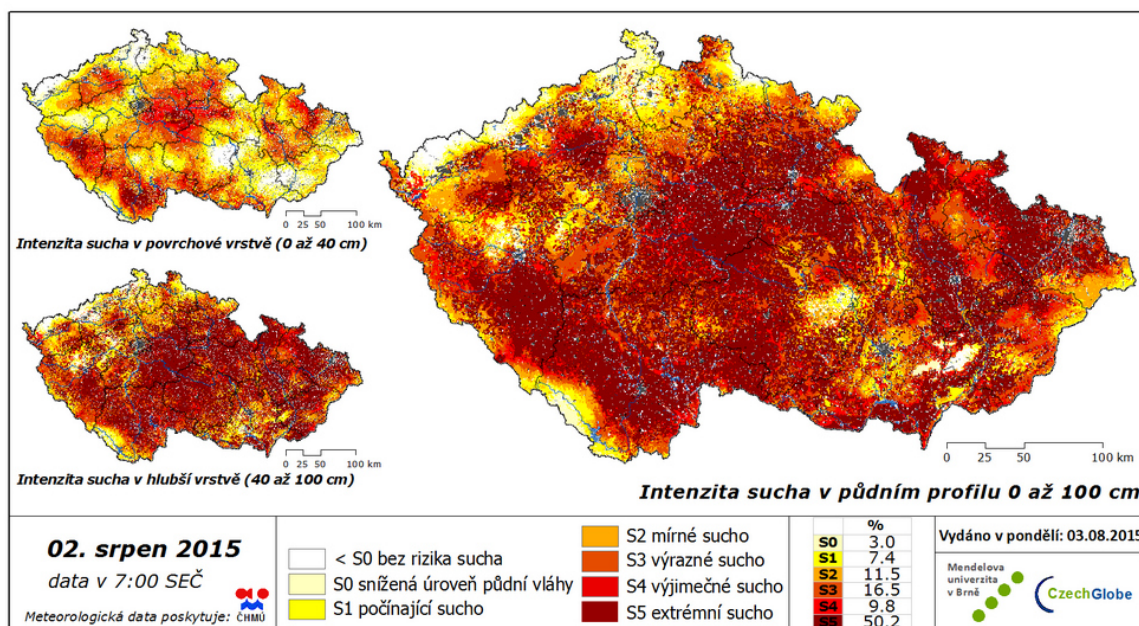
Deset dní před každým odběrem byla sledována data o teplotě vzduchu a množství srážek na pěti meteorologických stanicích (pro potřeby této práce označených písmeny A až E) pokrývajících území, kde se nacházejí sledované studánky. Ze získaných dat byly vypočítány úhrny srážek a průměrná teplota v době před odběrem.

Umístění stanic na mapě České republiky je znázorněno na obrázku 2. Dvě stanice jsou ve správě Povodí Vltavy (Korce (stanice A) a Božejov (stanice B)), dvě stanice ve správě Českého hydrometeorologického ústavu (Rodvínov (stanice D) a Pilař - Majdaléna (stanice E)) a jedna bez uvedeného správce (Žirovnice (stanice C)) (34).



Obr. 2: Poloha meteorologických stanic (označených písmeny A až E) zakreslena červenými kolečky na slepé mapě České republiky s vyznačeným povodím.

Rok 2015 byl srážkově podprůměrný, proto byl před srpnovým odběrem navíc sledován stav sucha na území České republiky. Sucho v té době bylo extrémní, v povrchové vrstvě půdy (0-40 cm) nebyla dostatečná vláha na 90% území, v hlubších vrstvách půdy (40-100 cm) se nedostatek vláhy objevoval na 80% území. (35) Aktuální situace dle ČHMÚ je zaznamenána na obrázku 3.



Obr. 3: Mapa ČR s vyznačeným suchým územím (nejtmavší barvou jsou vyznačeny extrémně suché oblasti) (35)

3.4 Odběr vzorků

Celkem byly provedeny čtyři odběry vzorků v termínech 1.2.2015, 6.4.2015, 2.8.2015 a 14.2.2016.

Odběry všech studánek vždy probíhaly během jednoho dne. U každé studánky byly odebrány čtyři lahvičky vzorků vody – na „klasické“ chemické analýzy (PET láhev o objemu 0,5 litru v laboratoři vypláchnuta destilovanou vodou a usušena, na místě propláchnuta vzorkem), pro atomovou absorpční spektrometrii (PE láhev o objemu 50 ml vypláchnuta destilovanou a redestilovanou vodou, po vysušení nadávkován 1 ml

HNO₃), pro iontovou chromatografii (PE láhev o objemu 30 ml vypláchnuta destilovanou a redestilovanou vodou, pro kontrolu čistoty změřena vodivost vody po výplachu a láhev nechána uschnout) a na mikrobiologický rozbor (sterilizovaná skleněná lahvička se zábrusem o objemu 100 ml). Sada lahviček pro odběr vzorků z jedné studánky je znázorněna na obrázku 4. Při odběru vody na mikrobiologický rozbor bylo třeba dbát zvláštní opatrnosti, protože jakýmkoliv kontaktem s odebíranou vodou nebo zábrusem lahvičky se vzorek snadno kontaminuje bakteriemi z okolí, obzvláště z rukou odebírající osoby. Z toho důvodu bylo s mikrobiální lahvičkou manipulováno pouze přes ochranný alobal, aby nedošlo ke kontaminaci, a při odběru vody nikdy nebyla ponořena ruka do studánky. U bezodtokových studánek byla mikrobiální lahvička nabírána jako první a vždy s použitím držáku, do kterého byla lahvička před odběrem upevněna.

Po odběru vzorků byla změřena teplota vody ve studánce a pokud se jednalo o studánku s výtokem vody, tak i průtok vody studánkou.



Obr. 4: Sada lahviček pro odběr vzorků z jedné studánky

3.5 Chemické (a fyzikální) analýzy

3.5.1 Stanovení NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^- , Cl^- a SO_4^{2-}

Amonné, dusitanové, dusičnanové, chloridové a síranové ionty byly stanoveny na iontovém chromatografu (ICS - 3000 Ion Chromatography System, Dionex Corporation, USA). Mobilní fází pro stanovení kationtů byla methansulfonová kyselina (isoktratická koncentrace 27 mM) a pro stanovení aniontů hydroxid draselný (gradient koncentrace od 2 do 40 mM).

Z důvodu nízkých obsahů dusitanů ve vodách pod mezí stanovitelnosti přístroje, který je sice pro indikaci znečištění pitné vody dostatečný, ale neposkytuje nám číselnou hodnotu koncentrací, byly dusitany při posledním odběru stanoveny kolorimetricky. Při této metodě bylo využito vlastnosti dusitanů tvořit jasně červeno - růžové azobarvivo po reakci se sulfanilamidem (vznik diazosloučeniny) a N-(1-naftyl)-ethylendiaminem (vznik azosloučeniny). Po vybarvení (proběhnutí reakce) byla změřena absorbance série vzorků a vnitřních standardů při vlnové délce 543 nm (36, 37) na spektrofotometru (Specord 210, Analytik Jena, Německo) s křemenou kyvetou o délce 4 cm a z výsledků byla vypočítána dle Lambert-Beerova zákona koncentrace dusitanů ve vzorcích.

Lambert-Beerův zákon:

$$A = \varepsilon l c \quad [1],$$

kde A je absorbance (l/mg/m), ε je molární absorpční koeficient (l/mol/m), l je délka kyvety (m) a c je molární koncentrace (mol/l) (18, 38).

3.5.2 Stanovení HCO_3^-

Koncentrace hydrogenuhličitanů byla vypočtena z kyselinové neutralizační kapacity (KNK).

Automatická titrace byla provedena na přístroji TIM865 (Potentiometric titrator, Radiometer analytical), který je připojen k počítači pro zaznamenání a přepočítání výsledků. Po napipetování 25 ml vzorku do plastové nádoby s míchadlem byl vzorek automaticky titrován odměrným roztokem 0,1M kyseliny chlorovodíkové do hodnoty pH rovno 4,5, tj. do bodu ekvivalence uhličitanového systému. Ze spotřeby kyseliny byla vypočítána hodnota $\text{KNK}_{4,5}$.

Z příslušné protonové bilance lze odvodit definiční rovnici $\text{KNK}_{4,5}$:

$$\text{KNK}_{4,5} = c(\text{HCO}_3^-) + 2c(\text{CO}_3^{2-}) + c(\text{OH}^-) - c(\text{H}^+) \quad [2],$$

kde $\text{KNK}_{4,5}$ je kyselinová neutralizační kapacita do $\text{pH}=4,5$, $c(\text{HCO}_3^-)$, $c(\text{CO}_3^{2-})$, $c(\text{OH}^-)$ a $c(\text{H}^+)$ jsou koncentrace hydrogenuhličitanových iontů, uhličitanů, hydroxidových iontů a protonů, vše v jednotkách mol/l (6)

Protože jsou koncentrace hydroxidových a vodíkových iontů velmi malé (při neutrálním pH se $c(\text{OH}^-) = c(\text{H}^+) = 10^{-7}$ mol/l) a množství uhličitanů se projeví až při hodnotě pH rovné 8,3 (6), lze tyto členy zanedbat a výsledná rovnice má tvar:

$$\text{KNK}_{4,5} = c(\text{HCO}_3^-) \quad [3],$$

kde $\text{KNK}_{4,5}$ je kyselinová neutralizační kapacita do $\text{pH}=4,5$, $c(\text{HCO}_3^-)$ je koncentrace hydrogenuhličitanových iontů, vše v jednotkách mol/l.

Podle rovnice [3] byla vypočítána koncentrace hydrogenuhličitanových iontů u vzorků vod studánek ze změřené hodnoty $\text{KNK}_{4,5}$.

3.5.3 Stanovení TOC

Vzorky pro stanovení celkového organického uhlíku TOC byly po napipetování do zkumavek analyzátoru Shimadzu (model TOC 5000A, Japonsko) okyseleny naředěnou kyselinou chlorovodíkovou na pH 2-3 pro odstranění anorganického uhlíku vyubláním ve formě CO₂. Následně byl TOC stanoven katalytickou oxidací na platinovém katalyzátoru při teplotě 680°C jako netěkavý organický uhlík (NPOC) a automaticky zaznamenán připojeným počítačem.

3.5.4 Stanovení Fe, Ca, Mg, Na, K

Stanovení železa, vápníku, hořčíku, sodíku a draslíku bylo provedeno na atomovém absorpčním spektrofotometru (Varian AA240Z). Ke stanovení byly použity vzorky okyselené kyselinou dusičnou.

Stejně jako byly koncentrace dusitanů ve vzorcích pod mezí stanovitelnosti iontového chromatografu, bylo železo pod mezí stanovitelnosti atomového absorpčního spektrofotometru. Proto bylo stejně jako u dusitanů u posledního odběru provedeno kolorimetrické vyhodnocení obsahu železa. Stanovení bylo provedeno na základě vzniku barevného produktu (červené zbarvení) při reakci železitých iontů s thiokyanatanem v kyselém prostředí. Po oxidaci vzorků pomocí mineralizace kyselinou chloristou při 170°C (Fe²⁺ převedeno na Fe³⁺) byla ke vzorkům a sérii vnitřních standardů přidána kyselina chlorovodíková a thiokyanatan draselný a ihned měřena absorbance při 480 nm (36, 39) na spektrofotometru (Specord 210, Analytik Jena, Německo) s křemenou kyvetou o délce 4 cm a z výsledků byla vypočítána dle Lambert-Beerova zákona (rovnice [1]) koncentrace železa ve vzorcích.

3.5.5 Stanovení Mn a Ra

Mangan a radon nebyly stanovovány, protože v laboratoři HBÚ se tato stanovení neprovádí.

Stanovení manganu není z hlediska kontaminace vody důležité, protože ze zdravotního hlediska nepředstavuje vážné riziko (8) a protože na jeho zvýšený výskyt lze dobře usuzovat i ze zvýšené koncentrace železa. (6)

Stanovení radonu je velmi náročné a provádí ho jen některé specializované laboratoře, mezi které laboratoř HBÚ bohužel nepatří, takže přestože by stanovení radonu bylo z hlediska výsledků jistě zajímavé, nebylo ho možné provést.

3.5.6 Měření konduktivity

Vodivost byla měřena po vytemperování vzorků na laboratorní teplotu na přístroji InoLab COND 720 (WTW GmbH, Německo), který rovnou provádí automatickou teplotní kompenzaci na 25°C tak, aby změřené hodnoty byly srovnatelné s limity uvedenými ve Vyhlášce č. 252/2004 Sb.

3.5.7 Měření pH

Hodnota pH byla měřena skleněnou elektrodou přístrojem TIM865 (Potentiometric titrator, Radiometer analytical). Před každou sérií měření byl přístroj kalibrován vytemperovanými standardy o hodnotě pH 4 a 7.

3.5.8 Měření teploty

Teplota byla měřena přímo na místě odběru lihovým teploměrem. U studánek s výtokem byla teplota měřena ve vytékající vodě, u studánek bez výtoku byla měřena po odebrání všech vzorků přímo ve vodě studánky.

3.5.9 Měření průtoku

Průtok vody byl odhadován měřením času, za který natekl do odměrné nádoby 1 litr vody (v případě velmi malých průtoků pouze 0,5 l vody), výsledek byl poté přepočítán na průtok v l/s.

3.6 Stanovení mikrobiologických ukazatelů

Při stanovení mikrobiologických ukazatelů je třeba dbát zvýšené pozornosti a opatrnosti vzhledem k možné kontaminaci vzorků všudypřítomnými mikroorganismy. Skleněné lahvičky pro odběr vzorků byly sterilizovány 30 min při 180°C tzv. suchou sterilizací a před samotným použitím byly obalem zajištěny proti vniknutí mikroorganismů. Železná filtrační aparatura byla před každým použitím sterilizována varem ve smaltovaném hrnci po dobu 30 min. Na filtraci byly používány komerčně dodávané jednotlivě balené sterilní filtry (Cellulose Nitrate Membrane Filters, White, black gridded, sterile, 0,45 μm , \O 47 mm).

Pro vlastní stanovení byly používány vzorky odebírané do sterilních skleněných lahviček. Pipetování bylo prováděno automatickými pipetami se sterilními špičkami na jedno použití. Vždy bylo postupováno tak, aby nebyl kontaminován vzorek, nástroje, používané agary atd. Při filtraci vzorků se pracovalo v aseptickém prostředí, používaná pinzeta byla mezi vzorky vypalována nad kahanem.

3.6.1 Příprava agarů

Celkem bylo připravováno šest typů agarů: TTC, M-FC, Chromogenní půda, SB, MPA a Esculin. Příprava probíhala podle návodu na balení chemikálií dle postupů uvedených v příloze 2. Na přípravu agarů byly použity jednorázové sterilní plastové Petriho misky.

3.6.2 Stanovení *E. coli*

Stanovení *E.coli* bylo prováděno filtrací 10 ml vzorku na sterilní aparatuře přes sterilní filtr. Filtr byl po filtraci vyžihanou pinzetou předán na TTC agar a po uzavření byla Petriho miska dána do termostatu vyhřátého na 37°C. Výsledky byly odečteny následující den, kdy byly spočítány žluté nebo oranžové kolonie se žlutým okolím, které vytváří *E. coli* (kvašením laktázy je tvořena kyselina a touto změnou pH se zelené zbarvení TTC agaru mění na žluté).

Další stanovení zahrnovalo opět filtraci 10 ml vzorku přes sterilní filtr (na sterilní aparatuře), ale tentokrát byl filtr položen na Chromogenní půdu (žluté barvy). Následovalo opět vložení do termostatu vyhřátého na 37°C a odečtení výsledků následující den. Počítány byly fialové kolonie tvořené *E. coli*.

Výsledný počet kolonií tvořících jednotek byl spočítán jako průměr počtu kolonií na TTC agaru a na Chromogenní půdě přepočtený na 100 ml. Aby voda mohla být považována za pitnou, nesměla být ani na jednom z agarů žádná kolonie tvořená bakteriemi *E. coli*.

3.6.3 Stanovení koliformních bakterií

Pro stanovení koliformních bakterií bylo 10 ml vzorku filtrováno na sterilní aparatuře přes sterilní filtr. Filtr byl po filtraci sterilní pinzetou předán na M-FC agar

a Petriho miska byla po uzavření dána do termostatu vyhřátého na 44°C. Výsledky byly odečteny následující den, kdy byly spočítány modré a modrofialové kolonie tvořené koliformními bakteriemi.

Dále byly koliformní bakterie stanovovány současně s *E. coli* na Chromogenní půdě (viz výše). Pro stanovení byly počítány modré kolonie koliformních bakterií i fialové kolonie tvořené *E. coli* (patří mezi koliformní bakterie).

Výsledný počet kolonií tvořících jednotek byl spočítán jako průměr počtu kolonií na M-FC agaru a na Chromogenní půdě přepočtený na 100 ml. Aby voda mohla být považována za pitnou, nesmí být ani na jednom z agarů žádná kolonie tvořená koliformními bakteriemi.

3.6.4 Stanovení enterokoků

Pro stanovení intestinálních enterokoků bylo 10 ml vzorku filtrováno na sterilní aparatuře přes sterilní filtr. Filtr byl po filtraci sterilní pinzetou předán na SB agar a Petriho miska byla po uzavření dána do termostatu vyhřátého na 37°C. Výsledky byly odečítány třetí den, kdy byly spočítány tmavočerveně až kaštanově zbarvené kolonie.

Pokud se na SB agaru nějaké tmavočervené až kaštanové kolonie objevily, byl připraven čerstvý Esculin agar. Po jeho zatuhnutí do něj byl obtisknut za použití sterilní pinzety filtr z SB agaru tak, aby kolonie směřovaly k Esculinu. Petriho miska s Esculinem byla po uzavření dána do termostatu vyhřátého na 44°C. Po 4 hod bylo zkontrolováno místo obtisku filtru, a pokud se zbarvilo tmavohnědě až černě, bylo tímto potvrzeno, že se skutečně jedná o intestinální enterokoky.

Počet kolonií tvořících jednotek intestinálních enterokoků je roven počtu tmavočervených až kaštanových kolonií narostlých na SB agaru přepočtených na 100 ml.

3.6.5 Stanovení počtu kolonií při 22°C

Stanovení psychrofilních zárodků (počtu kolonií rostoucích při 22°C) bylo provedeno napipetováním 0,5 ml vzorku do čisté sterilní Petriho misky. Následně byl zahřátím rozpuštěn předem připravený MPA agar, po zchlazení na cca 37°C byl nalit na vzorek v Petriho misce a obsah Petriho misky byl promíchán. Po zatuhnutí agaru byla Petriho miska uzavřena, otočena dnem vzhůru a položena do termostatu vyhřátého na 22°C. Výsledky byly odečítány 4. den, kdy byly počítány všechny kolonie, které na MPA agaru vyrostly. Pokud byl počet kolonií vysoký, byla Petriho miska rozdělena na rovnoměrné čtvrtiny, byly spočítány kolonie v jedné čtvrtině a výsledek byl vynásoben čtyřmi. Protože potřebujeme znát KTJ rostoucí z 1 ml vzorku, byl výsledek ještě vynásoben dvěma. Konečná hodnota odpovídá počtu KTJ pro kolonie rostoucí při 22°C na 1 ml.

3.6.6 Stanovení kolonií při 36°C

Stanovení mezofilních zárodků (počtu kolonií rostoucích při 36°C) bylo provedeno obdobně jako stanovení psychrofilních zárodků. Pipetován ale byl 1 ml vzorku do sterilní Petriho misky a zatuhlý MPA agar byl vložen do termostatu vyhřátého na 36°C. Výsledky byly odečítány 3. den, kdy byly počítány všechny kolonie, které na MPA agaru vyrostly. V případě velkého počtu kolonií bylo postupováno stejně jako v případě kolonií rostoucích při 22°C, byly počítány kolonie jen na jedné čtvrtině agaru a výsledek byl vynásoben čtyřmi. Výsledný počet odpovídá KTJ pro kolonie rostoucí při 36°C.

3.7 Stanovení organoleptických ukazatelů

3.7.1 Stanovení pachu a chuti

Pach byl stanovován jednak přímo na místě odběru vody ze studánky nabráním vody do nádoby a přičichnutím k odebrané vodě a zároveň přičichnutím ke zdroji vody. Toto bylo provedeno pouze dvěma osobami, které se odběru účastnily a spíše pro odhalení pachů, které jsou zjistitelné jen při odběru. Objektivněji byl pach hodnocen zároveň se zjišťováním chuti a to následující den po odběru, kdy bylo osmi osobám (zaměstnancům HBÚ) po vytemperování vzorků na pokojovou teplotu nalito cca 0,5 del vody od každé studánky a všechny osoby hodnotily přičichnutím a ochutnáním pach a chuť vzorků vod studánek. (36)

3.7.2 Stanovení zákalu

Zákal byl stanovován spektrofotometrem Specord 210 (Analytik Jena, Německo) s křemenou kyvetou o délce 4 cm v klasickém (turbidimetrickém) uspořádání. Po kalibraci na destilovanou vodu bylo změřeno spektrum vzorku při vlnové délce 200 nm až 900 nm. Absorbance vzorků při 860 nm přepočtená na tloušťku kyvety 1 cm byla použita pro výpočet zákalu v souladu s normou ČSN EN ISO 7027. (40) Výpočet byl proveden dle rovnice [4] s použitím kalibrační křivky standardních roztoků suspenze formazinu. (41) Výsledný zákal byl stanoven v turbidimetrických formazinových jednotkách ZF_t .

Rovnice pro výpočet zákalu:

$$Z = 285,71 A_{860} + 0,4 \quad [4],$$

kde A_{860} je absorbance vzorku při vlnové délce 860 nm v kyvetě s tloušťkou vrstvy 1 cm a Z je zákal v jednotkách ZF_t .

3.7.3 Stanovení barvy

Barva byla měřena na spektrofotometru Specord 210 (Analytik Jena, Německo) s křemenou kyvetou o délce 4 cm. Bylo změřeno absorpční spektrum vzorků vod studánek od 200 nm do 900 nm a absorbance při vlnové délce 436 nm (vhodná vlnová délka pro stanovení zbarvení přírodních vod) byla využita pro výpočet barvy vzorku. (6) Absorbance při vlnové délce 436 nm byla přepočítána na kyvetu o délce 1 cm a pro přepočet výsledků na počet mg platiny v 1 litru byl využit následující vztah:

$$0,025 A_{436} = 1 \text{ mg/l Pt} \quad [5],$$

kde A_{436} je absorbance vzorku při vlnové délce 436 nm v kyvetě s tloušťkou vrstvy 1 cm. (42)

3.8 Klasifikace vody dle převládajících iontů

U všech studánek byla provedena molární hydrochemická klasifikace typu vody podle převládajících iontů. Zjištěné hmotnostní koncentrace hlavních kationtů (vápník, hořčík, sodík a draslík) a aniontů (hydrogenuhličitanů, síranů, chloridů a dusičnanů) byly pomocí molárních hmotností přepočítány na molární koncentrace jednotlivých iontů dle rovnice [6]:

$$c_{\text{mol}} = c_m / M_m \quad [6],$$

kde c_{mol} je molární koncentrace v mol/l, c_m je hmotnostní koncentrace v g/l a M_m je molární hmotnost v g/mol.

Ze zjištěných molárních koncentrací pak byly vypočítány molární zlomky jednotlivých kationtů, resp. aniontů dle rovnice [7]:

$$w_{\text{mol},A} = c_{\text{mol},A} / \sum c_{\text{mol},i} \quad [7],$$

kde $w_{\text{mol},A}$ je molární zlomek iontu A (bezrozměrné), $c_{\text{mol},A}$ je molární koncentrace iontu A v mol/l a $\sum c_{\text{mol},i}$ je součet molárních koncentrací kationtů, resp. aniontů.

Kationty, resp. anionty s nejvyšším molárním zlomkem byly použity pro klasifikaci typu vody. Další složky byly pro klasifikaci použity pouze pokud jejich obsahy přesahovaly poměrné zastoupení 25% - pak se jednalo o smíšené typy vody. (6)

3.9 Bilance aniontů a kationtů

Kontrola správnosti chemických analýz byla provedena bilancí aniontů a kationtů, jejíž výsledek by vždy měl být menší nebo roven 5%. (43)

Mezi anionty byla zahrnuta také organická fáze stanovená metodou TOC. Protože však bylo zjištěno, že hodnoty obsahu organických aniontů jsou v řádu desetin procenta (maximálně do 1%) z množství anorganických aniontů, byly tyto ionty v celkové bilanci zanedbány.

Obsahy všech hlavních aniontů (hydrogenuhličitanů, dusičnanů, síranů, chloridů) a kationtů (vápník, hořčík, sodík a draslík) byly přepočítány na molární koncentrace dle rovnice [6].

Z molárních koncentrací byly vypočítány tzv. sumy ekvivalentních koncentrací (sumy nábojů aniontů a kationtů) dle rovnic [8] a [9]:

$$Z = c_{\text{mol}}(\text{HCO}_3^-) + c_{\text{mol}}(\text{NO}_3^-) + 2 c_{\text{mol}}(\text{SO}_4^{2-}) + c_{\text{mol}}(\text{Cl}^-) \quad [8],$$

$$Z^+ = 2 c_{\text{mol}}(\text{Ca}^{2+}) + 2 c_{\text{mol}}(\text{Mg}^{2+}) + c_{\text{mol}}(\text{Na}^+) + c_{\text{mol}}(\text{K}^+) \quad [9],$$

kde Z^- a Z^+ jsou sumy ekvivalentních koncentrací záporných, resp. kladných nábojů v eq/l a $c_{\text{mol}}(x)$ jsou molární koncentrace jednotlivých iontů, vše v mol/l. (43)

Konečná bilance pak byla provedena dle rovnice [10]:

$$O = 100 (Z^+ - Z^-) / (Z^+ + Z^-) \quad [10],$$

kde O je rozdíl v bilanci nábojů v % a Z^- a Z^+ jsou sumy ekvivalentních koncentrací aniontů, resp. kationtů v eq/l. (43)

4 Výsledky

4.1 Data z meteorologických stanic

Data shromážděná před každým odběrem z portálu www.pvl.cz jsou vyhodnocena a shrnuta v tabulce 1. Pro každý odběr jsou uvedeny průměry teplot 7 dní před odběrem a úhrny srážek za 10 a 2 dny před každým odběrem.

	Odběr 1.2.2015			Odběr 6.4.2015			Odběr 2.8.2015			Odběr 14.2.2016		
	φ t (°C)	srážky (mm)		φ t (°C)	srážky (mm)		φ t (°C)	srážky (mm)		φ t (°C)	srážky (mm)	
		10 dní	2 dny		10 dní	2 dny		10 dní	2 dny		10 dní	2 dny
Stanice A	-1,5	9,2	0	2	24,2	0	17	16	0	2	9,6	0
Stanice B	-1,3	7,2	0,2	3	33,1	0	17	19	0	2	9,1	0
Stanice C	-	11,6	0	-	29,5	0	-	0	0	-	17,4	0,6
Stanice D	-2	8,2	0	2,5	24,3	0	18	3	0	3	12	0
Stanice E	-	6,2	0	-	18,2	0,2	-	11,9	0	-	8,9	0,2

Tabulka 1: Data z meteorologických stanic 10 dní před každým odběrem

4.2 Chemické a fyzikální ukazatele čistoty vody

Hodnoty všech chemických, fyzikálních, mikrobiologických a organoleptických ukazatelů kvality vody pro jednotlivé studánky společně s přehledným shrnutím limitů těchto ukazatelů daných vyhláškou 252/2004 Sb. jsou uvedeny v příloze 3 této práce.

Hodnoty amonných iontů se nejčastěji pohybovaly v řádu setin mg/l. Nejlepší výsledky vykazovaly studánky 9 a 10, u nichž hodnoty amonných iontů při žádném z odběrů nepřesáhly 0,01 mg/l. Nejvyšší hodnota byla naměřena u studánky číslo 4, a to 2,91 mg/l.

Kolorimetrické stanovení dusitanů bylo provedeno pouze při posledním odběru a vyplývá z něho, že množství dusitanů se u všech studánek pohybuje v rozmezí 0 až 0,003 mg/l. Pokud bychom v tomto rozmezí chtěli hodnotit prameny s nejlepšími a nejhoršími výsledky, pak nejnižší obsah dusitanů byl ve studánkách 6 a 10, zatímco nejvyšší ve studánkách 4 a 11.

Hodnoty dusičnanů vykazují poněkud větší rozptyl a pohybují se v rozmezí od 0,8 mg/l ve studánce 11 až po hodnoty nad 58 mg/l ve studánce číslo 4.

Hydrogenuhličitanů se ve sledovaných podzemních vodách vyskytují v poměrně malém množství v úzkém rozptylu hodnot v řádu několika desetin. Minimální hodnoty blízké nule byly naměřeny ve studánce 11, maximum ve výši 0,25 mg/l bylo zjištěno ve studánce 8.

Celkový organický uhlík dosahoval minima ve studánce číslo 7 (0,37 mg/l) a maxima ve studánce 6 (3,44 mg/l).

Přesná výše obsahu železa je známá pouze z posledního únorového odběru vzorků, kdy bylo železo stanovené kolorimetricky. Rozmezí hodnot, které byly ve vodách dosaženy, se pohybovalo od 0,008 mg/l ve studánce 5 do 0,064 mg/l ve studánce 10.

Hodnoty vápníku se pohybovaly ve většině studánek od pěti do třiceti mg/l. Mimo toto rozmezí byly pouze studánka 11 (s minimem odpovídajícím 0,20 mg/l) a studánka 8 (s maximem rovným 79,29 mg/l).

Podobné výsledky jako vápník vykazoval i hořčík, ale jeho obsah se ve většině studánek pohyboval od dvou do osmi mg/l. Nejnižší hodnoty bylo dosaženo ve studánce 11 (0,40 mg/l), zatímco nejvíce hořčíku bylo ve studánce 8 (26,09 mg/l).

Obsah sodných iontů se v jedenácti sledovaných studánkách pohyboval v intervalu od 1,40 do 41,47 mg/l. Minimum bylo naměřeno ve studánce 11, maximum ve studánce 9.

Hodnoty draslíku dosahovaly svého minima taktéž ve studánce 11 (hodnota 0,53 mg/l), nejvyšší obsah byl zjištěn při srpnovém odběru ve studánce 4 (4,76 mg/l).

Obsah chloridových iontů vykazoval poměrně velký rozptyl od téměř nulových hodnot ve studánce 6 až po několik desítek mg/l ve studánkách 8 a 9. Úplně nejvyšší hodnota byla naměřena ve studánce 9 a byla rovna 73,74 mg/l.

Posledním hodnoceným chemickým parametrem byl obsah síranových iontů. Jejich výskyt ve sledovaných studánkách byl od 1,26 mg/l ve studánce 7 až po 52,03 mg/l ve studánce 8.

Z fyzikálních parametrů měla konduktivita a pH podobný průběh, pokud měl pramen nižší pH, měl zpravidla i nižší vodivost. Minimální hodnoty byly naměřeny u studánky 11 (vodivost = 2,7 mS/m; pH = 5,26), zatímco maximum těchto parametrů vykazovala studánka 8 (vodivost = 61,9 mS/m; pH = 7,00).

Průtok vody studánkou závisí na množství podzemní vody, a proto měly jednotlivé prameny značně rozkolísané hodnoty průtoků zjišťovaných během celého roku. Jednoznačně nejnižší průtok (ze studánek s výtokem) měla studánka 10, kde průtok dosahoval hodnoty pouze několika setin l/s (průměrně 0,003 l/s), a naopak nejvyšší průtok byl studánkami 1 a 11, u kterých v zimních a jarních měsících za sekundu proteklo přes 0,2 l vody.

Zatímco u některých pramenů byla měřená teplota během celého roku stálá (studánka 1 a 8), u jiných se teplota v jednotlivých ročních obdobích lišila až o 6,5°C (studánka 4). Absolutně nejnižší hodnota, která byla během celého sledování naměřena, byla rovna 4°C a byla zaznamenána v únoru roku 2016 ve studánce 10. Naopak nejvyšší hodnota rovnající se 11,5°C byla zaznamenána v srpnu 2015 ve studánce 4.

4.3 Mikrobiologické ukazatele čistoty vody

Co se týče mikrobiologických ukazatelů čistoty vody, pro všechny parametry byla minimální hodnota rovna nule, která byla dosažena několikrát v různých studánkách v různých obdobích. Maximum bylo pro každý ukazatel jiné. Pro *E. coli* bylo maximum 15 KTJ/100 ml ve studánce 4, pro koliformní bakterie 9 KTJ/100 ml ve studánce 8 a pro enterokoky více než 100 KTJ/100 ml ve studánce 4. Pro kolonie rostoucí při 22°C a kolonie rostoucí při 36°C je určení nejvyšších výsledků složitější, protože pokud na agaru vyrostl počet kolonií o hodně větší než je jejich maximální doporučená hodnota,

nebyly všechny kolonie počítány a bylo pouze vyhodnoceno, že byla překročena hodnota doporučená vyhláškou 252/2004 Sb. Takových výsledků bylo dosaženo ve studánkách 4 a 7.

4.4 Organoleptické ukazatele čistoty vody

Hodnoty zákalu se pohybovaly v intervalu od 0,4 do 1,5 ZF_t. Nejnižšího výsledku bylo dosaženo ve studánce 4, maximální hodnota byla změřena ve studánce 11.

Žádný z odebraných vzorků podzemních vod nebyl nikdy zabarven, a proto všechny výsledky přepočtené na mg/l Pt dosahují hodnoty nula.

Co se týče pachu a chuti, které byly hodnoceny konzumenty subjektivním pozorováním, nebyl nikdy zaznamenán žádný problém, všechny vody byly bez nepříjemného zápachu nebo příchuti, a tak byly pach a chuť vždy hodnoceny jako přijatelné pro spotřebitele.

4.5 Klasifikace typu vody a bilance iontů

Stanovený molární typ vod včetně převládajících aniontů a kationtů a jejich molárních zlomků je uveden v tabulce 2. Z tabulky je zřejmé, že dusičnanový typ vod nebyl uvažován (studánky 2 a 4), a pokud ve sledované vodě převládaly dusičnany, byly vždy anionty hodnoceny bez přihlídnutí k jejich obsahu – molární zlomky byly počítány pouze z hydrogenuhličitanů, síranů a chloridů.

Výsledek bilance nábojů kationtů a aniontů všech provedených rozborů byl do rozdílu 5% (rozptyl od -4,3 do 4,7%) a lze tedy shrnout, že analýzy byly provedeny správně a s největší pravděpodobností byly detekovány všechny hlavní ionty.

	Hl. kation	Mol. zl. hl. kat.	Hl. anion	Mol. zl. hl. an.	Typ vody
Studánka 1	Na	0,46	HCO ₃ ⁻	0,32	Hydrogenouhličitano-sírano-sodná
			SO ₄ ²⁻	0,31	
Studánka 2	Na	0,43	HCO ₃ ⁻	0,37	Hydrogenouhličitano-sodno-vápenatá
	Ca	0,35	NO ₃ ⁻	0,27	
Studánka 3	Na	0,52	HCO ₃ ⁻	0,48	Hydrogenouhličitano-sodná
Studánka 4	Ca	0,37	NO ₃ ⁻	0,59	Hydrogenouhličitano-sírano-vápenato-sodná
	Na	0,32	HCO ₃ ⁻	0,15	
SO ₄ ²⁻			0,12		
Studánka 5	Na	0,48	HCO ₃ ⁻	0,41	Hydrogenouhličitano-sírano-sodná
			SO ₄ ²⁻	0,38	
Studánka 6	Na	0,55	SO ₄ ²⁻	0,47	Sírano-hydrogenouhličitano-sodná
			HCO ₃ ⁻	0,38	
Studánka 7	Mg	0,35	HCO ₃ ⁻	0,69	Hydrogenouhličitano-hořečnatovápennatá
	Ca	0,29			
Studánka 8	Ca	0,52	HCO ₃ ⁻	0,66	Hydrogenouhličitano-vápenato-hořečnatá
	Mg	0,30			
Studánka 9	Na	0,65	Cl ⁻	0,58	Chlorido-sodná
Studánka 10	Na	0,41	SO ₄ ²⁻	0,53	Sírano-sodno-vápenatá
	Ca	0,35			
Studánka 11	Na	0,52	Cl ⁻	0,36	Chlorido-hydrogenouhličitano-sodná
			HCO ₃ ⁻	0,35	

Tabulka 2: Hlavní kationty, resp. anionty, jejich molární zlomky a zjištěné molární typy vod sledovaných studánek.

5 Diskuse

Ze získaných průtoků vody jednotlivými studánkami lze konstatovat, že nejvíce podzemních vod bylo v jarních měsících (dubnový odběr) a nejméně v létě (srpnový odběr), kdy dominovalo hydrologické sucho (obrázek 3). Oba únorové odběry byly co se týče průtoků vody srovnatelné, přesto v únoru roku 2016 bylo vody většinou méně než předešlého roku, což odpovídá podprůměrným srážkám během celého roku 2015.

Z hlediska chemických parametrů byla kritická studánka 4, u které byla pravidelně překročena nejvyšší mezní hodnota pro dusičnany. Výjimkou je pouze srpnový odběr, který se vymyká hodnotou všech parametrů, s největší pravděpodobností zapříčiněný nedávnou přestavbou studánky a jejím vyzděním. Patrně při rekonstrukci byly do studánky zaneseny nečistoty a amonné ionty (indikátor fekálního znečištění) se rázem zvýšily až nad mezní hodnotu danou vyhláškou. Většina ostatních parametrů byla také mírně zvýšena nad hodnoty obvyklé v jiných obdobích. Nepochybně došlo k vyplavování látek z čerstvého betonu, o čemž svědčí hlavně zvýšené hydrogenuhličitanu, kterých bylo osminásobně více než při ostatních odběrech. U hořčíku došlo k mírnému poklesu a dusičnany se snížily na polovinu obvyklé hodnoty. Přechodné snížení dusičnanů v letním období může být zapříčiněno také odčerpáváním dusičnanů z půdy právě bující vegetací (6), což ovšem nenastalo u žádné ze zbývajících studánek. Při následném únorovém odběru došlo u studánky 4 k opětovnému vyrovnání všech sledovaných chemických parametrů na původní hodnoty a překročení NMH dusičnanů, jejichž zvýšená koncentrace může být způsobena podložím nebo trvalým znečištěním půdy v okolí studánky. (8, 12, 13) Podloží je dle geologických map tvořeno migmatitem (složen z křemene, živců a slídy) stejně jako podloží v okolí ostatních studánek této oblasti. (44) Nabízí se tedy možnost znečištění z okolních polí, které tvoří 50% plochy povodí.

Ostatní studánky a jejich chemické ukazatele čistoty vody splňovaly hodnoty dané vyhláškou 252/2004 Sb. pro splnění podmínek pitné vody.

Ukazuje se, že mezní hodnota amonných iontů, stanovená vyhláškou na 0,5 mg/l, je zvolena oprávněně a potvrzuje Kožíškovu teorii o snadné detekci náhlého zvýšení parametru nad hodnotu danou geologickým podložím. (5) I v této práci dokázala nízká mezní hodnota odhalit zvýšenou koncentraci iontů a detekovat nestandardní situaci ve stavu studánky 4 a jejího okolí.

Dusitany ve všech sledovaných studánkách nepřekročily při žádném z odběrů nejvyšší mezní hodnotu danou vyhláškou (0,5 mg/l), ani koncentraci doporučenou MŽP pro znečištění podzemní vody (0,025 mg/l). Průměrná hodnota dusitanů dosahovala hodnoty 0,001 mg/l, což je řádově méně než Pitterem publikovaný průměrný obsah dusitanů v podzemních vodách okolo 0,013 mg/l. (6)

Hodnoty dusičnanů splňovaly podmínky pitné vody dané vyhláškou ve všech studánkách kromě studánky 4, která byla diskutována výše. Kromě tří studánek: 2, 8 a 9 by dokonce splňovaly dřívější limity pro kojeneckou vodu s obsahem dusičnanů do 10 mg/l. Srovnáním výsledků nebyl potvrzen předpoklad, že obsah dusičnanů je značně ovlivněn charakterem území. V oblasti okolo Českých Budějovic, kde bylo sledováno pět studánek (7, 8, 9, 10 a 11) a kde je dle Pittera koncentrace dusičnanů obvykle do 45 mg/l (6) se obsah dusičnanů pohyboval v intervalu od 1 mg/l do 20 mg/l. Podobná situace byla i v ostatních oblastech, kdy okolo Pelhřimova byl obsah dusičnanů mezi 5 a 36 mg/l a v oblasti mezi Kamenicí nad Lipou a Jindřichovým Hradcem se dusičnany pohybovaly od 3 mg/l do 52 mg/l, přičemž nejvyšší hodnota patří právě studánce 4, jejíž zvýšené koncentrace dusičnanů jsou pravděpodobně způsobené zemědělskou činností na polích v okolí.

Hydrogenuhličitan by dle Pittera měly být v podzemních vodách dominujícím anionem a jejich koncentrace by měly dosahovat desítek až stovek mg/l. (6) Ve vodách sledovaných studánek však maximální koncentrace byla nižší než 0,3 mg/l a tudíž zcela mimo rozsah publikovaný Pitterem.

Organické látky byly stanovovány metodou TOC, kdy dochází k detekci všech organických látek, tedy látek antropogenního i přírodního původu. Touto metodou by tedy měly být detekovány i produkty bakterií a organismů. Hodnoty TOC byly ve všech studánkách pod mezní hodnotou určenou vyhláškou 252/2004 Sb., a to i když byly

překročeny všechny mikrobiologické ukazatele čistoty vody. Stanovení TOC tedy nelze použít jako odhad pro bakteriální čistotu vody.

Železo bylo ve všech studánkách řádově nižší než mezní hodnota daná vyhláškou a nepředstavuje tudíž žádné zdravotní riziko.

Obsah vápníku by v podzemních vodách měl dosahovat hodnot od desítek do několika set mg/l a obsah hořčíku od jednotek do několika desítek mg/l. (6) Ve většině sledovaných studánek (kromě studánky 8) byl však obsah vápníku do 25 mg/l a obsah hořčíku do 7 mg/l. Pouze studánka 8 splňovala hodnoty doporučené vyhláškou (jejichž dosažení není pro pitné vody podmínkou), když její hodnoty pro koncentrace vápníku byly přes 70 mg/l a pro koncentrace hořčíku přes 20 mg/l. Vody ostatních studánek tedy dle zprávy Světové zdravotnické organizace mohou zvyšovat riziko kardiovaskulárních onemocnění. (23)

Obsah sodíku a draslíku byl v polovině studánek nižší než obsah vápníku a hořčíku, ve druhé polovině studánek byl obsah sodíku a draslíku naopak vyšší. Stejně tomu bylo i s poměrem sodíku ku draslíku, který byl u pěti sledovaných studánek zhruba roven hodnotě čtyři, u ostatních studánek byl poměr jiný. U studánky 9 byl poměr roven číslu 27, u studánky 7 byla naopak koncentrace draslíku dokonce vyšší než koncentrace sodíku a poměr byl roven hodnotě 0,67.

Všechny studánky splňovaly podmínky dané vyhláškou 252/2004 Sb. a kromě studánky 8 a 9 i doporučení MŽP pro koncentrace chloridů. Protože se však u těchto dvou studánek jedná o sice zvýšené, ale stále hodnoty obsahu chloridů (jde tedy o přirozený výskyt chloridů daný podložím), i ony doporučení MŽP z roku 1992 vyhovují. Průměrná koncentrace chloridů ve sledovaných studánkách je rovna hodnotě 12 mg/l, což je polovina hodnoty publikované Pitterem. (6)

Obsahy síranů byly u všech studánek, kromě studánky 7 a 11, v řádu desítek mg/l a potvrzují tak hodnoty publikované Pitterem. (6) U studánky 7 a 11 byly koncentrace síranů ještě nižší, a tak všechny studánky splňovaly podmínky pro pitnou vodu dané vyhláškou 252/2004 Sb.

Co se týče fyzikálních ukazatelů čistoty vody, konduktivita u většiny studánek byla velmi nízká do 20 mS/m, odpovídající velmi malému množství rozpuštěných látek, které mohou, při dlouhodobém užívání vody, organismu chybět. Pouze studánky 8 a 9 měli konduktivitu rovnu 60 a 38 mS/m a splňují tak hodnoty doporučené Kožíškem. (5) Stejný trend vykazuje i naměřené pH a kromě studánek 8 a 9 bylo dokonce pod mezní hodnotou (pH = 6,5) danou vyhláškou (ta však pro neupravované vody připouští pH od 4,5), což je dle Kožíška přirozená vlastnost málo mineralizovaných vod a dle Velikovského není pitné vodě na závadu. (5, 16) Z hlediska teploty odebírané vody nedošlo ke splnění Hetešovy hypotézy, že podzemní vody mívají konstantní teplotu kolem 10°C. (12) Toto splnila pouze studánka 8, studánka 1 měla konstantní teplotu 7,5°C, ostatní studánky již měly teploty značně rozkolísané během ročních období, a tak do nich pravděpodobně proniká povrchová voda. (6) Průtok byl ovlivněn ročním obdobím u všech studánek s výtokem, v srpnu dokonce kvůli nízké hladině vody nebylo možné některé vzorky odebrat. Nejméně byla obdobím sucha ovlivněna opět studánka 8, jejíž průtok se v srpnu snížil pouze o 10% oproti ostatním odběrům.

Hodnocení mikrobiálního znečištění není snadné. Pouze studánky 1, 3, 6 a 10 nepřekročily při žádném z odběrů limity dané vyhláškou 252/2004 Sb. pro mikrobiologické ukazatele. Ostatní studánky alespoň při jednom odběru, minimálně jedním parametrem nevyhověly předpisům. Nejčastěji byly meze překročeny při srpnovém odběru (5 z 11 případů) a lze tudíž konstatovat, že období sucha je z hlediska jakosti vody nejvíce rizikové. Ovšem už nelze říci, že by ostatní období byla bez rizika, a bohužel nelze vysledovat žádnou souvislost mezi znečištěním a jeho příčinou. Jako možné příčiny byly sledovány úhrny srážek (vliv splachu z povodí při vyšších srážkách) a teploty ovzduší (vliv sucha, jarního tání), které však bohužel vykazovaly malé rozdíly mezi jednotlivými oblastmi, vzdálenost výstavby a množství lesa v okolí i přítomnost výtoků a péče o studánku. Nic však nebylo shledáno v příčinné souvislosti se znečištěním.

Stanovení enterokoků, které doporučuje Kožíšek (5), je diskutabilní, protože ve třech z jedenácti případů bylo znečištění způsobeno pouze překročením nejvyšší mezní

hodnoty pro enterokoky, a pokud bychom prováděli jen krácený rozbor stanovený vyhláškou 252/2004 Sb., vody bychom považovali za pitné. Na druhé straně fekální původ enterokoků není jistý. (5)

Z organoleptických ukazatelů žádný parametr nepomohl odhalit znečištění chemického ani mikrobiologického původu a všechny parametry vždy byly v souladu s vyhláškou 252/2004 Sb.

Hydrogenuhličitanové vody (případně v kombinaci s jiným aniontem) se vyskytovaly v 73% případů, významnější zastoupení chloridů se vyskytovalo ve 13% a síranů v 9% vod, což odpovídá zastoupení podzemních vod v ČR. (21) Z hlediska kationtů se výsledky získané v této práci liší od hodnot z výše zmíněného výzkumu, dle kterého se v ČR vyskytuje 73% vápenatých a 11% sodných nebo draselných vod. (21) Z jedenácti sledovaných studánek měl vápník významnější zastoupení pouze ve 45%, zatímco sodík byl hlavním kationtem v 83% z nich.

Celkově pouze čtyři studánky z jedenácti při všech odběrech splňovaly normu pro pitnou vodu a voda v 64% studánek tedy byla neuspokojivá. To potvrzuje hypotézu Kožíška a Bauerové, kteří publikovali, že až 70% zdrojů podzemní vody může být zdravotně závadných. (14, 15) Na druhé straně je třeba připomenout, že většina studánek byla znečištěna pouze při jednom z odběrů a v ostatních obdobích bylo možné vodu bez rizika užívat.

Když se však na problém podíváme z opačné strany, každá studánka (kromě studánky 4) byla alespoň jednou v souladu s vyhláškou 252/2004 Sb. Což při průměrném objemu produkované vody do 10 m³/den a vyhláškou doporučené četnosti odběrů 1x za rok znamená, že pokud by voda byla odebrána ve správnou chvíli, může být po celý rok ze zákona používána, aniž by byl vzat v úvahu fakt, že v některém období je její konzumace riziková. Z tohoto hlediska je frekvence odběrů doporučená vyhláškou 252/2004 Sb. nedostačující.

6 Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo sledování jedenácti vybraných studánek během jednoho roku. Studánky byly vybrány vzhledem k jejich využitelnosti a poloze ve třech různých lokalitách. Během jednoho roku byly provedeny čtyři odběry vody: v zimě, na jaře, v létě a opět v zimě. Zároveň byl sledován průběh teplot a srážek deset dní před každým odběrem, které však nebyly shledány v příčinné souvislosti se znečištěním studánek.

Celkem bylo hodnoceno dvanáct chemických, pět mikrobiologických, čtyři fyzikální a čtyři organoleptické ukazatele čistoty vody.

Z chemických parametrů byly kritické dusičnany, které byly u jedné ze studánek trvale zvýšené, a patrně zapříčiněné hnojením polí v povodí studánky. Některé další chemické ukazatele byly překročeny u téže studánky pouze při jednom z odběrů a to těsně po její přestavbě. Toto znečištění bylo pravděpodobně způsobené vyplavováním složek betonu a zanesením nečistot při rekonstrukci.

Kromě jediné studánky se jednalo o vody velmi málo mineralizované s nízkou konduktivitou i pH a s obsahem vápníku a hořčíku pod doporučenou hodnotou.

Fyzikální a organoleptické ukazatele byly při všech stanoveních v souladu s vyhláškou 252/2004 Sb.

Co se týče mikrobiologických ukazatelů, jejich limity byly překročeny jedenáctkrát (z celkem 41 vzorků), nejčastěji (5x) v letních měsících.

Voda 64% studánek byla alespoň při jednom odběru, minimálně v jednom parametru neuspokojivá.

Četnost odběrů doporučená vyhláškou 252/2004 Sb. je pro důslednou kontrolu vody vhodné k pití nedostatečná a nedokáže odhalit hrozící riziko znečištění.

Rok 2015, kdy byly studánky sledovány, byl co do množství srážek podprůměrný. Z toho důvodu nebyly dostatečně prozkoumány vlivy vyššího stavu podzemní vody, proto jako možnost pro zpracování další práce navrhuji sledování užšího okruhu studánek po dobu dalšího roku s častější frekvencí odběru vzorků.

7 Seznam informačních zdrojů

- 1) SLÁDEK, Josef V. *Dětem*. 5. vyd. Praha: Melantrich, 1949, s. 18.
- 2) SPELLMAN, Frank R. *The science of water: Concepts and applications*. 2nd ed. Boca Raton: CRC Press, 2007. ISBN 978-1-4200-5544-3.
- 3) FITTS, Charles R. *Groundwater science*. 2nd ed. Waltham: Academic Presses, 2012, © 2013. ISBN 978-0-12-384705-8.
- 4) GRAY, Nick F. *Drinking Water Quality: Problems and Solutions*. Chichester: Wiley, 1994, © 1994. ISBN 0-471-94818-7.
- 5) KOŽÍŠEK, František. *Studna jako zdroj pitné vody*. 2. vyd. Praha: SZÚ, 2003. ISBN 80-7071-224-4.
- 6) PITTER, Pavel. *Hydrochemie*. 3. přeprac. vyd. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 1999. ISBN 80-7080-340-1.
- 7) CHMELAŘ, Lubomír. Další anomálie vody. In: KOŽÍŠEK, F. *Živá voda '97: nové poznatky o kvalitě a vlastnostech vody: sborník přednášek ze semináře uspořádaného Českou vědeckotechnickou vodohospodářskou společností a nadací Aquasana v Praze*. Praha: Česká vědeckotechnická vodohospodářská společnost, 1997, s. 55-64. ISBN 80-02-01192-9.
- 8) KOŽÍŠEK, F., J. KOS a P. PUMANN. *Hygienické minimum pro pracovníky ve vodárenství*. Praha: Sovak, 2007. ISBN 80-200-1307-5.

9) WHO. *Guidelines for drinking-water quality*. 3rd ed. [online]. Geneva: World Health Organization, © 2008, Vol. 1 – Recommendations [cit. 2016-03-18]. ISBN 978-92-4-154761-1. Dostupné z:

http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/204411/1/9789241547611_eng.pdf?ua=1

10) JELIGOVÁ, Hana a František KOŽÍŠEK. Epidemie z pitné vody v České republice 2006-2010. In: KALOUSKOVÁ, Nataša a Petr DOLEJŠ. *Pitná voda 2014: 12. pokračování konferencí Pitná voda z údolních nádrží: 26.5.-29.5.2014 v Táboře: sborník konference*. České Budějovice: W&ET Team, 2014, s. 181-186. ISBN 978-80-905238-1-4.

11) DITRICH, Oleg et al. *Voda jako zdroj parazitárních onemocnění člověka* [online]. [Praha]: SZÚ, 2004 [cit. 2016-03-10]. Dostupné z:

<http://www.szu.cz/uploads/documents/chzp/voda/pdf/crypto/ditrich1.pdf>

12) HETEŠA, Jiří a Eva KOČKOVÁ. *Hydrochemie*. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 1997. ISBN 80-7157-289-6.

13) STRNADOVÁ, Nina a Václav JANDA. *Technologie vody I*. Praha: Ediční a audiovizuální centrum VŠCHT, 1995. ISBN 80-7080-226-X.

14) KOŽÍŠEK, František a Karel KRATZER. *Zpráva o kvalitě pitné vody ze studní individuálního zásobování v České republice* [online]. Praha: SZÚ, 1999. [cit. 2016-03-15]. Dostupné z: <http://www.szu.cz/uploads/documents/chzp/voda/pdf/studny99.pdf>

15) BAUEROVÁ, Lucia et al. *Národní cíle České republiky k Protokolu o vodě a zdraví* [online]. [Praha]: SZÚ, 2008 [cit. 2016-03-07]. Dostupné z:

http://www.szu.cz/uploads/documents/chzp/voda/pdf/Protokol_finalni.pdf

16) VELIKOVSKÝ, Zdeněk et al. *Vybraná témata z hygieny životního prostředí*. České Budějovice: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zdravotně sociální fakulta, 2007. ISBN 978-80-7040-945-9.

17) ČESKO. Předpis č. 252/2004 Sb. Hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost kontrol. In: *Sbírka zákonů České republiky*, 2004, částka 82, s. 5402-5422. Dostupné také z: http://www.ovak.cz/files_for_web/dok_V2522004-1-1.pdf

18) BREZONIK, Patrick L. a William A. ARNOLD. *Water chemistry: an introduction to the chemistry of natural and engineered aquatic systems*. New York: Oxford University Press, © 2011. ISBN 978-0-19-973072-8.

19) SAKALOVÁ, Adriana et al. *Hematológia a transfuziológia: teória a cvičenia*. Martin: Osveta, 1995. ISBN 80-217-0444-6.

20) ČSN 75 7111. *Jakost vod. Pitná voda*. Praha: Český normalizační institut, 1989. Třídící znak 757111.

21) ZÝKA, Václav. Geochemie pitných vod ČSR. In: VTĚLENSKÝ, Jiří. *Sborník geologických věd. Technologie, geochemie*. Sv. 18. Praha: Ústřední ústav geologický v Akademii. Nakladatelství Československé akademie věd, 1982.

22) KOŽÍŠEK, František. *Biologická (biogenní) hodnota pitné vody a její historie v České republice* [online]. 2. aktualizovaná verze. [Praha]: SZÚ, 2008 [cit. 2016-03-10]. Dostupné z: http://www.szu.cz/uploads/documents/chzp/voda/pdf/biologicka_hodnota_vody.pdf

23) WHO. *Calcium and magnesium in drinking-water: public health significance* [online]. Geneva: World Health Organization, 2009 [cit. 2016-03-18]. ISBN 978-92-4-156355-0. Dostupné z: http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/43836/1/9789241563550_eng.pdf

- 24) KOŽÍŠEK, František. *Zdravotní rizika pití demineralizované vody* [online]. 2. aktualizovaná verze. Praha: SZÚ, 2001 [cit. 2016-03-18]. Dostupné z: <http://www.vak.cz/soubory/demivod.pdf>
- 25) GÖPFERTO VÁ, D., P. PAZDRIOLA a J. DÁŇOVÁ. *Epidemiologie: obecná a speciální epidemiologie infekčních nemocí*. Praha: Karolinum, 2006. ISBN 80-246-1232-1.
- 26) KOŽÍŠEK, František a Petr PUMANN. *Infekční onemocnění z pitné vody* [online]. [Praha]: SZÚ, 2008 [cit. 2016-03-10]. Dostupné z: <http://www.szu.cz/tema/prevence/infekcni-onemocneni-z-pitne-vody>
- 27) HÄUSLER, Jiří. *Mikrobiologické kultivační metody kontroly jakosti vod. Díl 2: Mikrobiologický rozbor vod*. Praha: Ministerstvo zemědělství ČR, 1994. ISBN 80-7084-107-9.
- 28) AMBROŽOVÁ, Jana. *Mikrobiologie v technologii vod*. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická, 2004. ISBN 80-7080-534-X.
- 29) PUMANN, Petr et al. Hygienický význam ukazatele počty kolonií a změna v jeho hodnocení. In: KALOUSKOVÁ, Nataša a Petr DOLEJŠ. *Pitná voda 2014: 12. pokračování konferencí Pitná voda z údolních nádrží: 26.5.-29.5.2014 v Táboře: sborník konference*. České Budějovice: W&ET Team, 2014, s. 175-180. ISBN 978-80-905238-1-4.
- 30) KOŽÍŠEK, František. *Senzorika v oblasti pitné vody* [online]. [Praha]: SZÚ, 2005 [cit. 2016-03-10]. Dostupné z: <http://www1.szu.cz/chzp/voda/pdf/senzorika/kozisek.pdf>

31) WATSON, Susan B. Aquatic taste and odor: a primary signal of drinking-water integrity. *Journal of Toxicology and Environmental Health (Part A)*. 2004, Vol. 67, Iss. 20-22, p. 1779-1795.

32) ČESKO. NÁRODNÍ REGISTR PRAMENŮ A STUDÁNEK. *MOP: Mladí ochránci přírody* [online]. MOP, © 2016 [cit. 2016-03-01]. Dostupné z: <http://www.estudanky.eu/>

33) KULÍK, Michal. *Prameny a studánky ČR 2015* [online]. Praha: Mladí ochránci přírody, 2015 [cit. 2016-03-18]. Dostupné z: <http://www.estudanky.eu/down/stud15.pdf>

34) ČESKO. POVODÍ VLTAVY, STÁTNÍ PODNIK. *Povodí Vltavy, s.p. a Český hydrometeorologický ústav* [online]. MGE Data s.r.o., © 1996 – 2015 [cit. 10 dní před každým odběrem vody]. Dostupné z: <http://www.pvl.cz/portal/srazky/>

35) ČESKO. INTERSUCHO. *Mapy intenzity sucha* [online]. Ústav výzkumu globální změny AV ČR, © 2016 [cit. 2016-08-01]. Dostupné z: <http://www.intersucho.cz/cz/>

36) HORÁKOVÁ, M., P. LISCHKE a A. GRÜNWARD. *Chemické a fyzikální metody analýzy vod*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, © 1986.

37) PROCHÁZKOVÁ, L. Bestimmung der Nitrate im Wasser. *Fresenius' Zeitschrift für analytische Chemie*. July 1959, Vol. 167, Iss. 4, p. 254-260.

38) OSBURN, Christopher L. and Donald P. MORRIS. Photochemistry of chromophoric dissolved organic matter in natural waters. In: HELBLING, E. Walter and Horacio ZAGARESE. *UV Effects in aquatic Organisms and Ecosystems*. Cambridge: The Royal Society of Chemistry, ©2003, p. 185-217. ISBN 0-85404-301-2.

- 39) KOPÁČEK, Jiří and Josef HEJZLAR. Semi-Micro Determination of Total Phosphorus in Fresh Waters with Perchloric Acid Digestion. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*. 1993, Vol. 53, Iss. 3, p. 173-183.
- 40) ČSN EN ISO 7027. *Jakost vod - Stanovení zákalu*. Praha: Český normalizační institut, 2000. Třídící znak 757343.
- 41) HORKÁ, Regina. *Nefelometrické posuzování účinnosti filtrace pitné vody po koagulaci solemi hliníku*. Zlín, 2013. Bakalářská práce, Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta technologická, Ústav technologie potravin.
- 42) CROWTHER, Joan and John EVANS. Estimating color in Hazen units by spectrophotometry. *Journal American Water Works Association*. May 1981, Vol. 73, No. 5, p. 265-270.
- 43) UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE. PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA. *Parametry a zpracování analýz vod* [online]. Ústav geochemie, mineralogie a nerostných zdrojů, © 2014 [cit. 2016-04-21]. Dostupné z: <https://www.natur.cuni.cz/geologie/geochemie/studium/ke-stazeni/5>
- 44) ČESKÁ GEOLOGICKÁ SLUŽBA. BOKR, Pavel. *Geologické a geovědní mapy* [online]. Geologické-mapy.cz, © 2016 [cit. 2016-04-22]. Dostupné z: <http://www.geologicke-mapy.cz/mapy-internet/mapa/>
- 45) JINDRA, Jiří. Památky v naší krajině. *Vitínský zpravodaj*. 2015, č. 19, s. 8.

8 Přílohy

Příloha 1: Popis studánek

Studánka č. 1

Název: Stříbrná studánka

GPS: N 49°24'22.68" E 15°18'19.08"

Nadmořská výška: 622 m

O zdroj pečuje: nikdo



Obr. 5: Stříbrná studánka

Studánka č. 2

Název: Jakubcova studánka

GPS: N 49°22'46.80" E 15°14'36.43"

Nadmořská výška: 550 m

O zdroj pečuje: majitelé pozemku



Obr. 6: Jakubcova studánka

Studánka č. 3

Název: Nebohá studánka

GPS: N 49°20'28.69" E 15°08'38.38"

Nadmořská výška: 670 m

O zdroj pečuje: Lesy ČR, s.p.



Obr. 7: Nebohá studánka

Studánka č. 4

Název: Beze jména (Lhota-Vlasenice)

GPS: N 49°17'37.23" E 15°08'35.86"

Nadmořská výška: 611 m

O zdroj pečuje: místní chataři



Obr. 8: Studánka č. 4 před a po rekonstrukci

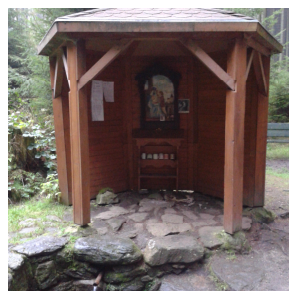
Studánka č. 5

Název: Pramen sv. Ludmily

GPS: N 49°16'53.04" E 15°15'02.88"

Nadmořská výška: 655 m

O zdroj pečuje: nikdo



Obr. 9: Pramen sv. Ludmily

Studánka č. 6

Název: Kunějov

GPS: N 49°05'39.79" E 15°05'58.16"

Nadmořská výška: 540 m

O zdroj pečuje: nikdo



Obr. 10: Studánka v Kunějově

Studánka č. 7

Název: Jednota

GPS: N 48°57'36.00" E 14°45'20.88"

Nadmořská výška: 445 m

O zdroj pečuje: pan Hajný



Obr. 11: Studánka Jednota před a po renovaci

Studánka č. 8

Název: Mariánský pramen

GPS: N 48°57'58.67" E 14°31'36.47"

Nadmořská výška: 435 m

O zdroj pečuje: obec



Obr. 12: Mariánský pramen

Studánka č. 9

Název: Pramen Pod Lustenkem

GPS: N 48°59'26.90" E 14°32'53.70"

Nadmořská výška: 473 m

O zdroj pečuje: nikdo



Obr. 13: Pramen Pod Lustenkem

Studánka č. 10

Název: U Mrhalu

GPS: N 48°59'17.52" E 14°34'00.12"

Nadmořská výška: 518 m

O zdroj pečuje: neznámý



Obr. 14: Studánka U Mrhalu

Studánka č. 11

Název: U Šraňku

GPS: N 49°08'47.32" E 14°55'77.53"

Nadmořská výška: 503 m

O zdroj pečuje: Lesy ČR, s.p.



Obr. 15: Studánka U Šraňku

Údaje o studánkách ze zdrojů: (32) a (45)

Příloha 2: Příprava agarů

TTC

57,15 g Modified Tergitol 7 Agar (HiMedia)

1 l destilované vody

- nabobtnat, zahřátím rozpustit, v autoklávu odstranit zárodky mikroorganismů, po zchladnutí na 45°C přidat 2,5 ml 1% roztoku 2,3,5-trifenyltetrozolium chloridu, rozlít do Petriho misek

M-FC

52,1 g M-FC Agar Base (HiMedia)

1 l destilované vody

- nabobtnat, zahřátím rozpustit, přidat 10 ml 1% roztoku kyseliny rosolové, zamíchat, 1 min povařit, po zchladnutí na 40°C rozlít do Petriho misek

Chromogenní půda

37 g Rapid *E. Coli* 2 Agar (Bio-Rad)

1 l destilované vody

- nabobtnat, zahřátím rozpustit, v autoklávu odstranit zárodky mikroorganismů, po zchladnutí na 45°C přidat 2 kusy tablet Rapid *E. Coli* 2 supplement rozpuštěné v 10 ml sterilní destilované vody, rozlít do Petriho misek

SB

46,5 g Slanetz and Bartley Medium (HiMedia)

1 l destilované vody

- nabobtnat, zahřátím rozpustit, po zchladnutí na 40°C rozlít do Petriho misek

MPA (masopeptonový agar)

23 g Nutrient Agar, pH 7.0 (HiMedia)

1 l destilované vody

- 12 hodin bobtnat, zahřátím rozpustit, v autoklávu odstranit zárodky mikroorganismů, nechat zatuhnout v Erlenmayerově baňce, znovu se rozpustí až před stanovením

Esculin

0,57 g Bile Esculin Azide Agar

10 ml destilované vody

- zamíchat, v autoklávu odstranit zárodky mikroorganismů, po zchlazení na 40°C vylít do Petriho misky a po zatuhnutí ihned použít

Příloha 3: Výsledky studánek

Limity dané vyhláškou 252/2004 Sb.

Ukazatel	Jednotka	Typ limitu	Hodnota
<i>E. coli</i>	KTJ/100 ml	NMH	0
Koliformní bakterie	KTJ/100 ml	MH	0
Enterokoky	KTJ/100 ml	NMH	0
Kolonie při 22°C	KTJ/1 ml	DH	500
Kolonie při 36°C	KTJ/1 ml	DH	100
Amonné ionty	mg/l	MH	0,5
Dusitany	mg/l	NMH	0,5
Dusičnany	mg/l	NMH	50
Hydrogenuhlíčitany	mg/l	-	-
TOC	mg/l	MH	5,0
Železo	mg/l	MH	0,5
Vápník	mg/l	DH	40-80
Hořčík	mg/l	DH	20-30
Sodík	mg/l	MH	200
Draslík	mg/l	-	-
Chloridy	mg/l	MH	250
Sírany	mg/l	MH	250
Konduktivita (25°C)	mS/m	MH	125
pH	-	MH	4,5-9,5
Průtok	l/s	-	-
Teplota	°C	DH	8-12
Zákal	ZF _t	MH	5
Barva	mg/l Pt	MH	20
Pach	-	MH	příjemný pro odběratele
Chuť	-	MH	příjemná pro odběratele

Studánka 1:

Ukazatel	Jednotka	Výsledky odběrů			
		1.2.2015	6.4.2015	2.8.2015	14.2.2016
<i>E. coli</i>	KTJ/100 ml	0	0	0	0
Koliformní bakterie	KTJ/100 ml	0	0	0	0
Enterokoky	KTJ/100 ml	0	0	0	0
Kolonie při 22°C	KTJ/1 ml	0	0	2	0
Kolonie při 36°C	KTJ/1 ml	2	1	0	3
Amonné ionty	mg/l	0,01	0,01	0,02	0,04
Dusitany	mg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5	0,001
Dusičnany	mg/l	5,25	4,74	4,90	4,74
Hydrogenuhlíčitany	mg/l	0,01	0,01	0,01	0,02
TOC	mg/l	0,92	0,60	0,59	1,26
Železo	mg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5	0,037
Vápník	mg/l	4,38	5,03	3,85	4,85
Hořčík	mg/l	3,13	3,12	3,11	3,35
Sodík	mg/l	5,28	5,06	5,04	5,30
Draslík	mg/l	1,32	1,44	1,44	1,44
Chloridy	mg/l	4,90	4,64	5,13	4,83
Sírany	mg/l	17,78	16,73	17,82	17,47
Konduktivita	mS/m	9,5	9,4	9,4	9,2
pH	-	5,88	5,95	5,92	6,01
Průtok	l/s	0,23	0,24	0,15	0,14
Teplota	°C	7,5	7,5	7,5	7,5
Zákal	ZF _t	0,9	0,6	0,5	0,4
Barva	mg/l Pt	0,0	0,0	0,0	0,0
Pach	-	příjemný	příjemný	příjemný	příjemný
Chuť	-	příjemná	příjemná	příjemná	příjemná

Studánka 2:

Ukazatel	Jednotka	Výsledky odběrů			
		1.2.2015	6.4.2015	2.8.2015	14.2.2016
<i>E. coli</i>	KTJ/100 ml	0	0	2	0
Koliformní bakterie	KTJ/100 ml	0	0	1	0
Enterokoky	KTJ/100 ml	0	0	2	0
Kolonie při 22°C	KTJ/1 ml	2	26	68	70
Kolonie při 36°C	KTJ/1 ml	4	0	5	2
Amonné ionty	mg/l	0,00	0,01	0,01	0,10
Dusitany	mg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5	0,001
Dusičnany	mg/l	24,25	31,43	36,23	25,82
Hydrogenuhlíčitany	mg/l	0,03	0,03	0,04	0,03
TOC	mg/l	1,07	0,58	0,59	2,17
Železo	mg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5	0,049
Vápník	mg/l	16,18	16,25	14,72	14,69
Hořčík	mg/l	5,27	5,18	4,74	4,98
Sodík	mg/l	11,49	11,08	12,01	10,79
Draslík	mg/l	1,25	1,27	1,40	1,31
Chloridy	mg/l	9,86	10,84	12,77	8,32
Sířany	mg/l	23,64	14,92	13,85	23,96
Konduktivita	mS/m	19,6	20,1	21,6	18,8
pH	-	6,08	6,13	6,20	6,13
Průtok	l/s	0,11	0,14	0,07	0,18
Teplota	°C	7,5	6,5	11,0	7,0
Zákal	ZF _t	0,5	0,6	0,5	0,4
Barva	mg/l Pt	0,0	0,0	0,0	0,0
Pach	-	přijatelný	přijatelný	přijatelný	přijatelný
Chuť	-	přijatelná	přijatelná	přijatelná	přijatelná

Studánka 3:

Ukazatel	Jednotka	Výsledky odběrů			
		1.2.2015	6.4.2015	2.8.2015	14.2.2016
<i>E. coli</i>	KTJ/100 ml	0	0	0	-
Koliformní bakterie	KTJ/100 ml	0	0	0	-
Enterokoky	KTJ/100 ml	0	0	0	-
Kolonie při 22°C	KTJ/1 ml	16	8	292	-
Kolonie při 36°C	KTJ/1 ml	0	0	86	-
Amonné ionty	mg/l	0,01	0,04	0,01	-
Dusitany	mg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-
Dusičnany	mg/l	8,00	13,02	8,38	-
Hydrogenuhlíčitany	mg/l	0,02	0,02	0,02	-
TOC	mg/l	0,60	1,03	0,70	-
Železo	mg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-
Vápník	mg/l	5,23	5,53	4,33	-
Hořčík	mg/l	2,29	2,14	1,94	-
Sodík	mg/l	6,21	5,79	6,57	-
Draslík	mg/l	1,00	1,14	1,42	-
Chloridy	mg/l	2,47	2,29	2,53	-
Sířany	mg/l	13,05	12,27	13,60	-
Konduktivita	mS/m	9,1	9,0	9,0	-
pH	-	5,98	6,01	5,88	-
Průtok	l/s	-	-	-	-
Teplota	°C	6,5	5,5	10,0	-
Zákal	ZF _t	0,6	0,7	0,7	-
Barva	mg/l Pt	0,0	0,0	0,0	-
Pach	-	příjemný	příjemný	příjemný	-
Chuť	-	příjemná	příjemná	příjemná	-

Studánka 4:

Ukazatel	Jednotka	Výsledky odběrů			
		1.2.2015	6.4.2015	2.8.2015	14.2.2016
<i>E. coli</i>	KTJ/100 ml	0	0	15	0
Koliformní bakterie	KTJ/100 ml	0	0	5	0
Enterokoky	KTJ/100 ml	0	0	> 100	0
Kolonie při 22°C	KTJ/1 ml	548	118	> 500	> 500
Kolonie při 36°C	KTJ/1 ml	42	13	> 100	3
Amonné ionty	mg/l	0,02	0,05	2,91	0,06
Dusitany	mg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5	0,003
Dusičnany	mg/l	52,46	52,19	24,29	58,50
Hydrogenuhlíčitany	mg/l	0,01	0,01	0,08	0,01
TOC	mg/l	0,69	0,89	2,02	1,60
Železo	mg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5	0,019
Vápník	mg/l	14,67	14,94	27,41	15,49
Hořčík	mg/l	6,63	6,44	4,56	6,79
Sodík	mg/l	7,36	6,96	9,11	7,80
Draslík	mg/l	1,40	1,53	4,76	1,90
Chloridy	mg/l	6,20	6,10	7,21	7,45
Sírany	mg/l	19,25	18,90	24,62	18,20
Konduktivita	mS/m	19,5	20,0	26,4	20,8
pH	-	5,68	5,70	6,83	5,75
Průtok	l/s	-	-	-	-
Teplota	°C	5,5	5,0	11,5	5,0
Zákal	ZF _t	0,7	1,1	1,2	0,4
Barva	mg/l Pt	0,0	0,0	0,0	0,0
Pach	-	příjemný	příjemný	příjemný	příjemný
Chuť	-	příjemná	příjemná	příjemná	příjemná

Studánka 5:

Ukazatel	Jednotka	Výsledky odběrů			
		1.2.2015	6.4.2015	2.8.2015	14.2.2016
<i>E. coli</i>	KTJ/100 ml	0	0	0	0
Koliformní bakterie	KTJ/100 ml	0	0	0	0
Enterokoky	KTJ/100 ml	0	0	8	0
Kolonie při 22°C	KTJ/1 ml	10	10	60	10
Kolonie při 36°C	KTJ/1 ml	0	0	13	0
Amonné ionty	mg/l	0,01	0,01	0,02	0,01
Dusitany	mg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5	0,001
Dusičnany	mg/l	6,00	5,92	6,80	6,16
Hydrogenuhlíčitany	mg/l	0,02	0,02	0,02	0,02
TOC	mg/l	0,81	0,84	0,68	1,16
Železo	mg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5	0,008
Vápník	mg/l	7,44	7,56	7,60	7,21
Hořčík	mg/l	3,91	3,67	3,61	3,70
Sodík	mg/l	7,80	7,22	9,08	7,59
Draslík	mg/l	1,07	1,21	1,54	1,15
Chloridy	mg/l	2,32	2,42	2,62	2,52
Sířany	mg/l	27,10	28,04	27,17	28,12
Konduktivita	mS/m	12,7	12,5	12,2	12,0
pH	-	6,06	6,06	6,10	6,09
Průtok	l/s	0,15	0,17	0,09	0,15
Teplota	°C	6,5	5,5	8,5	6,0
Zákal	ZF _t	0,8	0,8	0,6	0,4
Barva	mg/l Pt	0,0	0,0	0,0	0,0
Pach	-	příjemný	příjemný	příjemný	příjemný
Chuť	-	příjemná	příjemná	příjemná	příjemná

Studánka 6:

Ukazatel	Jednotka	Výsledky odběrů			
		1.2.2015	6.4.2015	2.8.2015	14.2.2016
<i>E. coli</i>	KTJ/100 ml	0	0	-	0
Koliformní bakterie	KTJ/100 ml	0	0	-	0
Enterokoky	KTJ/100 ml	0	0	-	0
Kolonie při 22°C	KTJ/1 ml	4	2	-	28
Kolonie při 36°C	KTJ/1 ml	3	4	-	2
Amonné ionty	mg/l	0,01	0,01	-	0,05
Dusitany	mg/l	< 0,5	< 0,5	-	0,000
Dusičnany	mg/l	3,01	2,87	-	3,72
Hydrogenuhlíčitany	mg/l	0,01	0,01	-	0,01
TOC	mg/l	1,78	1,68	-	3,44
Železo	mg/l	< 0,5	< 0,5	-	0,045
Vápník	mg/l	6,25	6,35	-	6,13
Hořčík	mg/l	2,27	2,12	-	2,14
Sodík	mg/l	7,80	7,25	-	7,78
Draslík	mg/l	1,08	1,21	-	1,09
Chloridy	mg/l	1,69	1,57	-	0,00
Sířany	mg/l	27,72	26,16	-	26,11
Konduktivita	mS/m	10,7	10,7	-	10,3
pH	-	5,85	5,79	-	5,83
Průtok	l/s	0,10	0,11	-	0,08
Teplota	°C	8,0	7,0	-	8,0
Zákal	ZF _t	0,8	0,7	-	0,5
Barva	mg/l Pt	0,0	0,0	-	0,0
Pach	-	příjemný	příjemný	-	příjemný
Chuť	-	příjemná	příjemná	-	příjemná

Studánka 7:

Ukazatel	Jednotka	Výsledky odběrů			
		1.2.2015	6.4.2015	2.8.2015	14.2.2016
<i>E. coli</i>	KTJ/100 ml	0	0	0	1
Koliformní bakterie	KTJ/100 ml	0	0	0	0
Enterokoky	KTJ/100 ml	0	0	7	0
Kolonie při 22°C	KTJ/1 ml	82	442	> 500	436
Kolonie při 36°C	KTJ/1 ml	67	13	> 100	27
Amonné ionty	mg/l	0,01	0,02	0,02	0,03
Dusitany	mg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5	0,001
Dusičnany	mg/l	8,91	7,45	7,61	8,33
Hydrogenuhlíčitany	mg/l	0,04	0,04	0,05	0,04
TOC	mg/l	0,37	0,95	0,53	1,13
Železo	mg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5	0,029
Vápník	mg/l	6,57	6,86	7,98	6,64
Hořčík	mg/l	4,89	4,89	4,72	4,75
Sodík	mg/l	2,54	2,54	2,67	2,67
Draslík	mg/l	3,71	3,75	4,09	3,83
Chloridy	mg/l	4,73	4,63	4,63	4,92
Sírany	mg/l	1,43	1,26	1,44	1,38
Konduktivita	mS/m	10,6	10,7	11,3	10,7
pH	-	6,03	6,08	6,17	6,09
Průtok	l/s	-	-	-	-
Teplota	°C	9,5	8,0	10,0	8,5
Zákal	ZF _t	1,1	1,3	0,8	0,5
Barva	mg/l Pt	0,0	0,0	0,0	0,0
Pach	-	příjemný	příjemný	příjemný	příjemný
Chuť	-	příjemná	příjemná	příjemná	příjemná

Studánka 8:

Ukazatel	Jednotka	Výsledky odběrů			
		1.2.2015	6.4.2015	2.8.2015	14.2.2016
<i>E. coli</i>	KTJ/100 ml	0	7	0	0
Koliformní bakterie	KTJ/100 ml	0	9	0	0
Enterokoky	KTJ/100 ml	0	9	0	0
Kolonie při 22°C	KTJ/1 ml	92	16	30	14
Kolonie při 36°C	KTJ/1 ml	0	5	11	0
Amonné ionty	mg/l	0,01	0,01	0,01	0,02
Dusitany	mg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5	0,001
Dusičnany	mg/l	20,12	19,45	17,92	20,64
Hydrogenuhlíčitany	mg/l	0,22	0,22	0,23	0,25
TOC	mg/l	0,65	0,96	0,75	1,34
Železo	mg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5	0,017
Vápník	mg/l	73,24	79,29	72,28	73,60
Hořčík	mg/l	25,80	26,09	25,05	23,49
Sodík	mg/l	13,80	12,71	13,64	12,35
Draslík	mg/l	2,13	2,15	2,47	2,18
Chloridy	mg/l	37,27	37,14	36,70	36,07
Sírany	mg/l	51,72	51,44	52,03	50,84
Konduktivita	mS/m	61,9	61,8	61,6	60,7
pH	-	7,00	6,98	6,96	7,00
Průtok	l/s	0,19	0,21	0,18	0,20
Teplota	°C	10,5	10,5	10,0	10,0
Zákal	ZF _t	0,8	0,8	0,9	0,5
Barva	mg/l Pt	0,0	0,0	0,0	0,0
Pach	-	příjemný	příjemný	příjemný	příjemný
Chuť	-	příjemná	příjemná	příjemná	příjemná

Studánka 9:

Ukazatel	Jednotka	Výsledky odběrů			
		1.2.2015	6.4.2015	2.8.2015	14.2.2016
<i>E. coli</i>	KTJ/100 ml	0	0	1	0
Koliformní bakterie	KTJ/100 ml	0	0	1	0
Enterokoky	KTJ/100 ml	1	0	0	0
Kolonie při 22°C	KTJ/1 ml	0	22	26	44
Kolonie při 36°C	KTJ/1 ml	0	5	10	4
Amonné ionty	mg/l	0,01	0,00	0,01	0,01
Dusitany	mg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5	0,001
Dusičnany	mg/l	14,18	17,03	14,20	15,90
Hydrogenuhlíčitany	mg/l	0,04	0,04	0,03	0,04
TOC	mg/l	2,20	1,64	1,49	2,61
Železo	mg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5	0,021
Vápník	mg/l	23,01	23,62	24,00	23,50
Hořčík	mg/l	6,51	6,93	7,25	6,77
Sodík	mg/l	37,83	36,42	41,47	36,50
Draslík	mg/l	1,20	1,32	1,51	1,36
Chloridy	mg/l	57,83	60,95	73,74	64,14
Sírany	mg/l	31,40	33,47	41,49	32,43
Konduktivita	mS/m	36,8	38,6	42,4	38,8
pH	-	6,91	6,99	6,67	6,79
Průtok	l/s	0,08	0,08	0,03	0,12
Teplota	°C	7,5	6,5	10,0	7,0
Zákal	ZF _t	0,8	0,9	0,7	0,5
Barva	mg/l Pt	0,0	0,0	0,0	0,0
Pach	-	příjemný	příjemný	příjemný	příjemný
Chuť	-	příjemná	příjemná	příjemná	příjemná

Studánka 10:

Ukazatel	Jednotka	Výsledky odběrů			
		1.2.2015	6.4.2015	2.8.2015	14.2.2016
<i>E. coli</i>	KTJ/100 ml	0	0	-	0
Koliformní bakterie	KTJ/100 ml	0	0	-	0
Enterokoky	KTJ/100 ml	0	0	-	0
Kolonie při 22°C	KTJ/1 ml	0	4	-	88
Kolonie při 36°C	KTJ/1 ml	0	2	-	4
Amonné ionty	mg/l	0,01	0,01	-	0,01
Dusitany	mg/l	< 0,5	< 0,5	-	0,000
Dusičnany	mg/l	10,91	11,27	-	3,37
Hydrogenuhlíčitany	mg/l	0,01	0,01	-	0,01
TOC	mg/l	1,79	1,65	-	2,97
Železo	mg/l	< 0,5	< 0,5	-	0,064
Vápník	mg/l	11,87	11,76	-	10,00
Hořčík	mg/l	3,53	3,37	-	3,07
Sodík	mg/l	7,97	7,64	-	6,37
Draslík	mg/l	2,03	2,12	-	1,79
Chloridy	mg/l	3,98	4,03	-	1,99
Sířany	mg/l	43,17	42,12	-	40,60
Konduktivita	mS/m	15,9	16,0	-	13,1
pH	-	5,63	5,76	-	5,84
Průtok	l/s	0,00	0,00	-	0,00
Teplota	°C	6,0	4,5	-	4,0
Zákal	ZF _t	0,8	1,5	-	0,5
Barva	mg/l Pt	0,0	0,0	-	0,0
Pach	-	příjemný	příjemný	-	příjemný
Chuť	-	příjemná	příjemná	-	příjemná

Studánka 11:

Ukazatel	Jednotka	Výsledky odběrů			
		1.2.2015	6.4.2015	2.8.2015	14.2.2016
<i>E. coli</i>	KTJ/100 ml	0	0	0	0
Koliformní bakterie	KTJ/100 ml	0	0	0	0
Enterokoky	KTJ/100 ml	65	0	0	0
Kolonie při 22°C	KTJ/1 ml	42	446	176	22
Kolonie při 36°C	KTJ/1 ml	8	8	3	1
Amonné ionty	mg/l	0,02	0,02	0,01	0,01
Dusitany	mg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5	0,003
Dusičnany	mg/l	1,22	0,80	1,09	0,98
Hydrogenuhlíčitany	mg/l	0,00	0,00	0,00	0,00
TOC	mg/l	2,28	1,76	2,18	2,63
Železo	mg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5	0,040
Vápník	mg/l	0,95	1,21	0,20	1,48
Hořčík	mg/l	0,51	0,50	0,40	0,56
Sodík	mg/l	1,47	1,40	1,69	1,55
Draslík	mg/l	0,53	0,64	0,78	0,59
Chloridy	mg/l	2,36	2,27	2,35	2,33
Sírany	mg/l	3,15	3,00	2,97	3,33
Konduktivita	mS/m	2,8	2,8	2,7	2,9
pH	-	5,39	5,30	5,30	5,26
Průtok	l/s	0,21	0,22	0,09	0,12
Teplota	°C	8,2	7,1	11,0	8,0
Zákal	ZF _t	1,5	1,3	0,8	0,9
Barva	mg/l Pt	0,0	0,0	0,0	0,0
Pach	-	příjemný	příjemný	příjemný	příjemný
Chuť	-	příjemná	příjemná	příjemná	příjemná