

UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE, PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA

Ústav hydrogeologie, inženýrské geologie a užití geofyziky



**Bc. Miloš Klapka**

## **Zajištění kvality pitné vody malých vodárenských systémů**

Ensuring water quality in small water supply systems

Diplomová práce

Vedoucí práce: RNDr. Josef Datel, Ph.D.

Praha, 2018

## **Abstrakt**

Malé vodárenské systémy zásobují pitnou vodou podstatnou část venkovského obyvatelstva, jejich role je ve venkovských a odlehlých oblastech nezastupitelná. Představují tak významnou součást veřejné infrastruktury. Provozovatelé malých vodárenských systémů čelí celé řadě obtíží, které jim mnohdy nedovolují dosáhnout požadované a stálé kvality pitné vody, srovnatelné s kvalitou vody poskytované velkými dodavateli.

Práce řeší problematiku této oblasti vodního hospodářství z pohledu hydrogeologa. Její teoretická část charakterizuje malé vodárenské systémy, shrnuje právní úpravu týkající se těchto systémů, odhaluje hlavní příčiny neuspokojivé či nestálé kvality poskytované vody a zvažuje možné cesty nápravy. Výstupem praktické části je návrh jednotlivých kroků pro zajištění kvality pitné vody konkrétního malého vodního zdroje, který je vypracován na základě dostupných archivních dat, průzkumných vrtných prací a vyhodnocení polních hydrodynamických zkoušek. Hlavním přínosem diplomové práce je shrnutí dosavadních poznatků o problematice, výčet možností zlepšení současného nepříznivého stavu v malých vodárenských systémech a jejich praktická aplikace v konkrétní lokalitě.

## **Klíčová slova**

Malé vodárenské systémy, jakost pitné vody, vodní zdroje, podzemní voda

## **Abstract**

Providing drinking water to a large number of rural population, small water systems are the backbone of water supply in rural and remote areas. Therefore they constitute a significant part of public infrastructure. Facing various difficulties, small water systems operators often find it hard to reach and maintain high quality of drinking water comparable with quality achieved by large water suppliers.

This thesis focuses on ensuring water quality from a hydrogeological point of view. In its theoretical part the thesis defines small water systems, summarizes legislation concerning small water systems operation, identifies main causes of unsatisfactory or unstable quality of provided water and discusses possible improvements. The empiric part of the thesis suggests particular steps how to ensure sustainable drinking water quality in specific location. The suggestions are based on archive data research, results of exploratory works and evaluation of hydrodynamic pumping and infiltration tests. The main contribution of the diploma thesis is a summary of the existing knowledge and summary of the possibilities of improving the current adverse situation in small water systems and their practical application in a specific location.

## **Keywords**

Small water systems, drinking water quality, water supplies, groundwater

**Prohlášení:**

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze de 30. 4. 2018



Miloš Klapka

**Poděkování:**

Rád bych touto cestou poděkoval především vedoucímu mé diplomové práce panu RNDr. Josefu Datlovi, Ph.D. za trpělivé rady, cenné připomínky a drahocenný čas, který mi věnoval pokaždé, když jsem potřeboval. Dále děkuji svému zaměstnavateli, společnosti G-servis Praha spol. s r.o. za poskytnutá data pro pilotní lokalitu, panu RNDr. Zdeňkovi Zýmovi za odborné vedení při realizaci hydrogeologického průzkumu a panu RNDr. Františku Pastuszkovi za odbornou konzultaci a rady pro vyhodnocení pilotní čerpací zkoušky. V neposlední řadě patří poděkování mému nedávno narozenému synovi Arturovi za motivaci k psaní práce a nejbližší rodině za psychickou podporu a trpělivost.

## Obsah

1	Úvod a cíle práce .....	9
2	Analýza současného stavu malých vodních zdrojů .....	10
2.1	Rozsah problému .....	11
2.2	Vztah mezi velikostí vodárenského systému a kvalitou distribuované pitné vody .....	12
2.3	Podzemní zdroje vody .....	16
2.4	Antropogenní faktory a rizika znečištění .....	18
3	Charakteristika malých vodárenských systémů .....	21
3.1	Nižší úroveň ochrany malých vodních zdrojů .....	22
3.2	Technické provedení jímacích objektů malých vodních zdrojů .....	26
3.3	Úpravárenský systém malých vodárenských systémů .....	27
4	Legislativní požadavky na kontrolu kvality vody .....	28
4.1	Kritéria jakosti a úprava surové vody .....	29
4.2	Kritéria jakosti pitné vody .....	31
4.3	Kontrola jakosti při výrobě pitné vody .....	32
4.3.1	Druhy rozborů a jejich rozsah .....	33
4.3.2	Četnost vzorkování .....	33
4.4	Kontrola jakosti pitné vody u spotřebitele .....	35
4.5	Informace o jakosti surové vody .....	36
4.6	Shrnutí systému kontroly jakosti surové a pitné vody .....	37
5	Možnosti zlepšení současného stavu .....	39
5.1	Místní šetření a multibariérový přístup .....	39
6	Zajištění vodního zdroje na konkrétní lokalitě .....	42
6.1	Charakteristika zájmového území .....	43
6.2	Metodika průzkumných prací .....	48
6.3	Vyhodnocení realizovaných prací .....	54
6.4	Návrh ochranných pásem vodních zdrojů .....	73
6.4.1	Rizika ohrožení jakosti a vydatnosti vodního zdroje .....	73
6.4.2	Vedení hranic ochranných pásem vodního zdroje a opatření .....	75
6.4.3	Návrh kontroly účinnosti ochranného pásma .....	77
6.5	Závěry hydrogeologického průzkumu a doporučení .....	78
7	Diskuze .....	79
8	Závěr .....	83
9	Použitá literatura .....	85
10	Seznam příloh .....	90

## Tabulky

Tabulka 1. Typy úprav pro jednotlivé kategorie surové vody.....	30
Tabulka 2. Minimální četnost odběrů vzorků a analýz surové vody. ....	34
Tabulka 3. Minimální četnost odběrů vzorků a analýz vyrobené vody. ....	34
Tabulka 4. Minimální četnost odběrů vzorků a analýz vyrobené vody. ....	36
Tabulka 5. Sled realizovaných prací. ....	43
Tabulka 6. Detailní geomorfologická rajonizace zájmového území.....	44
Tabulka 7. Klimatické charakteristiky teplé oblasti MT10. ....	45
Tabulka 8. Parametry vsakovacích zkoušek na vrtech VS-1 a VS-2.....	53
Tabulka 9. Ruční záměry hladin v okolních studnách.....	55
Tabulka 10. Souřadnice doporučených pozic průzkumných vrtů. ....	56
Tabulka 11. Hodnoty hydraulických parametrů podle teorie neustáleného proudění.....	59
Tabulka 12. Hodnoty spočtených transmisivit v okolí pozorovaných objektů. ....	61
Tabulka 13. Předpokládaná vydatnost při jednotkových snížení ve vrtech KV-2 a KV-4. ....	65
Tabulka 14. Výpočet potřebné vydatnosti vrtů KV-2 a KV-4.....	67
Tabulka 15. Doporučené parametry studní a množství vody k povolení k nakládání s vodami. ....	68
Tabulka 16. Specifikace a výsledek vsakovací zkoušky na vrtu VS-1.....	69
Tabulka 17. Specifikace a výsledek vsakovací zkoušky na vrtu VS-2.....	69
Tabulka 18. Fyzikální, chemické, organoleptické, radiologické, biologické a mikrobiologické ukazatele a jejich hodnoty (vrt KV-2). ....	71

## Obrázky

Obrázek 1. Závislost jakosti pitné vody na velikosti zásobované oblasti vyjádřená jako procento překročení limitních hodnot .....	10
Obrázek 2. Četnost překročení limitní hodnoty u mikrobiologických a biologických ukazatelů jakosti pitné vody v malých a velkých vodovodech. ....	13
Obrázek 3. Četnost překročení mezních hodnot (MH) fyzikálních, chemických a organoleptických ukazatelů jakosti pitné vody v malých a velkých vodovodech. ....	14
Obrázek 4. Četnost překročení nejvyšších mezních hodnot (NMH) fyzikálních, chemických a organoleptických ukazatelů jakosti pitné vody v malých a velkých vodovodech. ....	15
Obrázek 5. Procentuální překročení limitní hodnoty v závislosti na velikosti vodárenských systémů v letech 2013-2016. ....	16
Obrázek 6. Jakost pitné vody v monitorovaných oblastech rozdělených podle počtu zásobovaných osob v letech 2003–2016.....	20
Obrázek 7. Topografická mapa zájmového území. ....	44
Obrázek 8. Klimatické oblasti České republiky. ....	45
Obrázek 9. Situační mapa se zakreslenou polohou průzk. vrtů a okolních jímacích objektů .....	54
Obrázek 10. Situace průzk. profilů, korelační schéma výsledků a mapa izolinií měrných odporů.....	55
Obrázek 11. Vývoj čerpací a stoupací zkoušky na vrtu KV-2. ....	57
Obrázek 12. Vývoj čerpací zkoušky na vrtu KV-4.....	58
Obrázek 13. Průběh snížení hladiny v pozorovaných objektech v čase.....	60
Obrázek 14. Snížení hladiny v pozorovaných objektech v závislosti na vzdál.od vrtu KV-2. ....	61
Obrázek 15. Křivka vydatnosti vrtu KV-2. ....	64
Obrázek 16. Křivka vydatnosti vrtu KV-4. ....	65
Obrázek 17. Schematický návrh rozsahu OP vodního zdroje I. stupně - vrt KV-2. ....	76
Obrázek 18. Schematický návrh rozsahu OP vodního zdroje I. stupně - vrt KV-4. ....	76

## Seznam použitých zkratk

ASLAB – Středisko pro posuzování způsobilosti laboratoří  
ČGS – Česká geologická služba  
ČIA – Český institut pro akreditaci  
ČR – Česká republika  
ČSN – Česká technická norma  
ČSÚ – Český statistický úřad  
ČZ – Čerpací zkouška  
DH – Doporučená hodnota  
EK – Evropská komise  
EU – Evropská unie  
HACCP – Hazard Analysis and Critical Control Points (analýza rizik a kritické kontrolní body)  
HDPE – High density polyethylene (polyethylen s vysokou hustotou)  
HG – Hydrogeologický  
CHOPAV – Chráněná oblast přirozené akumulace vod  
CHSK – Chemická spotřeba kyslíku  
IS PiVo – Informační systém Pitná Voda - registr kvality pitné a rekreační vody  
IWA – International Water Association (Mezinárodní asociace pro vodu)  
JZ – Jihozápad  
KNK – Kyselinová neutralizační kapacita  
KTJ – Kolonii tvořící jednotka  
m n. m. – metrů nad mořem  
MH – Mezní hodnota  
MŽP – Ministerstvo životního prostředí  
NMH – Nejvyšší mezní hodnota  
OCP – Organické chlorované pesticidy  
OP – Ochranné pásmo  
OPVZ – Ochranné pásmo vodního zdroje  
p. t. – pod terénem  
PAU – Polycyklické aromatické uhlovodíky  
PVC – Polyvinylchlorid  
RA/RM – Risk Assessment/Risk Management (analýza a řízení rizik)  
Sb. – Sbírka zákonů  
S-J – Sever-jih  
SSV – Severoseverovýchod  
SV – Severovýchod  
SZÚ – Státní zdravotní ústav  
TOL – Těkavé organické látky  
USA – United States of America (Spojené státy americké)  
VÚV TGM – Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka  
V-Z – Východ-západ  
WHO – World Health Organization (Světová zdravotnická organizace)  
WSP – Water Safety Plans (Plány pro zajištění bezpečného zásobování vodou)  
ZJZ-VJV – Západojihozápad-východojihovýchod  
ZNK – Zásadová neutralizační kapacita

# 1 Úvod a cíle práce

Malým vodárenským systémům a jejich problematice se v posledních několika letech dostává stále větší pozornosti. V oblasti veřejného zásobování pitnou vodou se jedná z pohledu hygieny o jedno z prioritních témat. Hlavním důvodem zvýšeného zájmu je fakt, že kvalita pitné vody distribuované malými vodními zdroji je dlouhodobě méně vyhovující, než je tomu ve velkých vodárenských systémech. Malé vodní zdroje představují důležitou složku veřejné infrastruktury nejen v ČR, ale v celé řadě zemí EU či v USA.

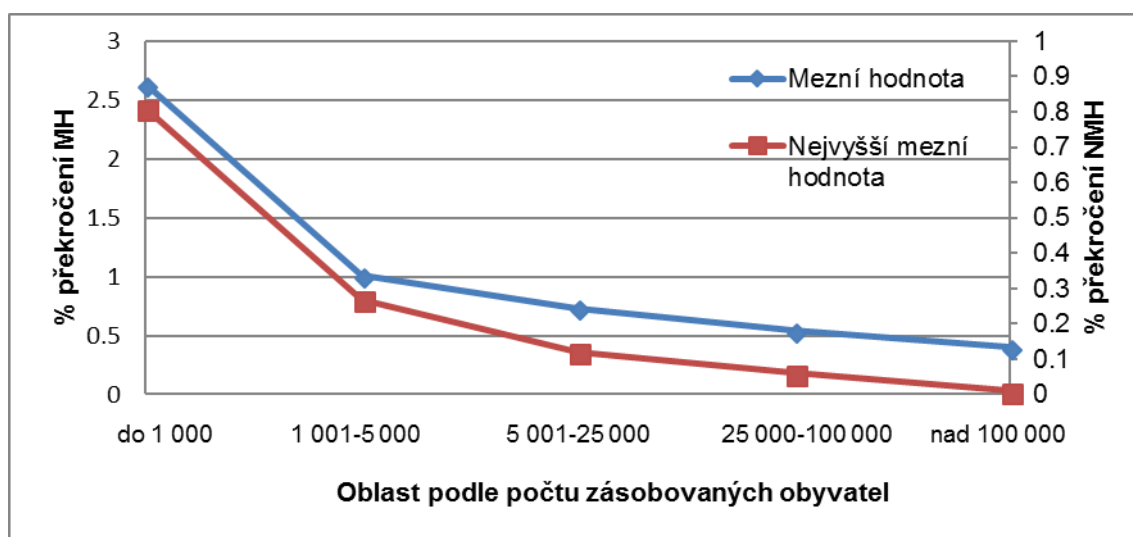
Problematika malých vodárenských systémů se dotýká poměrně širokého spektra odborných profesí nejen v oblasti vodního hospodářství. Pro trvalé zlepšení nepříznivé situace je zapotřebí úzké spolupráce odborníků z hygienické služby, vodárenských pracovníků, hydrogeologů, ekonomů apod.

Předkládaná diplomová práce si klade za cíl popsat situaci malých vodárenských systémů v obecné rovině s důrazem na hydrogeologické aspekty problematiky. Součástí rešeršní části diplomové práce je definice malých vodních zdrojů a analýza jejich současného stavu včetně vývoje za posledních několik let. Dále se zamýšlíme nad hlavními příčinami nižší kvality malých vodárenských systémů z pohledu hydrogeologa, následuje popis právního aparátu zabývajícího se veřejnou distribucí pitné vody a výčet možných legislativních nedostatků. První část diplomové práce je zakončena kapitolou pojednávající o možnostech zlepšení situace v oblasti malých vodních zdrojů. Praktická část diplomové práce je strukturována jako závěrečná zpráva hydrogeologického průzkumu a klade si za cíl zajištění vodního zdroje pro zásobování zástavby rodinných domů pitnou vodou v konkrétní lokalitě. Po charakteristice přírodních poměrů zájmového území následuje popis metodiky průzkumných prací, vyhodnocení a sumarizace výsledků hydrogeologického průzkumu. Praktická část je zakončena stanovením podmínek pro odběr podzemních vod a využívání nového vodního zdroje, analýzou rizik ohrožení vydatnosti i jakosti, návrhem vedení ochranných pásem vodního zdroje a doporučením dalších kroků, které by vedly k vybudování malého vodárenského systému distribuujícího kvalitní pitnou vodu.

## 2 Analýza současného stavu malých vodních zdrojů

Vodními zdroji rozumíme v kontextu této práce veškeré vodárenské systémy, respektive vodovody, jež jsou zodpovědné za poskytování pitné vody veřejnosti v určitém prostorově ohraničeném území za pomoci jedné rozvodné sítě. Provozovateli vodních zdrojů jsou nejčastěji obce či vodárenské společnosti. Hranici mezi malými a velkými vodními zdroji nelze jednoznačně stanovit, protože různé země i instituce používají k tomuto dělení různá kritéria. Pro účely této práce bylo zvoleno jednoduché dělení na základě počtu zásobovaných obyvatel, podle kterého se za malé vodárenské systémy považují vodovody zásobující nanejvýš 5 000 obyvatel.

Malým vodním zdrojům a jejich problematice se v posledních několika letech dostává stále větší pozornosti. V oblasti veřejného zásobování pitnou vodou se jedná z pohledu hygieny o jedno z prioritních témat. Hlavním důvodem zvýšeného zájmu je fakt, že kvalita pitné vody distribuované malými vodními zdroji je dlouhodobě méně vyhovující, než je tomu ve velkých vodárenských systémech. Dokládá to mimo jiné obrázek 1, který znázorňuje údaje o překračování hygienických limitů v závislosti na počtu zásobovaných obyvatel (jedná se o data Státního zdravotního ústavu shromážděná z naprosté většiny veřejných vodovodů celé České republiky). Dlouhodobý monitoring jednoznačně ukazuje, že čím je zásobovaná oblast menší, tím častěji dochází k překračování jakostních limitů pitné vody. Děje se tak navzdory současnému širokému spektru technických možností a vysoké úrovni vědeckých poznatků v současném vodárenství. Obecně lze tento jev odůvodnit tím, že nové poznatky jsou aplikovány spíše v prostředí velkých vodárenských systémů, zatímco péče o malé vodní zdroje je na daleko menší odborné úrovni.



Obrázek 1. Závislost jakosti pitné vody na velikosti zásobované oblasti vyjádřená jako procento překročení limitních hodnot (zdroj dat: IS PiVo, Gari et al. 2016).

## 2.1 Rozsah problému

Zvýšená pozornost je malým vodním zdrojům věnována zcela oprávněně pro jejich hojný počet a dopad na významnou část obyvatelstva. Podíl obyvatel ČR zásobených pitnou vodou z veřejných vodovodů roste již od počátku 90. let minulého století. Tehdy bylo k veřejnému vodovodu připojeno přibližně 84 % obyvatelstva (Pokorný et al. 2006). Do roku 2016 pak vzrostl podíl obyvatel ČR zásobených veřejným vodovodem až na 94,39 %. Veřejné vodovody můžeme bezpochyby řadit k nejdůležitějším oblastem veřejné infrastruktury ČR. Dle dat dostupných v informačním systému a databázi PiVo je v České republice pro rok 2016 monitorováno 4079 rozvodných sítí (resp. vodárenských systémů), které zásobují dohromady 9 872 827 obyvatel (Gari et al. 2016). Naprostá většina veřejných vodovodů spadá do zmíněné kategorie malých vodních zdrojů. Konkrétně jde o 3807 malých vodárenských systémů, tj. 93,3 % z celkového počtu veřejných vodovodů. Svým počtem sice malé vodní zdroje výrazně převyšují ty velké, nicméně co se týče množství produkované a distribuované pitné vody je situace opačná. Velké vodárenské systémy se starají o dodávku pitné vody pro přibližně 8 mil. obyvatel, zatímco na pitnou vodu distribuovanou malými vodními zdroji spoléhají bezmála 2 mil. obyvatel. Velké vodovody totiž distribuují pitnou vodu ve větších městech či konglomeracích, přičemž s malými vodárenskými systémy se setkáváme výhradně na venkově a v menších obcích.

V roce 2016 bylo v České republice 17,6 % obyvatel vystaveno konzumaci nevyhovující pitné vody, u které bylo během roku alespoň jednou zjištěno překročení limitu některého ze zdravotně závažných ukazatelů. Ve většině případů se přitom jednalo o pitnou vodu distribuovanou právě malými vodárenskými systémy. U mnoha z nich přitom problémy přetrvávají, k překračování limitů zdravotně závažných ukazatelů dochází opakovaně. Extrémní situace nastala u 26 z těchto vodovodů (zásobujících 5 724 obyvatel), ve kterých platil úplný zákaz distribuce pitné vody (Gari et al. 2016).

Obdobné poměry ve vodárenství panují i za hranicemi ČR. Ačkoliv většina malých vodních zdrojů zajišťuje vyhovující a bezpečnou pitnou vodu, mnoho z nich má s dodržováním požadavků na kvalitu pitné vody soustavné problémy (Brown 2004). Dle informací WHO (2011) je na dodávce pitné vody z malých vodních zdrojů závislých zhruba 65 milionů lidí (13 % populace EU). Malé vodárenské systémy v EU představují svým počtem 85 % všech vodovodů, přičemž potíže s dodržováním jakostních parametrů má zhruba 60 % z nich (Hulsmann et al. 2011).

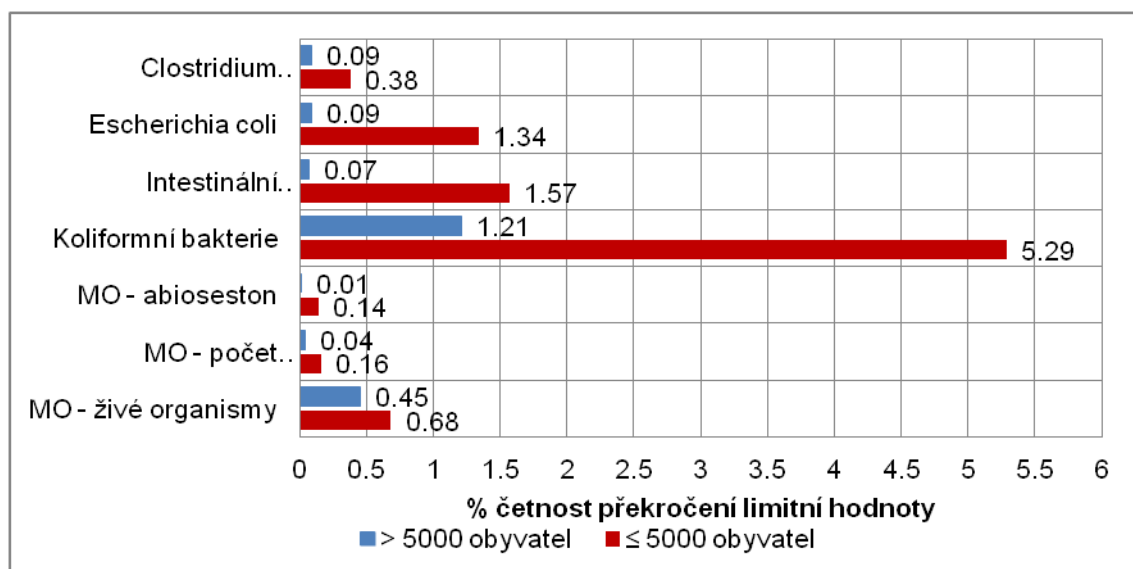
## **2.2 Vztah mezi velikostí vodárenského systému a kvalitou distribuované pitné vody**

Závěry o větší rizikovosti a zranitelnosti malých vodárenských systémů vycházejí z inspekčních prohlídek malých zdrojů, dále z počtu udělených výjimek z předepsané kvality vody, z počtu hlášených epidemií či onemocnění způsobených konzumací závadné pitné vody z veřejných vodovodů a v neposlední řadě z dat o kvalitě distribuované pitné vody (Kožíšek et al. 2013). Dle platné legislativy vzorky vyrobené pitné vody pravidelně odebírá provozovatel vodárenského systému a nechává je analyzovat v akreditovaných laboratořích. Výsledky těchto rozborů, resp. hodnoty ukazatelů, jsou po kontrole a verifikaci vkládány do databáze informačního systému IS PiVo spravovaného Ministerstvem zdravotnictví ČR. Data jsou veřejně přístupná ve formě závěrečných zpráv popisujících jakost pitné vody v celé České republice. Tyto zprávy každoročně zpracovává Státní zdravotní ústav (SZÚ).

Hodnotit a srovnávat kvalitu distribuované pitné vody v malých a velkých vodárenských systémech můžeme několika způsoby. Jednou z variant je vyjádření procenta překročení limitních hodnot jednotlivých ukazatelů. Tuto metodu lze brát jako dostatečně průkaznou za předpokladu, že máme k dispozici dostatečný počet stanovení (nízký počet hodnot výrazně zvyšuje a tím znehodnocuje procentní hodnotu). Z celkového počtu 4 079 monitorovaných veřejných vodovodů, které zásobují pitnou vodou bezmála 10 mil. obyvatel, bylo v roce 2016 odebráno 32 824 vzorků, jejichž rozbohem bylo získáno a do databáze IS PiVo vloženo 957 007 hodnot celkem 261 ukazatelů jakosti pitné vody (Gari et al. 2016).

O legislativním rámci kontroly jakosti distribuované pitné vody bude detailně pojednáno v kapitole 3, nicméně pro lepší orientaci v této kapitole si uveďme kategorie ukazatelů a druhy limitních hodnot. První skupinou limitních hodnot jsou tzv. nejvyšší mezní hodnoty (NMH). Ty jsou stanoveny pro všechny zdravotně významné ukazatele, přičemž jejich překročení znemožňuje použití vody jako pitné. Druhou skupinu představují tzv. mezní hodnoty (MH), jež jsou určeny pro skupinu ukazatelů charakterizujících především organoleptické (senzorické) vlastnosti pitné vody a její přírodní složení. Překročení MH nepředstavuje akutní zdravotní riziko. Soubor ukazatelů, jejichž prostřednictvím je kvalita vody určována, tvoří ukazatele mikrobiologické, biologické, fyzikální, chemické a organoleptické. Limitní hodnoty ukazatelů vymezené orgánem veřejného zdraví jsou uvedeny v příloze č. 1 vyhlášky č. 252/2004 Sb., která stanovuje hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody (dále jen vyhláška č. 252/2004 Sb.).

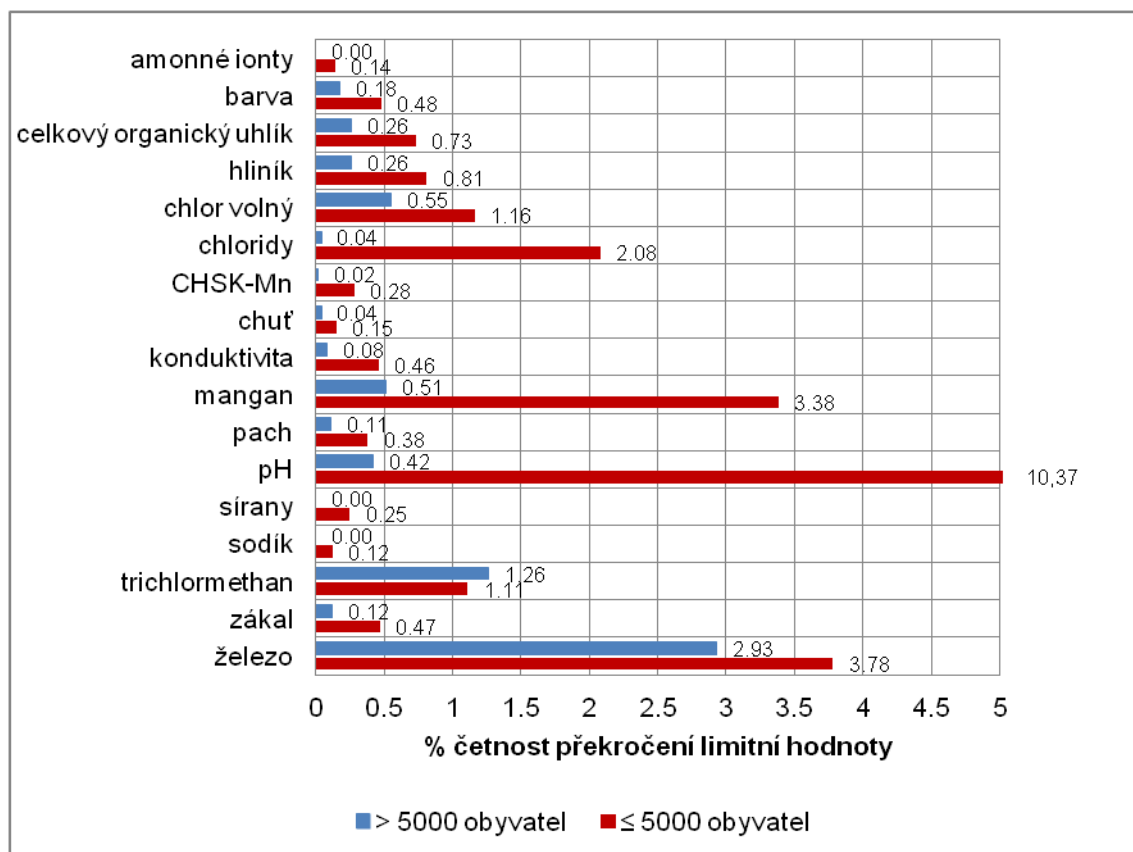
Nejprve se zaměříme na kategorii mikrobiologických a biologických ukazatelů jakosti pitné vody. Ne zcela příznivý stav v malých vodních zdrojích z hlediska zabezpečení těchto ukazatelů dokládá graf na obrázku 2.



Obrázek 2. Četnost překročení limitní hodnoty u mikrobiologických a biologických ukazatelů jakosti pitné vody v malých a velkých vodovodech (zdroj dat: IS PiVo, Gari et al. 2016).

Z obrázku 2 je zřejmé, že v malých vodárenských systémech (zásobujících méně než 5 000 spotřebitelů) dochází k několikanásobně častějšímu překračování limitních hodnot v porovnání s velkými vodárenskými systémy. Časté překročení MH bylo v malých systémech nalezeno u koliformních bakterií. Mezní hodnota pro koliformní bakterie uvedená ve vyhlášce č. 252/2004 Sb. je 0 KTJ/100 ml, přičemž v malých zdrojích nebylo vyhověno v 991 z celkového počtu 18 746 stanovení (5,29 %). NMH zdravotně významných ukazatelů nebylo vyhověno nejčastěji u výskytu intestinálních enterokoků a *Escherichia coli* (1,34 %). Nejvyšší mezní hodnota stanovená pro oba ukazatele je rovněž 0 KTJ/100 ml. Intestinální enterokoky byly detekovány v 90 z 6 591 stanovení (1,57 %), přítomnost bakterie *Escherichia coli* byla zaznamenána v 246 z 18 294 vzorků pitné vody (1,34 %).

Soubor tzv. fyzikálních, chemických a organoleptických ukazatelů jakosti pitné vody představuje celé spektrum látek s rozmanitými negativní účinky na lidské zdraví. Jak již bylo řečeno, zdravotně méně závažné ukazatele jakosti charakterizují především organoleptické vlastnosti pitné vody a jsou přirozenou součástí vody. Druhou skupinou jsou ukazatele výskytu cizorodých látek s prokazatelně negativními účinky na lidské zdraví. Porovnání dodržování limitních hodnot zdravotně méně závažných ukazatelů v menších a větších vodárenských systémech v roce 2016 je v grafické podobě uvedeno na obrázku 3.

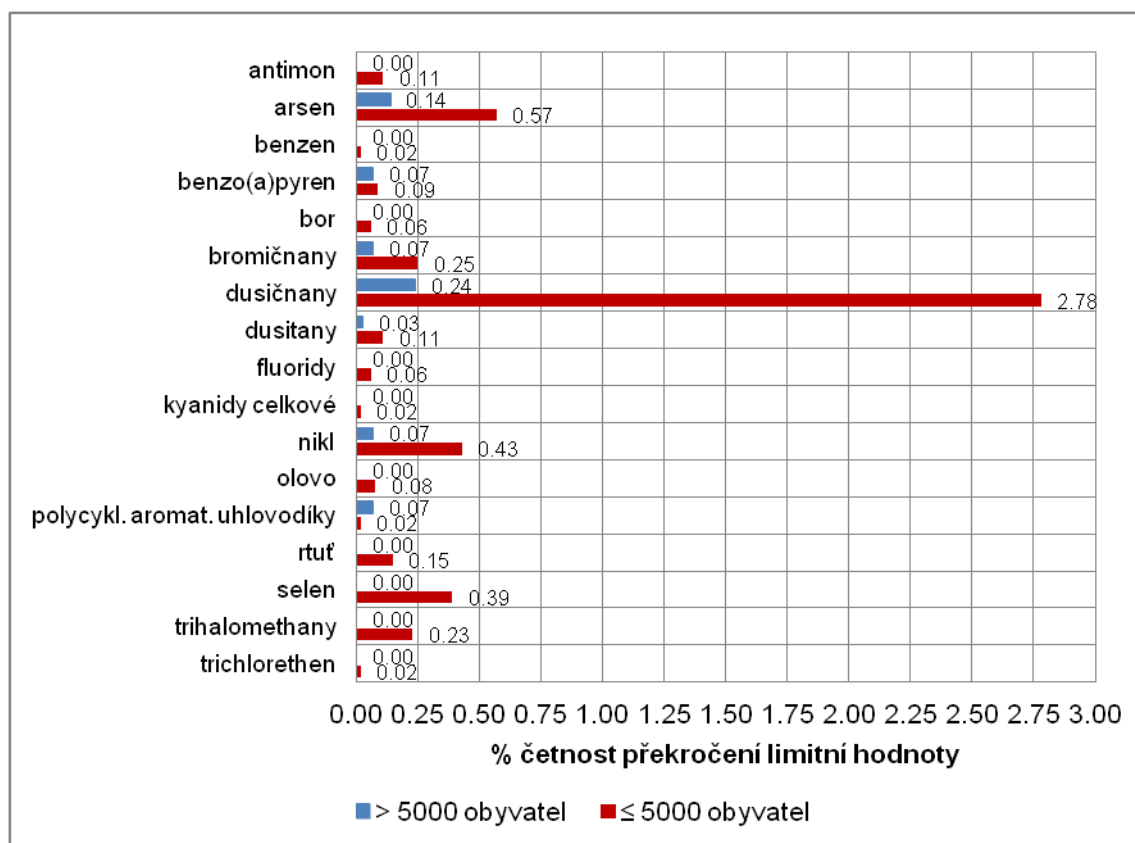


Obrázek 3. Četnost překročení mezních hodnot (MH) fyzikálních, chemických a organoleptických ukazatelů jakosti pitné vody v malých a velkých vodovodech (zdroj dat: IS PiVo, Gari et al. 2016).

Překročení limitních hodnot naprosté většiny ukazatelů jsou častější v menších vodovodech. Jedinou výjimkou je ukazatel trichlormethan (chloroform), který se v pitné vodě vyskytuje jako vedlejší produkt chlorace, resp. dezinfekce. Kromě nedodržení doporučeného rozmezí tvrdosti vody (koncentrace vápníku a hořčíku), které bylo zjištěno ve více než 74,94 % analýz, byla v malých vodovodech nejčastěji překračována MH u ukazatelů pH, železa, manganu, chloridů, volného chloru, hliníku a celkového organického uhlíku. Do stanoveného rozmezí pH 6,5 až 9,5 se nevešlo 1 892 z 17 772 analyzovaných vzorků pitné vody, tj. 10,37 %. Obsah železa v pitné vodě je vyhláškou omezen na 0,20 mg/l. Ovšem v případech, kdy jsou vyšší hodnoty železa ve zdroji surové hodnoty způsobeny geologickým prostředím, se považují koncentrace železa za vyhovující až do 0,50 mg/l (nesmí však docházet k nežádoucímu ovlivnění organoleptických vlastností vody a to ani formou občasného viditelného zákalu). Tato hodnota 0,50 mg/l byla překročena v 685 z 18 112 vzorků pitné vody (3,78 %). Mezní hodnota pro obsah manganu je stanovena na 0,05 mg/l. Pokud se mangan (podobně jako železo) vyskytuje přirozeně v surové vodě, je přípustná koncentrace dvojnásobně vyšší. Koncentrace manganu byly analyzovány v celkovém počtu 11 565 vzorků a k překročení došlo ve 391 případech (3,38 %). Mezní hodnoty pro chloridy (tj. 100

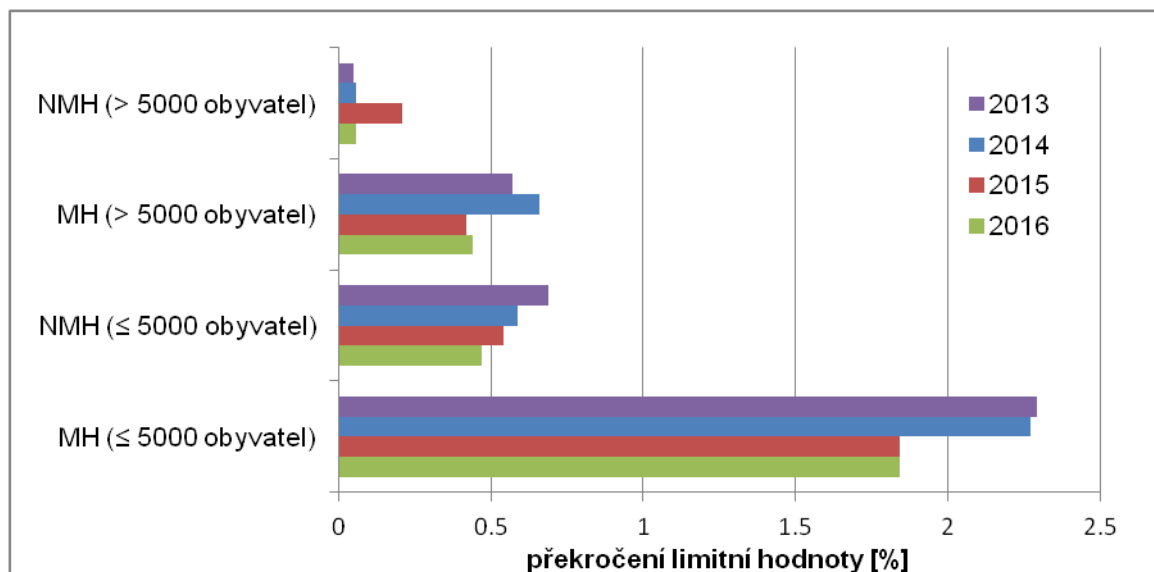
mg/l, resp. 250 mg/l, pokud jsou přirozeně přítomny v surové vodě z podzemních zdrojů) byly překročeny ve 141 z 6 768 stanovení (2,08 %). Přípustný obsah volného chloru (0,30 mg/l) nebyl dodržen v 209 z 17 943 analyzovaných vzorků pitné vody, tj. 1,16 %.

Odlišným způsobem nahlížíme na zdravotně závažné ukazatele, pro něž je definována nejvyšší mezní hodnota (NMH). Jejich výčet je spolu s procentuálním vyjádřením překročení limitní hodnoty uveden na obrázku 4. V malých vodovodech se jeví jako nejproblematictější, resp. jsou nejčastěji překračovány, zejména dusičnany, v menší míře též arsen (0,57 %), nikl (0,43 %) a selen (0,39 %). Dle vyhlášky č. 252/2004 Sb. nesmí koncentrace dusičnanů v pitné vodě přesáhnout hranici 50 mg/l. Z celkového počtu 18 037 analýz nevyhovělo 501 vzorků pitné vody (tj. 2,78 %), přičemž v některých vzorcích bylo zjištěno téměř trojnásobné množství nejvyšší mezní hodnoty.



Obrázek 4. Četnost překročení nejvyšších mezních hodnot (NMH) fyzikálních, chemických a organoleptických ukazatelů jakosti pitné vody v malých a velkých vodovodech (zdroj dat: IS PiVo, Gari et al. 2016).

Srovnání malých a velkých vodárenských systémů z hlediska procentuálního překročení limitních hodnot ukazatelů v období 2013–2016 nabízí obrázek 5. V uvedeném období se četnost překročení NMH zdravotně významných ukazatelů jakosti pitné vody ve větších distribučních sítích pohybuje v rozmezí 0,04 – 0,21 %, četnost nedodržení MH se mírně snížila z 0,66 % v roce 2014 na 0,44 % v roce 2016. V menších oblastech se četnosti nálezů překročení NMH snížily z 0,69 % v roce 2013 na 0,47 % v roce 2016, četnost nedodržení MH klesla z 2,29 % v roce 2014 na 1,84 % v roce 2016.



Obrázek 5. Procentuální překročení limitní hodnoty v závislosti na velikosti vodárenských systémů v letech 2013-2016 (zdroj dat: IS PiVo, Gari et al. 2016).

Z dostupných dat o kvalitě pitné vody ve veřejných vodovodech jasně vyplývá, že menší vodárenské systémy mají v porovnání s velkými a komplexními vodárenskými systémy větší problémy s překračováním limitních hodnot naprosté většiny ukazatelů jakosti.

### 2.3 Podzemní zdroje vody

Zdroj pro výrobu pitné vody (ať už se jedná o podzemní či povrchový) je jedním ze základních elementů vodárenského systému, na kterých závisí kvalita distribuované vody a mnohdy i samotný jeho chod. Využívání zdrojů pitné vody je v oblasti veřejného zásobování pitnou vodou přirozeně a rovnoměrně rozděleno mezi zdroje podzemní a povrchové, podle údajů Českého statistického úřadu se v roce 2016 na vyrobené vodě podílely podzemní zdroje celkově 50,52 % a povrchové zdroje 49,48 % (ČSÚ 2016). V České republice existuje 3 584 veřejných vodovodů, které distribují pitnou vodu pro

3 967 239 obyvatel vyrobenou výhradně z podzemních zdrojů, 302 vodovodů využívá surovou vodu z povrchových zdrojů a 193 využívá směs povrchové a podzemní vody.

Z celkového počtu 4 079 monitorovaných vodárenských systémů tedy využívá čistě podzemní zdroje celkem 87,86 % z nich (Gari et al. 2016). Z těchto údajů vyplývá, že naprostá většina malých vodárenských systémů využívá podzemní zdroje vody. Podzemní vody jsou přednostně určeny k zásobování obyvatelstva pitnou vodou, jelikož se svými přirozenými vlastnostmi a složením blíží požadavkům na vodu pitnou (Slavičková et al. 2006). Obecně lze tvrdit, že podzemní zdroje jsou vhodnější i z ekonomického hlediska díky nižším nákladům na úpravu surové vody. Podle Datla et al. (2000) je před uvedením do spotřebiště nezbytné technologicky upravit prakticky všechny odběry povrchové vody, zatímco většinu objemu podzemních vod není třeba upravovat vůbec. Dalo by se říci, že v mnoha malých vodárenských systémech představuje využívání podzemních zdrojů jediné ekonomicky schůdné řešení. I přes tyto skutečnosti však mohou mít podzemní zdroje jistý podíl na nepříznivé situaci, kterou ilustrují výše uvedené grafy.

Před zdůvodněním tohoto tvrzení si nejprve definujme podzemní zdroje pitné vody a stručně shrňme podmínky jejich vzniku a výskytu. Podzemními zdroji se rozumí přirozeně se vyskytující vody pod zemským povrchem, které vznikají a jsou doplňovány zejména přirozenou infiltrací srážkových vod do horninového prostředí. Vsáklá srážková voda nejprve prochází ve směru gravitace nesaturovanou zónou, která je tvořena svrchními vrstvami půdy a kvartérních sedimentů, případně zvětralým skalním podložím. Poté, co infiltrovaná voda pronikne k hladině podzemních vod do zóny saturace, kde jsou volné póry a dutiny vyplněny již převážně vodou, převažuje boční pohyb podzemní vody směrem do lokální drenážní báze.

Vlastnosti podzemní vody se utvářejí právě při kontaktu s horninovým prostředím. Přirozená kvalita podzemního vodního zdroje závisí na následujících faktorech:

- množství srážek a pH srážkových vod;
- doba zdržení podzemní vody v horninovém prostředí;
- mineralogické složení horninového prostředí a nezpevněných sedimentů;
- mocnost nadložních sedimentů a jejich zrnitostní složení;
- mikrobiální aktivita v saturované a nesaturované zóně (Isomäki et al. 2008).

Voda je v podstatě polární rozpouštědlo, které snadno rozpouští polární a iontové sloučeniny, přičemž dochází k jejich disociaci, ionizaci nebo štěpení. Hornina, ve které podzemní voda proudí, je převážně anorganické povahy, čili při styku horniny s proudící podzemní vodou dochází k rozpouštění horniny a uvolňování iontů do vody. Mezi

nejhojnější iontově rozpuštěné látky patří v našich podmínkách z kationtů zejména vápník, hořčík, sodík a draslík, z aniontů pak hydrogenuhličitan, sírany a chloridy (Pitter 2009). Všechny tyto látky patří do základního složení přírodních vod. V podzemních vodách můžeme velmi často zaznamenat rovněž vyšší obsah některých přirozených prvků. V našich geologických podmínkách se jedná nejčastěji o nevhodný poměr vápníku a hořčíku, dále o vysoké koncentrace železa, manganu, síranů a sodíku. Tyto složky mají vliv zejména na technologické a sensorické vlastnosti vody. Vzhledem k rozmanitosti geologického podloží v ČR se můžeme setkat rovněž s vyšším obsahem některých nežádoucích a zdraví škodlivých prvků a sloučenin, jako jsou například arzen, beryllium, nikl, selen, antimon či fluoridy. Výskyt těchto látek ve zvýšeném množství považuje Kožíšek et al. (2006) v mnoha případech za přirozený, neboť specifická lokální průmyslová znečištění jsou v ČR u podzemních zdrojů pitné vody poměrně vzácná. Duarte et al. (2009) např. arzen označil za celosvětově nejrozšířenější „geogenní“ kontaminaci vodních zdrojů.

## **2.4 Antropogenní faktory a rizika znečištění**

Z výše uvedeného vyplývá, že na kvalitu distribuované pitné vody mohou mít vliv přírodní vlastnosti vodního zdroje. Ovšem pouze do určité míry. Do hry často razantním způsobem vstupuje antropogenní faktor, který lze označit za rozhodující. Současná struktura vodního hospodářství v ČR totiž antropogenním rizikům přeje. Je to proto, že malé vodárenské systémy tvoří páteř veřejného zásobování pitnou vodou hlavně ve venkovských oblastech (WHO 2011), kde podle Dziegielewského (2004) hrozí vysoké riziko znečištění a kontaminace v důsledku neuvážené lidské činnosti.

Kontaminací podzemních či povrchových vod se rozumí zhoršení jakosti vody přímým nebo nepřímým působením člověka, a to i v případě, kdy nebyly překročeny limity stanovené pro jednotlivé složky, resp. ukazatele jakosti (Šráček et al. 2000). V podstatě jde o jakékoliv obohacení vody o látky nebezpečné zdraví člověka. Míru kontaminace je třeba posuzovat vždy vzhledem ke zvolenému nebo požadovanému kritériu. Pro naše účely byly vzaty limity ukazatelů jakosti pitné vody uvedené ve vyhlášce č. 252/2004 Sb. Jelikož nemáme k dispozici ucelený přehled o jakosti jímané surové vody (podobný, jaký každoročně zpracovává SZÚ formou závěrečných zpráv o jakosti pitné vody ve veřejných vodovodech), budu na nejčastější kontaminanty v malých zdrojích usuzovat na základě dat o jakosti pitné vody. Ačkoliv statisticky vyjádřená jakost pitné vody jistě nerespektuje každý konkrétní vodárenský systém a s ním související okolnosti, domnívám se, že lze považovat tato data k obecnému výčtu nejčastějších

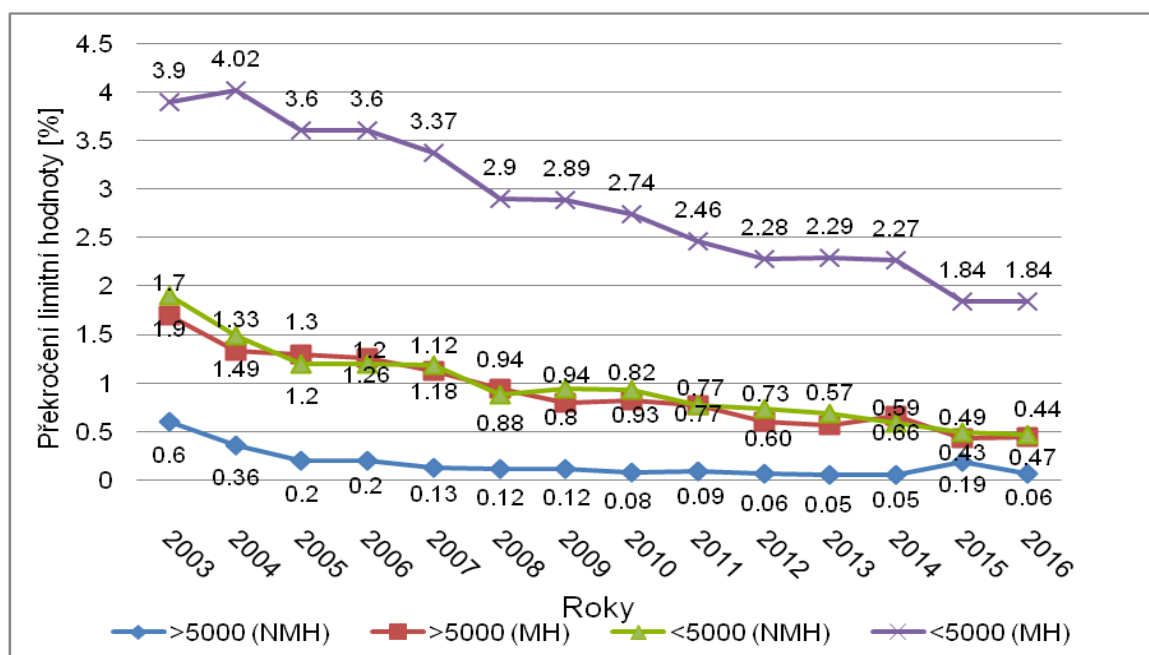
kontaminantů jako relevantní. Uvážil jsem i skutečnost, že ke znečištění pitné vody může dojít nejen znečištěním samotného zdroje, ale rovněž při úpravě a distribuci vody. Dle Hubíkové (2013) to mohou být jednak samostatné chemické látky používané k úpravě vody a dále především vedlejší produkty dezinfekce (např. bromičnany, bromoform, chloroform). Za znečištěním vody při distribuci stojí použití různých materiálů, které přicházejí s vodou do styku. Jedná se např. o vinylchlorid a olovo ze starších typů PVC fólií, hliník z nově vycementovaného potrubí, měď z měděného potrubí při kontaktu s korozivní vodou apod.

Pitná voda musí být zdravotně nezávadná, přičemž v § 3 vyhlášky č. 252/2004 Sb. je uvedeno: „pitná voda nesmí obsahovat mikroorganismy, parazity a látky jakéhokoliv druhu v počtu nebo koncentraci, které by mohly ohrozit veřejné zdraví“. Právě výskyt těchto nežádoucích látek a mikroorganismů je většinou příčinou akutní kontaminace pitné vody a vede k řadě zdravotních, technických a ekonomických problémů.

Biologické ukazatele uvedené na obrázku 2 (*Clostridium perfringens*, *Escherichia coli*, koliformní bakterie a intestinální enterokoky) slouží jako tzv. indikátory fekálního znečištění, jelikož jsou to bakterie žijící ve střevním traktu člověka a teplokrevných živočichů (Edberg 2000, Kožíšek 2006). Například koliformní bakterie jsou dle Atherholta et al. (2003) nejspolehlivějším indikátorem fekální kontaminace podzemních vod. Epidemie či onemocnění způsobené konzumací takto znečištěné vody zaznamenáváme téměř ve všech zemích bez ohledu na jejich ekonomický rozvoj. Kontrola mikrobiální kvality pitné vody by měla být dle WHO (2012) hlavní prioritou, a to vzhledem k okamžitým a potenciálně devastujícím následkům infekčních onemocnění způsobených konzumací mikrobiálně závadné pitné vody. Původci bakteriálního a organického znečištění pocházejí nejčastěji z nesprávně odváděných domovních odpadních vod a nevhodně uložených odpadů (například z chovu hospodářských zvířat).

Dle procentuálně vyjádřeného překračování limitních hodnot zdravotně závažných fyzikálně-chemických ukazatelů jakosti pitné vody (viz obrázek 4) činí provozovatelům malých vodních zdrojů největší potíže zvýšené koncentrace dusičnanů. Dusičnany jsou v řádu jednotek mg/l přirozenou součástí vody, nicméně jejich obsah bývá výrazně zvýšen vlivem nadměrného (nebo nesprávného) používání minerálních a statkových hnojiv a jejich následného vymývání ze zemědělské půdy. Vyšší obsah dusičnanů může být dále důsledkem úniku odpadních vod z netěsnících septiků, živočišných farem apod. (Šidlíková 2012). Zdrojem dusičnanů mohou být rovněž atmosférické srážky, nicméně v porovnání s nadměrným používáním dusíkatých hnojiv se jedná o zdroj podružný.

Specifickou skupinu látek, které jsou vzhledem ke svému charakteru a narůstajícímu množství hodnoceny mimo fyzikální, chemické a organoleptické ukazatele, představují pesticidy. Pesticidem se rozumí v podstatě jakákoliv látka nebo směs látek určených k prevenci, ničení, odpuzování nebo redukci všemožných škůdců či nežádoucích rostlin. Z jejich širokého způsobu využití vyplývá, že skupinu pesticidů nelze pojímat jako jedinou skupinu látek s obdobnými vlastnostmi. Z celkového počtu 291 070 stanovených hodnot ukazatelů limitovaných NMH bylo v malých vodárenských systémech evidováno překročení v 1 368 případech, přičemž v 368 z nich šlo právě o pesticidní látky. V komplexních vodárenských systémech zásobujících více než 5 000 obyvatel bylo evidováno překročení NMH v 65 případech, z toho byly ve 35 případech na vině pesticidní látky. Data získaná v rámci celostátního monitoringu jakosti vod v letech 2004–2016 naznačovala, že dochází k postupnému mírnému zlepšování jakosti pitné vody distribuované veřejnými vodovody (viz obrázek 6). Nicméně v roce 2015 se tento trend zastavil a bylo zaznamenáno četnější překračování NMH než v předchozích letech. Hlavní příčinou je dle Gariho et al. (2016) sledování stále většího spektra pesticidních látek a jejich metabolitů a rovněž častější zjištění vyšších koncentrací těchto látek. Předpokládá se, že stále častější nálezy pesticidních látek v podzemních zdrojích pitné vody jsou následkem jejich umístění v zemědělsky využívaných oblastech a aplikací pesticidů na zemědělskou půdu nebo v železniční dopravě (Michalová et al. 2012). Podle Loose et al. (2010) patří tyto pesticidy mezi nejčastěji detekované polární organické persistentní polutanty v podzemních vodách v celoevropském měřítku.



Obrázek 6. Jakost pitné vody v monitorovaných oblastech rozdělených podle počtu zásobovaných osob v letech 2003–2016 (zdroj dat: Gari et al. 2016).

Jak můžeme shrnout největší rizika pro malé vodní zdroje? Jedná se především o náchylnost ke znečištění odpadními vodami spolu s ohrožením zemědělskou či lesnickou činností provozovanou v okolí jímacích objektů. Existují ale i další rizika, kterými jsou např. silné deště a povodně, které mohou do nevhodně situovaných zdrojů vnést mikrobiální znečištění. Dalšími zdroji kontaminace mohou být komunikace ošetřované v zimních měsících, staré skládky apod. Situace v ČR je víceméně srovnatelná se stavem v ostatních zemích EU. Dokládá to například Hulsmann (2005), která ve své inventarizaci malých zdrojů v EU shrnuje problémy s kvalitou vody v malých vodovodech a rozděluje je do čtyř kategorií:

- nevyhovující organoleptické vlastnosti jako jsou barva, chuť, zápach a zákal;
- přirozeně se vyskytující složky geologického charakteru jako zvýšené koncentrace železa, manganu, arzenu aj.;
- mikrobiální kontaminace;
- znečištění dusičnany a pesticidy.

Náprava nepříznivého stavu podzemních zdrojů je výrazně obtížnější nežli u povrchových zdrojů surové vody. Nebezpečné a nežádoucí látky se mohou v přírodním podzemním rezervoáru hromadit v průběhu času zcela bez povšimnutí. Datel et al. (2014) uvádí, že pokud dojde ke kontaminaci jímané podzemní vody, řešení situace často překračuje technické, odborné i finanční možnosti dané obce nebo malého provozovatele. Pokud je to technicky proveditelné, pak řešení směřuje k napojení obce na regionální vodovodní soustavu a místní znehodnocené zdroje jsou opuštěny. Jsou zde ovšem i malé obce, které nejsou a do budoucna ani nebudou moci být napojeny na větší veřejné vodovody z důvodu odlehlosti či obtížného terénu.

### **3 Charakteristika malých vodárenských systémů**

Do malých vodárenských systémů lze řadit veřejné zásobování v menších obcích a rovněž individuální zásobování domácností, veřejných budov a komerčních objektů z přilehlých studní. Předmětem zájmu této práce jsou především malé veřejné obecní vodovody. Jakým způsobem lze odlišit malé vodárenské systémy od velkých distribučních sítí? Kritérií dělení vodárenských systémů je více. Může to být objem vyráběné a distribuované vody, počet přípojek či počet zásobovaných obyvatel (Corton et al. 2009). Stanovení hranice mezi malými a velkými vodovody ovšem není na mezinárodní úrovni jednotné. V zemích EU se často stanovuje na základě směrnice Rady 98/83/ES o jakosti vody určené pro lidskou spotřebu, dle které se za malé zdroje

(veřejného zásobování) považují vodovody zásobující oblast do 5 000 obyvatel, s maximálním denním objemem vyrobené vody 1000 m<sup>3</sup>.

Určitý počet zásobovaných obyvatel či množství vyrobené vody malé vodárenské systémy ovšem necharakterizuje dostatečně. Existuje několik „kvalitativních“ rysů, kterými se malé vodárenské systémy liší od velkých, z nichž jen některé přímo souvisí s velikostí systému a nemusí se týkat všech malých zdrojů (Haider et al. 2014). Setkáváme se totiž s rizikovými vodovody zásobujícími více než 5 000 obyvatel, ale i mnohem menšími vodovody, které žádné problémy nemají – například proto, že je provozuje velká a zkušená vodárenská společnost (Kožíšek et al. 2013). Mnohé problémy některých systémů malých vodovodů jsou přímo spjaty s jejich organizačními, ekonomickými a provozními charakteristikami (Dziegielewski 2004), ke kterým patří:

- nedostatek odborného zázemí;
- nedostatek kvalifikovaného personálu a s ním související nízké znalosti o správném provozu a údržbě systému;
- nedostatek finančních prostředků;
- vyšší náklady na jednotku vyrobené vody;
- nedostatečné povědomí o moderních technologiích a jejich dostupnost;
- nižší tendence modernizovat a renovovat systémové komponenty.

Problematická situace u malých zdrojů zásobování pitnou vodou je dle Kožíška et al. (2013) výsledkem kombinovaného působení řady příčin – jak historických, tak soudobých. Tyto příčiny mohou vyplývat z legislativních předpisů nebo z ekonomicko-provozních charakteristik typických pro malé vodárenské systémy. Při pátrání po příčinách nepříznivé situace v malých vodárenských systémech nejprve navážeme na antropogenní vlivy v souvislosti s režimem nastolené ochrany samotných přírodních zdrojů. Dále do našich úvah zahrneme technické provedení jímacích objektů a systém úpravy surové vody. Systém kontroly jakosti pitné vody a rozdílné přístupy pro malé a velké vodovody budou popsány v kapitole 4.

### **3.1 Nižší úroveň ochrany malých vodních zdrojů**

Jakost podzemních vod v porovnání s povrchovými vodami méně podléhá vlivům vnějšího prostředí. Nižší zranitelnost útvarů podzemních vod plyne z ochranné a samočisticí schopnosti horninového prostředí. Svrchní vrstvy nesaturované zóny si lze zjednodušeně představit jako přirozený filtr, ve kterém dochází k přečištění, resp. záchytu nežádoucích látek a patogenních organismů z povrchu (MacDonald et al. 2005).

Díky těmto ochranným vrstvám jsou podzemní vody obecně považovány za relativně bezpečný zdroj pitné vody. Mnohé malé vodárenské systémy jsou orientovány na zdroje mělké podzemní vody vázané na kolektor hydrogeologického masivu s hloubkovým dosahem maximálně několika prvních desítek metrů. Hydrogeologický masiv je podle Hrkala (2006) vyvinut na 84 % území České republiky a představuje pestrý soubor hornin (metamorfity, plutonity, vulkanity, magmatity, křemence, břidlice apod.). Tento kolektor je obvykle svrchu překryt přípovrchovou vrstvou kvartérních sedimentů. Pokud je tato svrchní nesaturovaná zóna v oblasti infiltrace srážkových vod málo mocná, ochranná a samočisticí schopnost horninového prostředí není natolik efektivní, aby se s antropogenními vlivy beze zbytku vypořádala. Takto dochází ke kontaminaci podzemní vody i přes zmíněné výhody podzemních zdrojů.

Ačkoliv jsou dle Havelaara (1994) podzemní zdroje surové vody v porovnání s povrchovými méně zranitelné, nelze na tuto přirozenou ochranu zcela spoléhat. Vyšší četnost překročení mezních hodnot ukazatelů pitné vody vyrobené z podzemních zdrojů a distribuované malými vodárenskými systémy je důkazem, že se podzemním zdrojům vody nedostává vždy dostatečné ochrany před vnějšími vlivy. Ochrana vodních zdrojů spočívající v ochraně jímacích území a regulaci lidských činností, které mohou vést ke zhoršení stavu vod či ohrožení jejich výskytu, je proto zcela zásadní (Damohorský et al. 2010).

V současné době se na problematiku provozování veřejných vodovodů vztahuje právní úprava na úrovni několika zákonů, prováděcích vyhlášek a směrnic, které mají za cíl zajistit komplexní ochranu využívaných a využitelných zdrojů vod a dále zabezpečit chod vodárenských systémů v těchto oblastech:

- ochrana vodních zdrojů a jímacích území;
- požadavky na jakost surových vod (podrobně viz kapitola 4);
- požadavky na pitnou vodu, rozsah a četnost kontroly (podrobně viz kap. 4).

Nástroje ochrany vodních zdrojů vycházejí ze zákona č. 254/2001 Sb., o vodách v platném znění. Jsou to chráněné oblasti přirozené akumulace vod (CHOPAV), ochranná pásma vodních zdrojů (OPVZ), zranitelné a citlivé oblasti. OPVZ jsou nástrojem zvláštní ochrany, která se týká na rozdíl od zbylých institucí pouze jímacího území. OPVZ mají za úkol chránit jak vlastní jímací objekty, pomocí kterých se voda jímá, tak i vodárensky využívaný útvar podzemní vody, aby nemohlo dojít k jeho ohrožení jak z hlediska vydatnosti, tak kvality. Ochranné pásmo musí reálně poskytovat dostačující ochranu zdroje v souvislosti s riziky, která by mohla vodní zdroj ohrozit nebo poškodit. V současné době jsou ochranná pásma primárně nastavena na ochranu

jakosti vod, ochrana množství vod je řešena často jen okrajově. Problematikou ochranných pásem vodních zdrojů se dále zabývá vyhláška č. 137/1999 Sb., která zahrnuje seznam vodárenských nádrží a zásady pro stanovení a změny ochranných pásem vodních zdrojů, vyhláška č. 432/2001 Sb., o dokladech žádosti o rozhodnutí nebo vyjádření a o náležitostech povolení, souhlasů a vyjádření vodoprávního úřadu.

Ochranná pásma stanovuje i ruší příslušný vodoprávní úřad na návrh odběratele, majitele vodního zdroje nebo z vlastního podnětu. V současné době se dělí na ochranná pásma I. a II. stupně.

- Ochranné pásmo I. stupně zajišťuje ochranu vodního zdroje v bezprostředním okolí jímacího či odběrného zařízení a je vždy vymezeno jako souvislé území. U zdrojů podzemní vody bývá vyčleněno souvislé území v minimální vzdálenosti 10 m od místa odběru (v odůvodněných případech může vodoprávní úřad tuto vzdálenost snížit). Útvar podzemních vod je zde prostřednictvím jímacích objektů otevřen a vystaven riziku přímého znečištění z povrchu terénu. Do ochranného pásma I. stupně je zakázán vstup a vjezd osobám, které nemají oprávnění vodu z vodního zdroje odebírat. Vodoprávní úřad může případně stanovit i výjimky ze zákazu vstupu a vjezdu. V terénu se na viditelných místech vyznačují hranice ochranného pásma tabulemi s nápisem „Ochranné pásmo I. stupně vodního zdroje“.
- Ochranné pásmo II. stupně zajišťuje ochranu vodního zdroje vždy vně ochranného pásma I. stupně a slouží k ochraně infiltračního a akumulčního území daného vodního zdroje. Vymezené území může být souvislé, nebo je mohou tvořit oddělené zóny v rámci hydrologického povodí nebo hydrogeologického rajónu. OP II. stupně nemusí být stanoveno tehdy, pokud OP I. stupně v daných místních podmínkách dostatečně zajišťuje ochranu vydatnosti, jakosti a zdravotní nezávadnosti vodního zdroje. Označení ochranného pásma tabulemi s nápisem „Ochranné pásmo II. stupně vodního zdroje“ se v terénu provádí obvykle jen v místech křížení hranice ochranného pásma s komunikacemi a v místech, kde hrozí zvýšené nebezpečí znečištění vodního zdroje.

Vodoprávní úřad vydává opatření stanovující činnosti, které nelze v tomto pásmu provádět, a dále technická opatření, která se realizovat naopak musí. Činnostmi, jež by mohly ohrozit kvalitu či vydatnost podzemního vodního zdroje, se rozumí např. používání a skladování závadných látek, aplikace chemických prostředků, stavební činnost, terénní úpravy, táboření apod. Aktuálně se jedná např. o omezování používání

dusíkatých hnojiv a vybraných pesticidů v ochranných pásmech vodních zdrojů a zákaz postřiků v bezprostřední blízkosti jímacího objektu. Jejich používání v ochranných pásmech je možné zcela zakázat, ostatní problematické účinné látky je možné omezit na základě odborných posudků. Za prokázané omezení užívání pozemků a staveb v OPVZ mají vlastníci těchto pozemků a staveb nárok na jednorázovou náhradu, kterou jsou jim povinni poskytnout vlastníci vodních děl. Pokud nedojde mezi oběma stranami k dohodě, rozhodne o jednorázové náhradě soud. V minulosti se žádné náhrady ze strany provozovatele vodního zdroje neposkytovaly, proto se mnohdy navrhovala ochranná pásma značně velkoryse, jak z hlediska rozsahu, tak z hlediska různých zákazů a omezení.

V problematice malých vodárenských systémů je klíčový fakt, že ochranná pásma se podle vodního zákona stanovují pouze pro zdroje produkující více než 10 000 m<sup>3</sup> za rok. Pro menší zdroje se stanovují ochranná pásma jen tehdy, vyžadují-li to závažné okolnosti. Navíc stávající ochranná pásma a v nich stanovená opatření se dle Datla et al. (2014) kontrolují u malých zdrojů jen sporadicky, nemluvě o sporné účinnosti stávajících ochranných pásem. V souvislosti s efektivitou stávajících ochranných pásem vodních zdrojů vyvstávají i jiné pochybnosti. Např. jsou-li k dispozici aktuální mapové podklady s vyznačenými hranicemi ochranného pásma (včetně seznamu konkrétních pozemků, které do ochranných pásem spadají), případně zdali je vedení hranic ochranných pásem vyznačeno v terénu. Majitelé i uživatelé pozemků a nemovitostí, které se nacházejí uvnitř OPVZ, by měli mít povědomí o platných omezeních a ochranných opatřeních uvnitř ochranných pásem. Situaci nepomáhá ani fakt, že v současné době není evidencí ochranných pásem vodních zdrojů pověřen žádný odborný subjekt. Pokud by situace v OPVZ vyžadovala změnu v podobě zvětšení, zmenšení, či změnu omezujících opatření, narazili bychom na potíž v podobě malé zpětné vazby o funkčnosti konkrétního ochranného pásma.

Základní povinností provozovatele vodárenského systému je zajistit nepřetržité zásobování pitnou vodou v požadovaném množství a odpovídající kvalitě. Pro naplnění tohoto požadavku je ochrana vodních zdrojů naprosto nezbytná. Už jen proto, že si provozovatelé a vlastníci malých vodárenských systémů nemohou v mnohdy nepříznivé ekonomické situaci dovolit rozsáhlé investice do moderního technologického vybavení úpraven. Zkušenosti z nedávné minulosti ukázaly, že náklady na sanaci znečištěných lokalit jsou obecně mnohem vyšší než opatření k zabránění vzniku znečištění (Helmer et al. 1997).

## 3.2 Technické provedení jímacích objektů malých vodních zdrojů

K odběru podzemní vody v místě svého oběhu či akumulace slouží technické zařízení – jímací objekt, který prochází zvodnělým horninovým prostředím a umožňuje odběr podzemní vody zpravidla pomocí čerpadel (Šeda 2011). Jímací objekty jsou nejčastěji budovány v podobě vrtaných či kopaných studen, pramenních jímek, jímacích zářezů aj. Jejich hlavním úkolem je zajistit pokud možno hygienicky nezávadný, technicky účelný, bezpečný a hospodárný odběr. K tomu je zapotřebí vhodná konstrukce reflektující hydrogeologické podmínky v daném místě. A mnohdy právě zde tkví problém malých vodárenských systémů. Navrhováním, výstavbou a provozem jímacích objektů prosté podzemní vody (nejen) pro veřejné vodovody se zabývá ČSN 75 5115 *Jímání podzemní vody*. Norma nařizuje, že se způsob jímání a konstrukce jímacího objektu volí na základě výsledků hydrogeologického průzkumu v souladu se zjištěnými hydrofyzikálními vlastnostmi horninového prostředí jako celku. V potaz by měla být brána jakost vody, režim tvorby i časově prostorové rozložení útvaru podzemní vody, který má být využíván (Čížek 2011).

Skutečnost, že malé zdroje podzemní vody mají často podstatně horší jakost vody než zdroje velké, přičítá Šeda (2011) mimo jiné nevhodné konstrukci jímacích objektů. Problém nastává v případech, kdy provedení jímacího objektu nerespektuje geologickou stavbu, potažmo hydrogeologický režim v dané lokalitě. Oč konkrétně jde? Hydrogeologické prostředí příslušné lokality je utvářeno geologickými a dalšími procesy působícími v průběhu celé geologické historie. Výsledkem tohoto vývoje je dle Krásného (2012) nehomogenní a neizotropní hydrogeologická struktura sestávající z hydrogeologických těles různé geometrie (tvar, rozsah, mocnost) a anatomie (typ horniny, pórovitost). Tato hydrogeologická tělesa se liší svými hydraulickými vlastnostmi. Lépe propustné horniny (polohy) tvoří hydrogeologické kolektory, které umožňují významnou spojitou akumulaci podzemní vody, její proudění či odběr. Méně propustné (výjimečně i nepropustné) horniny se nazývají hydrogeologické izolátory. Souvislá akumulace podzemní vody v kolektoru je v hydrogeologii označována jako zvodeň. V každém kolektoru podzemní voda proudí různou rychlostí, odlišná je tedy i délka kontaktu vody s horninovým prostředím, což se obvykle projevuje i na jakosti vody. Nestejnorodost geologického podloží dává vzniknout tzv. hydrogeologické stratifikaci, kdy se mohou s hloubkou vyskytovat víceméně oddělené útvary se specifickým prouděním podzemní vody.

Malé systémy veřejného zásobování pitnou vodou jsou zpravidla charakteristické tím, že využívají kolektor v hydrogeologickém masivu, ve kterém se mohou vyskytovat ve vertikálním směru až tři dílčí zóny s odlišným typem prostředí a proměnlivou jakostí vody. Ve svrchní zóně zvětralin bývá voda z povrchu postižena znečištěním různého druhu (zemědělská hnojiva, mikrobiologické znečištění, huminové látky apod.). V obdobích se zvýšenou intenzitou srážek jsou vodou výrazně nasyceny mělké zóny a aktuální jakost vody je odrazem tohoto stavu. V období sucha se naopak uplatňují především pomalé přítoky vody ze střední zóny přípovrchového rozpukání a spodní zóny masivní horniny, což se může projevit zvýšeným obsahem např. železa, manganu, těžkých kovů, radonu apod.

Při realizaci jímacích objektů v malých vodovodech mnohdy není dle Šedy (2011) respektována základní hydrogeologická zásada, dle které by měla být jedním jímacím objektem využíván pouze jedna zvodeň. U velkých zdrojů veřejného zásobování je jímání zpravidla zaměřeno na podchycení vody z nejvydatnějšího kolektoru a ostatní zvodnělé vrstvy jsou v jímacím objektu zaplášťově odizolovány, resp. odděleny pomocí plné zárubnice a těsnícího obsypu vrtu. Avšak v podmínkách malých vodárenských systémů bývá jímací objekt opatřen perforovanou zárubnicí v co nejdelším úseku, přičemž oddělení jednotlivých zón vezme za své. Děje se tak ve snaze získat co největší množství vody, kdy ekonomická situace malého vodárenského systému neumožňuje vybudování dalších jímacích objektů, případně kdy nelze vybudovat jímací objekt v příhodném místě kvůli majetkoprávním poměrům.

Jakost vody tak může v závislosti na srážkách v průběhu roku kolísat, což výrazně ztěžuje i případnou úpravu vody. Úpravárenský systém je v ideálním případě navržen podle typu zdroje vody a kvalitativních hledisek zahrnujících přirozenou jakost zdroje a případné znečištění. Jakékoliv větší výkyvy v jakosti jímané vody mohou narušit úpravu vody a minimalizovat její účinnost.

### **3.3 Úpravárenský systém malých vodárenských systémů**

Malé zdroje mají obvykle jen velmi jednoduchou technologii úpravy, která podle Kožíška et al. (2013) často nekoresponduje s kvalitou surové vody a v některých případech není ani správně obsluhována. Složitější způsoby úpravy jsou pro malé vodní zdroje finančně neúnosné, proto mnohé z nich disponují jen dezinfekcí vody, při které se „pouze“ zneškodňují choroboplodné zárodky bakterií, virů a prvoků. Nejsou ojedinělé ani případy, kdy jakákoliv úpravna chybí. Dezinfekce je poměrně účinným, dostupným a levným způsobem zabezpečení jímané vody s minimální tvorbou

nežádoucích vedlejších produktů. Ani zde se však obsluha úpravny neobejde bez základních odborných znalostí, neboť účinnost dezinfekce ovlivňuje několik faktorů: koncentrace a charakter organických a anorganických látek přítomných ve vodě, druh a počet organismů, bakterií a virů a důležitý je také druh a dávka desinfekčního či oxidačního činidla a také teplota vody (Kašný 2010).

Dle dostupných informací se odráží v kvalitě distribuované pitné vody v malých vodárenských systémech následující problémy:

- častá absence funkčních ochranných pásem, kdy se ochranná pásma se podle vodního zákona stanovují povinně jen pro zdroje s odběrem nad 10 000 m<sup>3</sup> za rok;
- nevhodná konstrukce jímacích objektů podzemní vody, které nerespektují přírodní hydrogeologickou stratifikaci a hydrochemickou zonálnost horninového prostředí;
- malé zdroje obvykle disponují jednoduchými technologiemi úpravy (někdy pouze dezinfekcí), které ne vždy korespondují s kvalitou jímané vody a někdy ani nejsou správně obsluhovány.

## **4 Legislativní požadavky na kontrolu kvality vody**

Tato kapitola se zabývá obecnými i konkrétními legislativními požadavky v oblasti kontroly jakosti vody ve veřejných vodovodech. Důraz je kladen zejména na nedostatky, které mohou mít potenciálně vliv na nepříznivou situaci v malých vodárenských systémech. V předchozí kapitole byla zmíněna nižší úroveň ochrany malých zdrojů, která vychází z „vodního“ zákona č. 254/2001 Sb., přičemž zákonem stanovené požadavky na kontrolu jakosti surové a pitné vody se nesou v podobném duchu.

Oblast výroby vody a zásobování pitnou vodou veřejným vodovodem je specifická v tom, že představuje poměrně široký soubor činností s přímým dopadem na zdraví většího počtu obyvatel. Základním předpokladem pro kontinuální a bezproblémové zásobování velkého počtu spotřebitelů nezávadnou pitnou vodou se zdá být komplexní právní úprava s relevantními předpisy, která by obsáhla problematiku v celém jejím spektru. Jde o ochranu, hospodárné a trvale udržitelné využívání vodních zdrojů, efektivní výrobu hygienicky nezávadné vody pitné vody a její plynulou distribuci ke spotřebiteli. Jedná se o široké spektrum činností, jež vyžadují poměrně komplikovaný právní aparát spadající pod správu Ministerstva zemědělství, Ministerstva zdravotnictví a Ministerstva životního prostředí.

Právní předpisy ČR, jakožto členského státu EU, jsou v oblasti jakosti a kontroly pitné vody harmonizovány s evropskou směrnicí Rady 98/83/ES, o jakosti vody určené pro lidskou spotřebu. Problematika veřejného zásobování pitnou vodou je zahrnuta v následujících právních předpisech:

- Zákon č. 274/2001 Sb. o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu a o změně některých zákonů (dále jen zákon č. 274/2001 Sb.) včetně jeho prováděcího předpisu vyhlášky č. 428/2001 Sb. v platném znění (dále jen vyhláška č. 428/2001 Sb.)
- Zákon č. 258/2000 Sb. o ochraně veřejného zdraví a o změně některých souvisejících zákonů (dále jen zákon č. 258/2001 Sb.) a jeho prováděcí vyhláška č. 252/2004 Sb., která stanovuje hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody (dále jen vyhláška č. 252/2004 Sb.)
- Zákon č. 254/2001 Sb. o vodách a změně některých zákonů (dále jen zákon č. 254/2001 Sb.)

V první části této kapitoly je popsáno, na základě jakých kritérií se obecně hodnotí jakost vody v průběhu výrobního procesu a v jakém režimu se kvalita vody sleduje. V druhé části kapitoly tato zjištění zasadíme do kontextu malých vodních zdrojů.

## 4.1 Kritéria jakosti a úprava surové vody

Surovou vodou se podle zákona č. 274/2001 Sb., označuje voda, která je určena k úpravě na vodu pitnou. Aby mohla být surová voda využívána jako zdroj pro výrobu vody pitné, musí již v přírodním stavu splňovat určitá kvalitativní i kvantitativní kritéria. Kritéria jakosti surové vody jsou stanovena ve vyhlášce č. 428/2001 Sb., která je prováděcím předpisem zákona č. 274/2001 Sb. Vyhláška nejprve definuje obecné požadavky na zdroj surové vody; v § 13 je uvedeno, že voda má být odebírána především z těch vodních zdrojů, které se v přirozeném stavu svým fyzikálním, chemickým, mikrobiologickým, popř. biologickým složením a vlastnostmi co nejvíce blíží požadavkům na vodu pitnou. Pokud se rozhoduje mezi několika potenciálními vodními zdroji, vybere se ten, který poskytne menší investiční a provozní náklady co se týče složitosti technologie úpravy a náročnosti na dopravu vody. Využíváním kvalitní surové vody se snižuje nutný rozsah úpravy a množství potřebných chemikálií. Tím je možné snížit množství vedlejších produktů úpravy a minimalizovat provozní náklady (Davison et al. 2005). V neposlední řadě hraje roli využitelná vydatnost vodního zdroje, možnost

ochrany jakosti vody ve vodním zdroji, potenciální kontaminace vody a další místní podmínky. Musil (2008) však zmiňuje, že tato instituce neslouží k ochraně vody, nýbrž především ke stanovení dostačující metody úpravy vody, která zajistí splnění veškerých hygienických požadavků.

Za účelem zavedení vhodné metody úpravy surové vody vyhláška č 428/2001 Sb. vymezuje konkrétní ukazatele jakosti a stanovuje jejich mezní hodnoty (v příloze č. 13 v tabulkách 1a a 1b zmiňované vyhlášky). Vyhláška rovněž specifikuje, v jakých případech se daný ukazatel stanoví. Na základě vyhodnocení ukazatelů jakosti, které se provádí dle části 3 přílohy č. 13, provozovatel vodovodu zařadí surovou vodu do jedné ze tří kategorií jakosti (A1, A2, A3), pro které jsou uvedeny standardní a dostačující metody a typy úpravy (viz tabulka 1).

Tabulka 1. Typy úprav pro jednotlivé kategorie surové vody (převzato z vyhl. č. 428/2001 Sb.).

pro kategorii	typy úpravy
A1	Kategorie surové vody vyžadující pouze desinfekci, popřípadě prostou pískovou filtraci nebo mechanické odkyselení či odstranění plynných složek provzdušňováním.
A2	Kategorie surové vody vyžadující jednoduchou úpravu, například koagulační filtraci jednostupňovým odželezováním či odmanganováním nebo umělou infiltraci a desinfekci.
A3	Kategorie surové vody vyžadující dvou či víceúrovňovou úpravu čiřením, sorpcí, oxidací, odželezováním, odmanganováním s dekarbonizací, popř. kombinací fyzikálně chemických, mikrobiologických a biologických procesů úpravy vody.
Vyšší koncentrace než jsou uvedeny pro kategorii A3	Pro úpravu na vodu pitnou se musí použít technologicky náročné postupy spočívající v kombinaci typů úprav uvedených pro kategorii A3, přičemž je nutné zajistit stabilní kvalitu vyráběné pitné vody podle vyhlášky č. 252/2004 Sb. Přednostním řešením v těchto případech je však eliminace příčin znečištění anebo vyhledání nového zdroje vody.

Kategorie jakosti je určena pro každý ukazatel, přičemž kategorie surové vody jako celku je stanovena podle kategorie nejhoršího ukazatele. Pokud některý z ukazatelů nevyhovuje předepsaným kategoriím svojí vyšší koncentrací, je surová voda označena jako nevhodná pro úpravu na vodu pitnou. Použití takto nevyhovující surové vody coby suroviny k výrobě vody pitné je možné v případě schválení hygienikem, a to pouze tehdy, kdy není k dispozici surová voda lepších jakostních parametrů. Pokud jakost surové vody požadavkům nevyhovuje, může krajský úřad povolit výjimku ve využití této surové vody za předpokladu, že provozovatel vodovodu zajistí zdravotní nezávadnost upravené vody. Přednostním řešením v těchto případech je podle vyhlášky eliminace příčin znečištění anebo vyhledání nového zdroje vody. Za vyhovující lze označit tu surovou vodu, jejíž ukazatelé v dané kategorii vyhovují limitním hodnotám,

a to u 95 % vzorků odebíraných v pravidelných intervalech a v tomtéž místě. Stanovená kategorie úpravy surové vody není neměnná; v průběhu sledování jakosti vody má být kategorie aktualizována podle výsledků pravidelných rozborů. Kvalita surové vody z konkrétního vodního zdroje často během roku kolísá, a tudíž lze surovou vodu jen výjimečně jednoznačně zařadit do jedné kategorie z hlediska hodnocených parametrů pro potřeby technologického zařízení úpraven vod. V případě kolísání jakosti surové vody je využíván velmi užitečný parametr průměrný index upravitelnosti  $I_u$ . Tento parametr se stanovuje pro potřebu technologického zařízení úpraven. Je to relativní číslo v rozmezí od 1 až 3 odpovídající kategorii A1 až A3, přičemž rostoucí hodnota indexu upravitelnosti je úměrná zhoršující se kvalitě zdroje surové vody, která tedy vyžaduje náročnější úpravu (Lángová 2006).

Pokud srovnáme ukazatele jakosti, na základě kterých je surová voda zařazena do kategorie úpravy, jsou pro vodu z podzemních zdrojů stanoveny stejné podmínky jako pro vodu ze zdrojů povrchových s výjimkou ukazatelů železa a manganu, kde je u podzemních vod povolena vyšší koncentrace obou prvků. U surové vody z podzemních zdrojů je navíc zaveden ukazatel sulfan, jehož výskyt lze však předpokládat pouze u podzemních vod hlubokého oběhu (Pitter 2009).

V souvislosti s kategorizací surové vody se nabízí otázka, zda panuje v malých vodohospodářských systémech skutečný soulad mezi typem technologie úpravy a kategorií jakosti surové vody, tedy zda je technologie úpravy vody vzhledem ke kvalitě surové vody dostatečná. V těchto případech je kvalita pitné vody přímo závislá na kvalitě vody surové.

## 4.2 Kritéria jakosti pitné vody

Tato podkapitola se věnuje problematice hygienických požadavků na vodu pitnou, která je ke spotřebiteli dopravována po úpravě a hygienickém zabezpečení distribuční sítě až do vodovodního kohoutku. Problematika jakosti pitné vody se řídí směrnici Rady 98/83/ES a v českém právním řádu je zaimplementována do zákona č. 258/2000 Sb. a jeho prováděcí vyhlášky č. 252/2004 Sb. Vyhláška definuje pitnou vodu jako zdravotně nezávadnou vodu, která při trvalém požívání nevyvolává žádná onemocnění. Nesmí obsahovat mikroorganismy, parazity a jiné látky, které by mohly ohrožení veřejného zdraví vyvolat. Dále musí pitná voda splňovat směrné hodnoty obsahu přírodních radionuklidů (stanovené vyhláškou č. 422/2016 Sb., o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje, příloha č. 27). Hygienické požadavky na zdravotní nezávadnost a čistotu pitné vody, označované legislativní zkratkou *jakost pitné vody*, jsou vymezeny

hygienickými limity daných ukazatelů. Soubor ukazatelů, jejichž prostřednictvím je kvalita vody určována, tvoří ukazatele: mikrobiologické, biologické, fyzikální, chemické a organoleptické. Konkrétně se jedná o 7 mikrobiologických, 3 biologické (mikroskopické) a 52 fyzikálněchemických, resp. organoleptických. Limitní hodnoty ukazatelů stanovené orgánem veřejného zdraví jsou uvedeny spolu s vysvětlivkami a důležitými upřesněními v příloze č. 1 vyhlášky č. 252/2004 Sb. Pokud se ve vodě vyskytnou další látky, které nejsou ošetřeny právním předpisem, informuje provozovatel vodovodu o těchto látkách orgán ochrany veřejného zdraví, který hygienický limit pro výskyt dané látky určí. Může se jednat o látky, jejichž výskyt lze předpokládat z důvodů geologického složení, havárie nebo jiných mimořádných událostí. Jakékoliv změny kvality dodávané pitné vody mohou signalizovat změnu v kvalitě zdroje vody surové, nebo nedostatky v procesu úpravy vody (WHO 2011).

Podle možného vlivu na zdraví člověka mají jednotlivé ukazatele limitní hodnoty různého typu: doporučené (DH), mezní (MH) a nejvyšší mezní (NMH). Doporučené hodnoty jsou nezávazné hodnoty ukazatelů jakosti pitné vody, které stanoví minimální žádoucí nebo přijatelnou koncentraci dané látky, nebo optimální rozmezí koncentrace dané látky. Tyto jsou stanovené např. pro ukazatele hořčiku, vápníku a teploty vody. Mezní hodnoty jsou hodnoty ukazatele jakosti pitné vody, jejichž překročení obvykle nepředstavuje akutní zdravotní riziko. Mají význam především sensorický nebo provozně-technický. Stanovené jsou pro organoleptické ukazatele, přirozené složky vody nebo různé provozní ukazatele. Není-li u konkrétního ukazatele uvedeno jinak, jedná se o horní hranici rozmezí přípustných hodnot. Nejvyšší mezní hodnotou je hodnota zdravotně závažného ukazatele jakosti pitné vody, v důsledku jejíhož překročení je vyloučeno použití vody jako pitné, neurčí-li orgán ochrany veřejného zdraví na základě zákona jinak.

### **4.3 Kontrola jakosti při výrobě pitné vody**

Následující text se věnuje právnímu rámci pro oblast kontroly jakosti vody v celém procesu výroby a distribuce pitné vody, tzn. od zdroje surové vody až po kohoutek spotřebitele. Jedná se o poměrně širokou paletu požadavků rozdělenou do několika právních předpisů zmíněných v úvodu této kapitoly. Pozornost bude zaměřena nejprve na požadavky týkající se míst odběrů vzorků, určení rozsahu rozborů a četnosti jejich provádění. Legislativa pamatuje i na způsob zpracování a hodnocení výsledků, metody stanovení hodnot ukazatelů včetně požadavků na laboratoře apod.

Oblast kontroly v procesu výroby pitné vody je zakotvena v zákoně č. 274/2001 Sb. a jeho prováděcí vyhlášce č. 428/2001 Sb. Provozovateli vodovodu je na základě těchto předpisů uložena povinnost kontrolovat jakost surové i vyrobené pitné vody prostřednictvím pravidelných odběrů vzorků a jejich rozborů. Při kontrole se postupuje dle tzv. plánu kontrol jakosti vod v průběhu výroby pitné vody (dle § 8 a přílohy č. 9 vyhlášky č. 428/2001 Sb.), který stanovuje druhy rozborů, jejich minimální rozsahy a místa odběrů vzorků.

#### **4.3.1 Druhy rozborů a jejich rozsah**

Vyhláška rozlišuje tři typy rozborů: úplný, monitorovací a provozní, přičemž pro každý určuje jeho rozsah (v příloze č. 9 zmiňované vyhlášky). Monitorovací a úplný rozbor se provádí za účelem sledování kvality surové a pitné vody z hlediska dlouhodobého vývoje (v případě surové vody i z důvodu zatřídění do kategorií upravitelnosti). Monitorovací a úplný rozbor musí provozovatel vodního zdroje provádět v minimálním rozsahu definovaném v příloze č. 9. Rozsah provozního rozboru je doporučený; rozšíření o další ukazatele určuje provozovatel v závislosti na způsobu a složitosti technologie úpravy vody. Rozsahy rozborů mohou být rozšířeny o další ukazatele, jejichž výskyt lze předpokládat z důvodů geologického složení, havárie nebo jiných mimořádných událostí. Dále musí být monitorovací a provozní rozbor surové vody rozšířen o ty ukazatele vyrobené vody, které mají hodnotou vyšší než 75 % limitní hodnoty pro vodu pitnou dodávanou spotřebiteli. Provozovatel vodovodu tedy rozšiřuje rozsah rozborů vody o ty ukazatele látek, které nejsou v právních předpisech uloženy, ale mohou být svým výskytem a účinky podstatné. Detekce těchto látek na technologické úrovni malých vodárenských systémů může být ovšem obtížná.

Minimální rozsah úplného rozboru surové vody ze začátku výrobního procesu a rozboru pitné vody na konci technologické linky úpravy se liší zejména v absenci biologických a mikrobiologických ukazatelů v rozboru surové vody. Pro rozbor vyrobené pitné vody rovněž přibylo ukazatelů pro ty látky, jejichž vznik může nastat během chemických procesů v rámci úpravy či dezinfekce vody.

#### **4.3.2 Četnost vzorkování**

Povinná četnost odběrů vzorků a analýz surové i vyrobené pitné vody je stanovena pro jednotlivé případy podle počtu obyvatel zásobovaných z daného zdroje a podle objemu vyrobené vody. Současná právní úprava je nastavena tak, že minimální četnost odběrů je přímo úměrná velikosti vodárenského systému. Minimální množství odběrů a rozborů vzorků surové a vyrobené vody uvádějí tabulky 2 a 3.

Tabulka 2. Minimální četnost odběrů vzorků a analýz surové vody (vyhláška č. 428/2001 Sb.).

objem vody vyrobené (m <sup>3</sup> /den)	počet zásobovaných obyvatel (při denní spotřebě 200 l/osobu)	četnost /rok		
		provozní rozbor	monitorovací rozbor	úplný rozbor
do 100	do 500	x	1	X
101 - 1000	501 - 5000	6	2	1
1001 - 4000	5001 - 20000	26	4	1
4001 - 10000	20001 - 50000	26	8	2
10001 - 20000	50001 - 100000	104	12	2
20001 - 30000	100001 -150000	365	12	4
nad 30000	nad 150000	x	24	4

x Četnost určí provozovatel individuálně podle druhu zdroje vody. Četnost nesmí být nižší než údaj určený pro nižší počet obyvatel.

Tabulka 3. Minimální četnost odběrů vzorků a analýz vyrobené vody (vyhláška č. 428/2001 Sb.).

objem vody vyrobené (m <sup>3</sup> /den)	počet zásobovaných obyvatel (při denní spotřebě 200 l/osobu)	četnost /rok		
		provozní rozbor	monitorovací rozbor	úplný rozbor
do 100	do 500	x	2	1 za 2 roky
101 - 1000	501 - 5000	12	4	1
1001 - 4000	5001- 20000	52	8	1
4001 - 10000	20001 - 50000	52	16	2
10001 - 20000	50001 - 100000	104	52	2
20001 - 30000	100001 - 150000	365	52	4
nad 30000	nad 150000	x	x	X

x Četnost určí provozovatel individuálně podle druhu zdroje vody. Četnost nesmí být nižší než údaj určený pro nižší počet obyvatel.

Z uvedených tabulek je patrné, že pro vodní zdroje zásobující do 5 000 zásobovaných obyvatel se jedná pouze o 1 až 2 monitorovací rozborů surové vody a 2 až 4 monitorovací rozborů vyrobené vody ročně, pro malé vodohospodářské systémy zásobující 500 až 5 000 obyvatel jsou povinné 2 monitorovací rozborů surové vody a 4 rozborů vyrobené vody za rok. Nelze jinak než souhlasit s Datlem et al. (2014), že pravděpodobnost detekce občasných problematických stavů (není-li kvalita vody trvale nevyhovující) je poměrně nízká.

## 4.4 Kontrola jakosti pitné vody u spotřebitele

Kontrola kvality vody za branami úpravny nebo ve vodojemu nekončí. Sledování jakosti vyrobené vody v průběhu její dopravy ke spotřebiteli zajišťuje provozovatel vodovodu podle potřeby, tentokrát ve smyslu vyhlášky č. 252/2004 Sb., která stanoví rozsah rozborů vyrobené pitné vody, četnosti sledování, místa odběrů vzorku a další náležitosti a podrobnosti. Kontrola vody v distribuční síti má své opodstatnění, a to zvláště s ohledem na korozivní účinky vody a změny biologického oživení. Opakovanými biologickými audity vodárenských soustav bylo zjištěno, že zdržení vody v potrubí negativně ovlivňuje mikrobiální kvalitu vody a projevuje se korozivně na plášť potrubí. V pitné vodě zdržující se ve vodovodní síti se mohou dle Ambrožové (2009) nacházet částice a mikroorganismy, které se do pitné vody dostaly zřejmě sekundárně. Místa odběrů v rámci distribuční sítě nejsou trvalá, každoročně se určité procento míst odběru náhodně mění. Odběr vzorků pitné vody se dle vyhlášky 252/2004 Sb. provádí uvnitř budovy nebo na pozemku, kde pitná voda vytéká z kohoutků.

Vyhláška rozlišuje rozbor vody krácený a úplný a definuje jejich význam. Účelem krácených rozborů je získávat pravidelné informace o stabilitě vodního zdroje a účinnosti úpravy vody. Důraz je kladen na účinnost dezinfekce, mikrobiální oživení a organoleptické vlastnosti vody. Úplné rozborů se provádějí za účelem kontroly dodržování stanovených limitních hodnot všech ukazatelů. Vyhláška ve své příloze č. 5 určuje minimální rozsahy obou typů rozborů, přičemž orgán ochrany veřejného zdraví může jejich rozsah měnit.

Minimální četnost odběrů vzorků a analýz vyrobené pitné vody u spotřebitele je stejně jako u surové vody stanovena podle objemu dodávané vody a u vodovodů zároveň i podle počtu obyvatel zásobované oblasti (viz tabulka 4).

Tabulka 4. Minimální četnost odběrů vzorků a analýz vyrobené vody (vyhláška č. 252/2004 Sb.).

počet obyvatel zásobované oblasti (při denní spotřebě 200 l/osobu)	objem vody vyrobené (m <sup>3</sup> /den)	roční počet vzorků pro krácený rozbor	roční počet vzorků pro úplný rozbor
≤ 50	≤ 10	1	1 za dva roky
> 50 až ≤ 100	> 10 až ≤ 20	2	1
> 100 až ≤ 500	> 10 až ≤ 100	3	1
> 500 až ≤ 5000	> 100 až ≤ 1000	4	2
> 5000 až ≤ 50000	> 1000 až ≤ 10000	4 + 3 na každých 1000 m <sup>3</sup> /den (včetně nedokončených) z celkového objemu	1 + 1 na každých 3300 m <sup>3</sup> /den (včetně nedokončených) z celkového objemu
> 50000 až ≤ 500000	> 10000 až ≤ 100000		3 + 1 na každých 10000 m <sup>3</sup> /den (včetně nedokončených) z celkového objemu
> 500000	> 100000		10 + 1 na každých 25000 m <sup>3</sup> /den (včetně nedokončených) z celkového objemu

## 4.5 Informace o jakosti surové vody

Údaje o jakosti surové vody jsou odběrateli, resp. provozovateli vodovodů hlášeny podle vyhlášky č. 431/2001 Sb., o obsahu vodní bilance, způsobu jejího sestavení a o údajích pro vodní bilanci. Tento právní dokument ukládá odběratelům povinnost předávat údaje příslušným správcům povodí a krajským úřadům, pokud je odběr větší než 6 000 m<sup>3</sup> v kalendářním roce nebo měsíční odběr přesahuje 500 m<sup>3</sup>. Tyto údaje, které jsou provozovateli vodovodů systematicky pořizovány, však nebyly až do nedávné doby nijak zpracovávány. Zajištění dostupnosti a využitelnosti těchto cenných údajů o jakosti surové vody je však důležitým předpokladem pro lepší orientaci v dané problematice i pro její případnou nápravu.

Určité zlepšení v evidenci surové vody přináší výzkumný projekt TA01020670 „Chráněná území povrchových a podzemních vod pro lidskou spotřebu – hodnocení jakosti surové vody a jeho využití v praxi“. Jde o projekt řešený Výzkumným ústavem vodohospodářským T. G. Masaryka (VÚV TGM), který si klade za cíl zejména zajistit zpracování těchto dat a jejich převod z podoby sbíraných formulářů ve formátu xls (Microsoft Excel) do podoby relační databáze tak, aby bylo možné s daty systematicky pracovat, a dále také zajistit zpřístupnění těchto dat pro jejich další potenciální využití. Databáze obsahuje pravidelně aktualizované údaje o jakosti surové vody od počátku sledování (tedy od roku 2002) do současnosti. Data jsou zobrazována prostřednictvím interaktivní mapy. Součástí projektu bylo také vytvoření metodických postupů

upravujících způsob shromažďování a zpracování těchto dat za účelem zajištění systematického zpracování, a tedy i využívání těchto dat v budoucnosti. Publikovaná data poskytují důležité informace o stavu jakosti povrchových a podzemních vod v těch nejdůležitějších místech, kde je odebírána surová voda pro zásobování obyvatelstva pitnou vodou. (VÚV TGM 2013).

Významné nedostatky a neúplnost v evidenci malých odběrů surové vody však ukazují, že pro některé malé obce je náročná i administrativa kolem provozování místního vodovodu (Datel et al. 2014). Navíc evidence podle vyhlášky 431/2001 Sb. nepokrývá ani zdaleka všechny malé zdroje pitné vody, protože se povinnost evidence nevztahuje na zdroje s odběrem menším než uvedených 6 000 m<sup>3</sup> za rok (cca 0,2 l/s). Vodní zdroje s vydatností pod 0,2 l/s mohou dle Datla et al. (2015) zásobovat sídla nebo jejich části až do velikosti 150 až 200 obyvatel, z čehož vyplývá, že značná část obyvatelstva venkovských oblastí je zásobována vodou malých vodních zdrojů, které nejsou evidovány, a jejichž jakost je sledována v neznámém rozsahu, nesystematicky, prakticky na úrovni individuálních zdrojů vody (domovní studny).

#### **4.6 Shrnutí systému kontroly jakosti surové a pitné vody**

Kvalita dodávané pitné vody je v souladu s platnou legislativou kontrolována od zdroje surové vody až ke kohoutku zákazníka. Voda, která je dodávána do domácností, podstupuje řadu kontrol a odpovídá dostatečně přísným kritériím kvality. Systém kontroly a hodnocení jakosti vody je založen zejména na výsledcích laboratorních rozborů prováděných v určitém rozsahu a v předepsaných intervalech. Analýzy se zaměřují na vyhláškami stanovené ukazatele jakosti vody, jejichž míra přítomnosti nesmí přesáhnout určitou mez s ohledem na metodu úpravy vody surové či zdravotní nezávadnost vody pitné. Rozsah sledovaných ukazatelů se za posledních několik desítek let významně rozšířil díky stále vyspělejší instrumentaci schopné detekovat stopové množství stále širšího spektra látek. Lze konstatovat, že právní řešení kontroly jakosti pitné vody a požadavky na její kvalitu jsou v České republice na vysoké úrovni, v mnoha ohledech dokonce vyšší, nežli požaduje evropský standard.

V čem je ale možné spatřovat významné problémy, je praktická aplikace legislativních požadavků v oblasti malých vodárenských systémů, které nedisponují v porovnání s velkými vodárenskými společnostmi takovým odborným, technickým a finančním zázemím. Nejde ani tak o rozsah sledovaných ukazatelů, jako o předepsanou četnost rozborů vody. V případě malých systémů vyplývá z legislativních předpisů nižší četnost kontroly kvality pitné vody jak u spotřebitele, tak během její výroby. Nastolený způsob zabezpečení jakosti vody je založený na občasných rozbořech vody, kdy 1 litr

zkontrolované vody připadá v průměru na několik set milionů litrů vyrobených a dodaných do sítě (Kožíšek 2011). Je tedy pochopitelné, že hodnocení jakosti či zdravotní nezávadnosti pitné vody založené pouze na výsledcích laboratorních rozborů je odborně neudržitelný přístup.

Systém kontroly je nastaven spíše paušálně, v podstatě nereaguje na mimořádné situace a mnohdy není uzpůsoben konkrétním místním podmínkám (možné zdroje znečištění, typ a ochrana zdroje surové vody). V podstatě neexistují žádné legislativní požadavky na pravidelné kontroly stavu klíčových součástí celého systému zásobování, zhodnocení potenciálních rizik a provedení nápravných opatření (Datel et al. 2014). Pozornost orgánů hygienické služby je zaměřena především na vyrobenou pitnou vodu a její jakost v koncovém článku – u spotřebitele. Kontrola a údržba vlastních jímacích objektů a dalších technických zařízení vodovodního systému (řady, vodojemy aj.) zůstává na provozovateli a jeho odpovědném přístupu.

Dalším významným nedostatkem je nekompletní evidence a nedostatečný přehled o jakosti surové vody v místních zdrojích, což znemožňuje efektivní využití těchto dat, jež by mohlo vést ke zlepšení jakosti vody v malých vodárenských systémech.

Současné vodní hospodářství představuje dynamické odvětví se značnou mírou mechanizace a automatizace. Mnohé vodárenské společnosti disponují moderními technologiemi, diagnostickou a výpočetní technikou, která pomáhá udržovat systém v plynulém a bezproblémovém chodu. I přes dlouholetý vývoj a významný pokrok jsou však vodárenské systémy téměř neustále vystaveny vysokým rizikům, která by mohla významně narušit jejich chod na poměrně dlouhou dobu. Nehledě na to, že s vyšší technologickou vybaveností roste i pravděpodobnost případných poruch. Žádný vodárenský systém není ani přes sebelepší technickou vybavenost zcela imunní vůči kontaminaci zdrojů surové a distribuované pitné vody (Kročová et al. 2015).

## 5 Možnosti zlepšení současného stavu

Nevyhovující situace v malých vodárenských systémech pochopitelně neunikla pozornosti širší odborné společnosti. Návrhy na zlepšení přicházejí ze stran hned několika mezinárodních institucí, které si uvědomují vážnost situace. Mezi nejaktivnější patří například Světová zdravotnická organizace (WHO), Mezinárodní asociace pro vodu (IWA) a Evropská komise (EK). Snaží se vytvářet vhodné nástroje použitelné v praxi, publikovat edukativní materiály a distribuovat je dotčeným uživatelům. Dále shromažďují důkazy a předkládají je politikům a jiným organizacím, které by mohly svými pravomocemi a činnostmi přispět ke zlepšení situace.

Následující kapitola je zaměřena na konkrétní návrhy a nástroje mající za úkol zvýšit úroveň zabezpečení a kvalitu pitné vody v malých vodárenských systémech.

### 5.1 Místní šetření a multibariérový přístup

Značný technologický vývoj v oblasti úpravy vody a využívání stále přesnějších analytických metod obecně svádělo k jednostrannému prosazování kontroly jakosti distribuované vody založenému výhradně na laboratorních rozborech a jakostních limitech. Otázka významu preventivního přístupu však byla – i přes četné epidemie způsobené závadnou pitnou vodou – poněkud upozaděna. Na přelomu 80. a 90. let WHO připomíná důležitost tzv. hygienického šetření, které by mělo sloužit jako nezbytné doplnění laboratorních rozborů vody. Tento pojem zahrnuje vizuální posouzení okolí i vnitřního chodu vodárenského systému. Jde o levnou metodu, která poskytuje informaci o příčině a/nebo perspektivě možného rizika a umožňuje volbu nejvhodnějšího nápravného opatření. Z preventivních důvodů se rozhodlo, že ve vodárenské praxi budou zavedeny postupy kontroly, jakých se užívá při výrobě potravin. Jde o koncept, který je v zahraniční literatuře označován akronymem HACCP (Hazard Analysis and Critical Control Points, česky Analýza rizik a kritické kontrolní body). Podstatou tohoto konceptu je vytvoření seznamu biologických, chemických a fyzických působení nebo podmínek, které mohou způsobovat škody v celém procesu výroby pitné vody. Po deseti letech odborných příprav byla na mezinárodní úrovni oficiálně přijata nová strategie kontroly a dodávky nezávadné pitné vody vycházející z konceptu HACCP, která byla označena jako „Risk Assessment/Risk Management (RA/RM)“ (česky Analýza a řízení rizik). Tuto strategii pak WHO implementovala pod názvem „Water safety plans (WSP)“ (česky Plány pro zajištění bezpečného zásobování vodou) do svých nejnovějších doporučení „Guidelines for Drinking-water Quality“ (Doporučení pro kvalitu pitné vody). Tento dokument lze považovat za mezinárodní vědecký referenční bod v oblasti veřejné

dodávky pitné vody (Hulsmann et al. 2011). Tímto byla téměř celosvětově přijata, doplněna a zastřešena koncepcí hygienického šetření, která je považována za nejúčinnější prostředek důsledného zajištění bezpečnosti zásobování pitnou vodou. V dnešní době je již nedílnou součástí zabezpečení pitné vody ve veřejných vodovodech.

Na téma zavedení konceptů RA/RM a WSP do vodohospodářské praxe bylo svoláno několik odborných konferencí, které vedly ke vzniku několika specializovaných příruček, webových stránek a mezinárodních výzkumných projektů. Navíc je jisté, že se nový koncept stane součástí novelizované směrnice EU 98/83/ES o jakosti vody určené pro lidskou spotřebu.

V některých státech se tento koncept označuje jako „Multiple Barrier Approach“, neboli multibariérový přístup. Jde o způsob ochrany vodárenského systému, který klade důraz zejména na preventivní opatření, identifikaci potenciálních rizik a jejich minimalizaci. Součástí multibariérového přístupu je např.:

- zabránit znečištění zdrojů vody prostřednictvím funkční ochrany zdroje vody, resp. stanovením ochranného pásma;
- zařazení technologie úpravy vody, která je schopna pokrýt i situace s mimořádným zhoršením kvality;
- zabránit sekundární kontaminaci během akumulace a distribuce pitné vody a manipulace s ní (udržování přetlaku, ochrana vodojemů atd.);
- dohled proškoleného personálu, který se bude řídit zpracovaným provozním a případně i havarijním řádem;
- sledování (nejlépe kontinuální) funkčnosti jednotlivých bariér (Hrudey et al. 2006).

Přístup WSP však není třeba chápat jako univerzální recept, který musí být striktně dodržován. Má to být flexibilní způsob zajištění bezpečnosti pitné vody, který je přizpůsoben místním podmínkám a potřebám (WHO 2012).

Dle zpracované metodiky Tuhovčáka et al. (2010), která si bere za cíl implementaci RA/RM a WSP, jsou kroky k vytvoření jednoduchého plánu pro zajištění bezpečného zásobování pitnou následující:

- 1) Ustanovení týmu odpovědného za zpracování a zavedení plánu pro zajištění bezpečného zásobování pitnou vodou.
- 2) Popis systému zásobování (inventura systému po stránce technické, organizační a personální).
- 3) Identifikace nebezpečí (vyhledání všech existujících nebo hrozících nebezpečí v systému).
- 4) Charakterizace rizika (odhad pravděpodobnosti vzniku a následků zjištěných nebezpečí, určení prioritních rizik a kritických bodů).
- 5) Provedení či naplánování nápravných a kontrolních opatření u nepřijatelně vysokých rizik. Potvrzení stávajících nebo zavedení nových kontrolních či nápravných opatření ke snížení nebo předcházení ostatních významných rizik.
- 6) Zavedení systému provozního monitorování zvolených kontrolních opatření včetně správné provozní (výrobní) praxe a jejich dokumentace.
- 7) Verifikace správnosti plánu a jeho účinného provádění, které sestává z nezávislého přezkoumání správnosti a úplnosti plánu a dále rutinní (průběžné) verifikace ze strany provozovatele prostřednictvím povinných rozborů vody a sledování spokojenosti spotřebitelů.
- 8) Periodické přezkoumání účinnosti plánu na základě nových zkušeností, výsledků rozborů kvality vody, eventuálně havárií.

Na samotnou rizikovou analýzu pak navazují nápravná opatření a úprava provozního řádu tak, aby existující a neodstranitelná nebezpečí byla stále pod kontrolou. Plán pro zajištění bezpečnosti vody tedy zahrnuje hodnocení systému, popis jeho fungování, návrh kontroly a opatření a provozní monitorování. K účinné ochraně vodního zdroje se řadí vedle zpracovaného režimu pravidelných kontrol OPVZ i podrobná znalost slabých míst pásma a rizikových objektů, které mohou vodní zdroj ohrozit.

Chceme-li si být jistí kvalitou vody a její bezpečností 24 hodin denně a 365 dní v roce, je třeba mít pod kontrolou celý výrobní proces pitné vody. Existuje široká škála chemických i mikrobiálních kontaminantů, které se mohou nacházet v pitné vodě. Tyto látky či organismy mohou pocházet z řady zdrojů, v některých případech i z procesu úpravy vody. Základním předpokladem je přehled o všech rizikových aktivitách v okolí zdroje surové vody, přes úpravu a distribuci vody, až po kohoutek spotřebitele. Znalost povahy zdrojů znečištění a způsobu vniknutí těchto látek do systému zásobování pitnou vodou je klíčové pro zajištění bezpečnosti vody (Davison et al. 2005).

## 6 Zajištění vodního zdroje na konkrétní lokalitě

Náplní praktické části diplomové práce je realizace a vyhodnocení hydrogeologického průzkumu za účelem vybudování malého vodárenského systému. Jako autor diplomové práce jsem zároveň jediným autorem závěrečné zprávy hydrogeologického průzkumu (Klapka 2017), odpovědným řešitelem geologických prací je RNDr. Zdeněk Zýma. Cílem prací bylo vybudování nového vodního zdroje k zabezpečení pitné vody pro několik desítek rodinných domů v plánované zástavbě na jižním okraji obce Květnice. Podle dostupných informací je v obci zaveden veřejný vodovodní řad, který ovšem není schopen z kapacitních důvodů zásobovat zamýšlenou zástavbu rodinných domů. Na základě dohody s investorem byl navržen vodárenský systém zahrnující dva hydrogeologické (jímací) vrty, úpravnu vody a vodojem.

Pozice hydrogeologických vrtů, které byly zamýšleny jako zdroje pitné vody pro zásobování plánované zástavby rodinných domů, jsem stanovil na základě výsledků geofyzikálního průzkumu s ohledem na dispozice zkoumaného pozemku a plánované rozmístění rodinných domů a místních komunikací. Doplňkově jsem zkoumal hydraulické parametry nesaturované zóny z hlediska ochranné funkce kvartérního pokryvu a z hlediska vsakování srážkových vod z okapových svodů rodinných domů, místních komunikací a přilehlých zpevněných ploch.

Sled prací, které jsem v rámci řešení zadaného úkolu koordinoval, uvádím v tabulce 5.

Před zahájením průzkumných prací jsem v lokalitě prověřil možné střety zájmů (chráněná území, ochranná pásma...). Ty jsem zjišťoval přímo v terénu podle příslušných mapových podkladů a podle údajů z databází MŽP a VÚV TGM. Na základě těchto poznatků jsem zpracoval projekt hydrogeologického průzkumu, který jsem v souladu s platnou geologickou legislativou předložil dotčeným orgánům. K provedení hydrogeologického průzkumu a se vázaly následující administrativní kroky a dokumenty:

- evidence v Geofondu ČR č. 4110/2016 (viz přílohu 10);
- ohlášení vrtných prací na Obecním úřadě Květnice.

Mnou realizované geologické práce zahrnovaly následující okruh činností:

- zpracování archivních materiálů;
- vytyčení vrtů a jejich následné geodetické zaměření;
- koordinaci technických, terénních a laboratorních prací;
- geologickou dokumentaci vrtného profilu;
- sledování hladiny podzemní vody a vzorkovací práce;
- kontrolu metodiky odběru vzorků, dopravu a protokolární předání vzorků do laboratoří;
- vyhodnocení poznatků z terénu a laboratoře, zpracování dat a výsledků průzkumných prací.

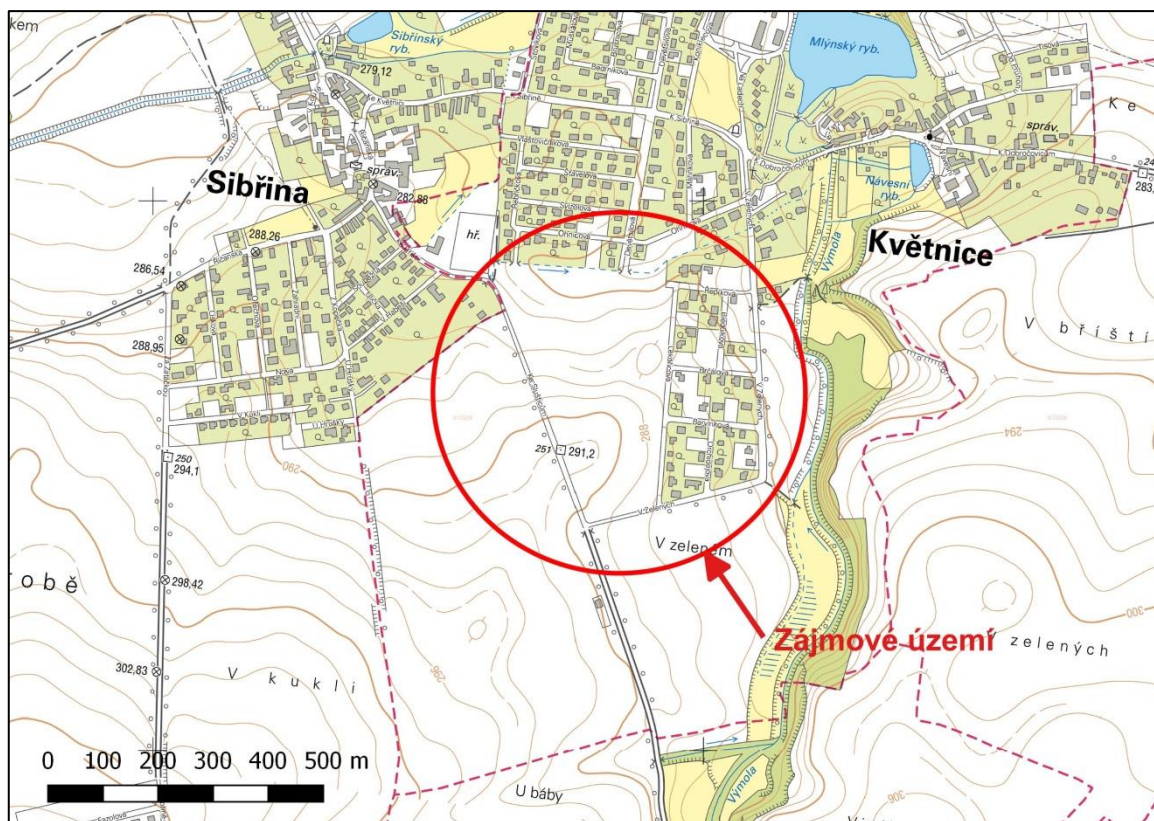
Získané výsledky jsou popsány a vyhodnoceny v následujícím textu a dokumentovány v jednotlivých přílohách řazených na konci diplomové práce.

Tabulka 5. Sled realizovaných prací.

SOUBOR PRACÍ	SPECIFIKACE PRACÍ
<b>přípravné práce</b>	- rešerše archivních podkladů, zajištění vstupu na zájmový pozemek - oznámení a evidence geologických prací - vytyčení inženýrských sítí
<b>průzkumné terénní práce</b>	- pasportizace stávajících HG objektů (sledovaných v průběhu hydrodynamických zkoušek) - geofyzikální průzkum (1 soubor) – stanovení vhodných pozic průzkumných objektů na zájmovém pozemku - vyhloubení průzkumných hydrogeologických vrtů (2 ks) - odběr a stanovení vzorků podzemní vody dle požadavků vyhlášky č 252/2004 sb. pro pitnou vodu (1 ks) - čerpací zkouška (2 ks) - vyhloubení průzkumných vrtů pro vsakovací zkoušky (2 ks) - krátkodobá vsakovací zkouška (2 ks)
<b>zpracování dat</b>	- vyhodnocení geofyzikálního průzkumu - vyhodnocení rozboru kvality podzemní vody z vrtu KV-2 - vyhodnocení průběhů čerpací, stoupací a vsakovací zkoušky - vyhodnocení hydrogeologických poměrů
<b>komplexní vyhodnocení průzkumu</b>	- stanovení maximální vydatnosti vrtů - provedení místního šetření a analýzy rizik - návrh vedení ochranných pásem

## 6.1 Charakteristika zájmového území

Zájmové území, ve kterém má být vybudován vodárenský systém pro zásobování plánované zástavby rodinných domů, se nachází na jižním okraji obce Květnice. Zájmové území je ohraničeno ulicemi Ke Slušticům, V Zelených a Lékořicová, ze severu pak občasnou vodotečí (strouhou). Po správní stránce jde o pozemek s parcelním číslem 543/1, náležící do katastru Květnice [747751], okres Praha-východ, Středočeský kraj. Orientační mapa s lokalizací širšího zájmového území je součástí přílohy 1 a 2. Topografickou mapu bližšího okolí zájmového území představuje obrázek 7.



Obrázek 7. Topografická mapa zájmového území (podkladová mapa: server ČÚZK 2018).

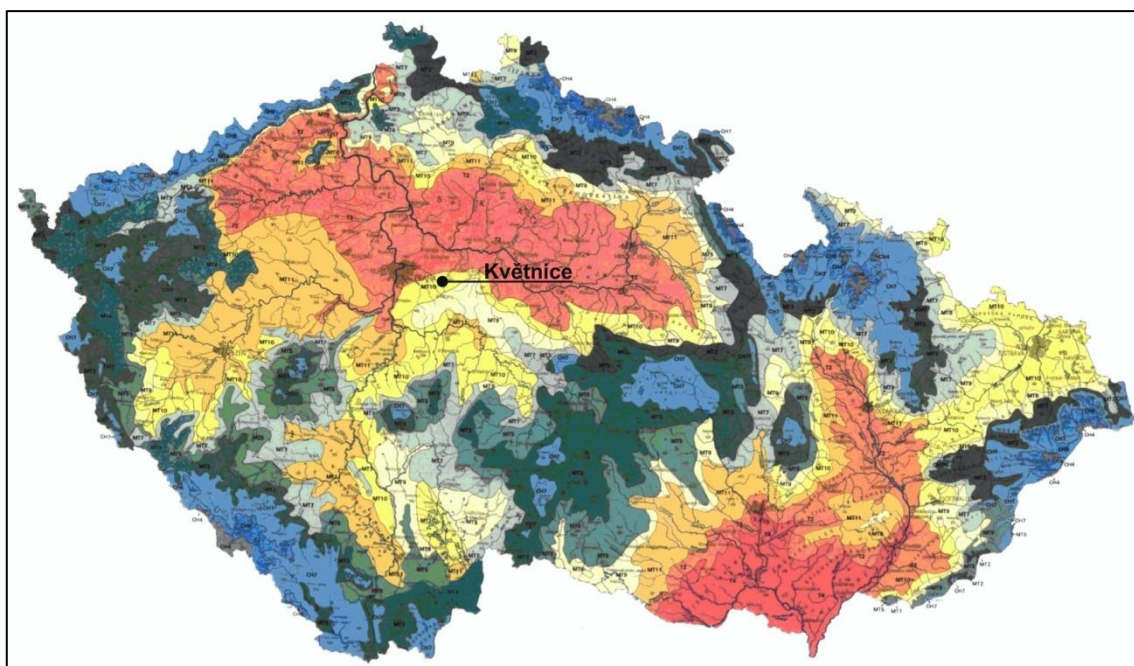
### Geomorfologické, klimatologické a hydrologické poměry lokality

Dle geomorfologického členění podle Demka (1987) náleží zájmová oblast k celku Pražská plošina, která je součástí vyšších geomorfologických celků – Brdské oblasti a subprovincie Poberounská soustava. Detailní geomorfologická rajonizace je uvedena v tabulce 6. Zájmové území má charakter plošiny až ploché pahorkatiny, nadmořská výška území se pohybuje okolo 280 m n. m. Terén je v rámci širšího okolí velmi mírně skloněný až téměř plochý k SSV.

Tabulka 6. Detailní geomorfologická rajonizace zájmového území (Demek 1987).

<b>provincie</b>	Česká vysočina
<b>subprovincie</b>	Poberounská soustava (V)
<b>oblast</b>	Brdská oblast (VA)
<b>celek</b>	Pražská plošina (VA-2)
<b>podcelek</b>	Říčanská plošina (VA-2A)
<b>okrsek</b>	Uhříněveská plošina (VA-2A-b)

Podle Quittovy klasifikace klimatických oblastí Československa (Quitt, 1971) se lokalita nachází v teplé a mírně suché klimatické oblasti MT10 (viz obrázek 8). Oblast MT10 má dlouhé a teplé léto, krátké přechodné období s mírně teplým jarem a podzimem, krátkou mírnou zimu a také krátké trvání sněhové pokrývky.



Obrázek 8. Klimatické oblasti České republiky (Quitt 1971, upraveno).

Následující tabulka 7 uvádí vybrané klimatické charakteristiky klimatické oblasti MT10. Dle údajů z nejbližší srážkoměrné stanice Úvaly se v období 1930–1980 pohyboval průměrný roční úhrn srážek kolem 535 mm, průměrné roční teploty byly okolo 7,8 °C (Kříž et al. 1987).

Tabulka 7. Klimatické charakteristiky teplé oblasti MT10 (Quitt 1971).

<b>počet letních dnů</b>	40 – 50
<b>počet dnů s průměrnou teplotou 10 °C a více</b>	140 – 160
<b>počet mrazových dnů</b>	110 – 130
<b>počet ledových dnů</b>	30 – 40
<b>průměrná teplota v lednu [°C]</b>	-2 - (-3)
<b>průměrná teplota v červenci [°C]</b>	17 – 18
<b>průměrný počet dnů se srážkami 1 mm a více</b>	120 – 150
<b>počet dnů se sněhovou pokrývkou</b>	50 – 60

Lokalita je odvodňována potokem Výmola (ČHP 1-04-07-0480-0-00; plocha povodí 17,92 m<sup>2</sup>; správce povodí: Povodí Labe, Závod Pardubice, státní podnik), který protéká v generelním směru od jihu k severu cca 0,36 km východně od zájmového území a tvoří levostranný přítok řeky Labe. Potok Výmola má průměrný průtok kolem 1,5 l.s<sup>-1</sup>, v letních měsících je průtok neměřitelný (Kříž et al. 1987).

## **Geologické poměry lokality**

Z hlediska regionálně-geologického členění náleží zájmová lokalita ke středočeské oblasti (bohemikum), která je zde tvořena hlubokomořskými zpevněnými sedimenty štěchovické skupiny proterozoika Barrandienu. Jedná se o mnohonásobné střídání prachovců, břidlic, drob a slepenců. Ve zkoumaném území převažují prachovce až prachovité břidlice. Celkovou mocnost tohoto komplexu hornin lze odhadovat přibližně na 800–1000 m (Kříž et al. 1987). Horniny proterozoika Barrandienu působí jako kadomsky konsolidovaný rigidní blok, který prošel též slabou regionální metamorfózou (Brunnerová et al. 1991). Vrstvy jsou orientovány přibližně ve směru JZ-SV a zapadají pod úhlem cca 30 ° od svislice (Čech 2001).

Z kvartérních pokryvných útvarů jsou v lokalitě pod humózním horizontem zastoupeny převážně eolické sedimenty, spraše a sprašové hlíny charakteru převážně jemně písčitých světlehnědých jíílů a hlín s nízkou plasticitou. V okolí vodoteče lemujícího severní okraj sledovaného pozemku jsou uloženy sedimenty deluviofluviálního původu a proměnné zrnitostní facie. Vzhledem k historii pozemku a provedeným zemním pracím, spojeným s budováním základů a uložením liniových vedení, lze na sledovaném pozemku očekávat lokální kumulace antropogenních vrstev, většinou zpětných zásypů místním výkopovým materiálem. Mocnost kvartérních sedimentů může v lokalitě dosahovat mocnosti až 10 m (Levá 2017). Geologická mapa zájmového území je součástí přílohy 3.

## **Tektonické poměry**

Tektonická stavba zájmového území a blízkého okolí je výrazně ovlivněna nasunutím proterozoika na ordovické sedimenty (dobrotivské břidlice, skalecké křemence). Skupina těchto nevelkých přesmyků se někdy označuje jako chodovské přesmyky (Levá 2017) a jejich blízké okolí se vyznačuje větší četností výskytu tektonických linií, které se vyvinuly v převažujícím směru S-J a jemu blízkých. Kromě tektonických projevů severojižního směru jsou ve sledované oblasti mapovány strukturní prvky směru ZJZ-VJV. Horniny jsou ve svrchních partiích rozpukané, s hloubkou se četnost puklinového systému snižuje a proterozoické horniny jsou v hloubce prakticky rigidní.

## **Hydrogeologické poměry lokality**

Dle hydrogeologické rajonizace z roku 2005 spadá širší zájmové území do okrajové části hydrogeologického rajónu základní vrstvy 4510 - Křída severně od Prahy (Olmer et al. 2006), který je budován zejména svrchno-křídovými sedimenty české křídové pánve. Na základě místní geologické skladby by však bylo přesnější zařazení

k nedalekému přilehlému HG rajónu 6250 - Proterozoikum a paleozoikum v povodí přítoků Vltavy. Rajón 6250 je budován převážně břidlicemi a drobami, které tvoří kolektor s puklinovou rozpustností a nízkou transmisivitou v řádu menším než  $1 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ . Hladina podzemní vody je zde převážně volná až mírně napjatá. Podzemní vody jsou nejčastěji chemického typu  $\text{Ca-Mg-HCO}_3\text{-SO}_4$  s celkovou mineralizací okolo 0,3 až 1 g/l (Olmer et al. 2006). V zájmovém území se nachází jediný kolektor podzemních vod, ve kterém lze ve vertikálním směru vymežit 3 zóny s odlišným typem prostředí (Krásný 2012):

- Svrchní (zvětralinová) zóna je tvořena kvarténními uloženinami charakteru jílu (eolické sedimenty) a případně eluvem podložních prachovců. Mocnost zóny se zde pohybuje okolo 8–10 metrů. Převládá zde průlinová pórovitost.
- Střední či puklinová zóna (zóna přípovrchového rozpojení podložních prachovců, břidlic a drob) zasahuje do hloubky několika prvních desítek metrů. Pohyb podzemní vody je zde vázán na zónu přípovrchového rozvolnění masivu, kde voda proudí zejména po příhodných puklinách bez jílovitých výplní. Charakteristická je zde propustnost puklinová.
- Spodní či masivní zóna s izolovanými a téměř semknutými puklinami s omezeným oběhem podzemních vod. Tato zóna je pro vodu téměř nepropustná.

Zvodeň má mírně napjatou hladinu podzemní vody s negativní výtlačnou úrovní. Napjatost hladiny podzemní vody je způsobena výskytem málo propustných jemnozrnných zemin kvarténního patra, které plní funkci stropního izolátoru. Podzemní voda je v zájmové lokalitě odvodňována severním až severovýchodním směrem do lokální drenážní báze tvořené potokem Výmola. Podzemní vody jsou v lokalitě doplňovány přirozenou infiltrací atmosférických srážek z blízkých i vzdálenějších infiltračních oblastí. Podle Krásného (2012) se v zájmovém území a jeho okolí tvoří na  $1 \text{ km}^2$  v průměru 1-2 l/s podzemních vod.

### **Střety vodohospodářských zájmů**

Zájmový prostor nespadá dle základní vodohospodářské mapy pod chráněnou oblast přirozené akumulace vod CHOPAV. Dle databází <http://heis.vuv.cz/> a <http://geoportal.gov.cz/> nezasahují do zájmového území ochranná pásma vodních zdrojů. Zájmové území se nenachází v záplavovém území.

## **Poddolovaná území a ložiska nerostných surovin**

Na základě prozkoumání archivních mapových podkladů (Geofond Praha) lze konstatovat, že se v blízkosti nenachází žádné poddolované území, chráněné ložiskové území, ani dobývací prostory.

## **Sesuvná území**

Dle získaných podkladů (ČGS Praha – mapa svahových nestabilit) nebyla na zájmové lokalitě zjištěna žádná aktivní ani potencionální sesuvná území.

## **Režim ochrany lokality**

Dle mapového portálu Středočeského kraje (<http://gis.kr-stredocesky.cz/>) posuzovaný pozemek nezasahuje do zvláště chráněných území (stanovených dle zákona č.114/1992 Sb., o ochraně přírody a krajiny) a ani neleží v jejich vyhlášeném nebo obecně stanoveném ochranném pásmu, tj. v území do vzdálenosti 50 m od hranic zvláště chráněného území. Posuzovaný pozemek není ve střetu s územím evropsky významných lokalit nebo ptačích oblastí soustavy NATURA 2000. V blízkosti posuzovaného pozemku nejsou vymezeny žádné přírodní parky, nenacházejí se zde žádné lokality výskytu zvláště chráněných druhů rostlin a živočichů s národním významem, ani nejsou vymezeny žádné přechodně chráněné plochy. Zkoumaný pozemek se nachází v ochranném pásmu nadregionálního biokoridoru Voděradské bučiny – Vidrholec.

## **6.2 Metodika průzkumných prací**

### **Pasportizace okolních vodních zdrojů**

V rámci terénní rekognoskace jsem před zahájením vrtných prací zmapoval okolní jímací objekty. V lokalitě se nacházejí výhradně domovní vrtané studny, které slouží jako zdroje užitkové vody pro zásobování přilehlých rodinných domů a závlahu pozemků. Při pochůzce jsem zaznamenal pozici studen a hloubku hladiny podzemní vody od odměrného bodu (tj. od horního okraje víka či poklopu studny). Hladinu vody ve studnách jsem měřil hladinoměrem (hloubkoměrem) a pozice studen laserovým dálkoměrem od hranic pozemků a stěn budov. Naměřené hladiny podzemní vody jsem porovnával s hladinami v průběhu vrtných prací a následných čerpacích a stoupacích zkouškách. Dva vytipované jímací objekty jsem za účelem kontinuálního záznamu kolísání hladiny se souhlasem majitelů osadil dvěma datalogery Solinst. Datalogery snímaly úroveň hladiny každé dvě minuty po dobu 20 dnů. Pozice studen

jsou znázorněny v příloze 5, další informace získané v rámci pasportizace stávajících jímacích objektů jsou uvedeny v tabulce 8, v kapitole 6.3.

### **Metodika geofyzikálního průzkumu**

K vyhledání optimálních pozic pro realizaci hydrogeologických průzkumných, resp. jímacích vrtů byl pracovníky společnosti INSET s.r.o. proveden povrchový geofyzikální průzkum. Cílem geofyzikálního měření bylo v rámci daného pozemku vyhledat průběh tektonických puklinových systémů, porušených zón, resp. kontaktů v proterozoickém horninovém komplexu, které představují preferenční cesty pro proudění podzemních vod, optimálně pak místa křížení těchto poruch.

Terénní geofyzikální práce probíhaly 16.–18. 8. 2017. Vyhledání poruchových zón pro hydrogeologické účely, zejména pro situování jímacích objektů umožňují povrchové geofyzikální metody. Pro lokalizaci průběhu tektonických linií v geologickém prostředí tohoto typu jsou úspěšné především geoelektrické odporové metody. K průzkumu byla na všech profilech jako hlavní použita metoda dipólového odporového profilování. Na základě vyhodnocení provedeného profilování bylo ve vybraných úsecích provedeno měření mělkou refrakční seismikou. Pro vyhledání poruchových systémů s očekávaným vyšším stupněm zvodnění byl na vymezené ploše cca 500 x 300 m vytyčen systém kolmých, resp. kosých liniových geofyzikálních profilů. Podélné profily P2, P3 a P4 byly vytyčeny s orientací cca JJZ-SSV, profil P1 byl veden podél silnice Sluštice–Květnice ve směru JJV-SSZ. Délka podélných profilů byla 450–550 m. Kolmé profily označené K12, K13, K14, K15 a K16 byly vedeny ve směru SSZ-JJV, profil K11 kopíroval silnici V Zelených ve směru ZJZ-VSV. Délka jednotlivých kolmých profilů byla 260–380 m (Levá 2017).

### **Vrtné práce**

Na základě výsledků geofyzikálního průzkumu a dispozičních předpokladů jsem v rámci zkoumaného pozemku vybral dvě pozice pro realizaci průzkumných/jímacích vrtů. Nové průzkumné vrty jsem očísloval postupně dle pořadí jejich hloubení a označil je KV-2 a KV-4. Vrty realizovala společnost Vodní Zdroje a.s. pomocí vrtné soupravy ROTAMEC instalované na podvozku nákladního automobilu Tatra. Zhotovitel vrtných prací zvolil technologii rotačně příklepového vrtání pneumatickým ponorným kladivem s pomocí výplachu tlakovým vzduchem. Vrtné průměry byly 280 mm do hloubky 3,0 m a 254 mm od hloubky 3,0 m pod terénem. Oba vrty byly končeny v hloubce 30 m pod úrovní terénu.

Doplňkově byly vrtmistrem J. Šulcem vyhloubeny dva jádrové vrty (označené VS-1 a VS-2), na kterých jsem svépomocí realizoval dvě vsakovací zkoušky za účelem zjištění hydraulických parametrů nesaturované zóny. Vrty byly odvrtny pomocí vrtné soupravy UGB 1VS instalované na podvozku nákladního automobilu Praga UV 80. Vrty byly hloubeny jádrově-rotační technologií (vrtný Ø 220 mm). Vrtáno bylo bez použití vrtného výplachu, tj. na sucho. Vrty pro účely vsakovacích zkoušek byly ukončeny v hloubce 3 m p. t. a dočasně vystrojeny perforovanou PVC pažnicí. Po geologické dokumentaci a realizaci vsakovacích zkoušek byly vrty zlikvidovány záhozem odvrtnou zeminou a byla skartována hmotná dokumentace.

Schematická pozice realizovaných průzkumných vrtů na zkoumaném území je znázorněna v příloze 5. Technicko-geologická dokumentace průzkumných vrtů je součástí přílohy 6.

### **Metodika vyhodnocení čerpacích a stoupacích zkoušek**

Před trvalým odběrem podzemních vod z vertikálních jímacích objektů se provádějí čerpací a stoupací zkoušky, které mají prokázat vhodnost objektů pro jímání podzemní vody, popřípadě ověřit podmínky, za nichž se může odběr vody uskutečnit. Čerpací zkouška je soubor činností, které souvisejí se zkušebním čerpáním vody ze sledovaného objektu. Ukazuje se, že hydrodynamické čerpací a stoupací zkoušky jsou z jedním z nejefektivnějších způsobů, jak věrohodně ověřit hydraulické charakteristiky geologického prostředí (Kruseman et al. 1990). Rozlišujeme čerpací zkoušky při ustáleném proudění čerpané podzemní vody a při neustáleném proudění podzemní vody ve zvodněném kolektoru.

Za účelem zjištění základních hydraulických parametrů horninového prostředí jsem za pomoci technického pracovníka realizoval:

- dlouhodobou čerpací zkoušku (v režimu dvou snížení) na vrtu KV-2 v délce 7 dnů;
- stoupací zkoušku na vrtu KV-2 v délce 3 dnů;
- krátkodobou (orientační) čerpací zkoušku na vrtu KV-4 v délce 25,5 hodiny;
- stoupací zkoušku na vrtu KV-4 v délce 3 dnů.

V žádné fázi čerpacích zkoušek nedošlo k ustálenému proudění. Doba trvání hydrodynamických zkoušek, resp. dosažení ustáleného stavu při čerpací zkoušce, dle Pastuszka (2014) ovlivňuje přesnost určení hydraulických parametrů. Přesnějších hodnot je dosaženo vyhodnocováním dlouhodobějších hydrodynamických zkoušek (obvykle v délce trvání 14–28 dní), nicméně s ohledem na požadovaný termín dodání výsledků jsem byl nucen přikročit k těmto zkráceným čerpacím a stoupacím zkouškám.

V průběhu hydrodynamických zkoušek jsem monitoroval reakce hladiny podzemní vody v nečerpaném průzkumném vrtu a okolních studnách pomocí dataloggeru (po celou dobu hydrodynamické zkoušky) a kontrolně ručním záměrem pomocí hladinoměru. Vyhodnocení hydrodynamických zkoušek se opírá o teorii neustáleného proudění čerpané studny, matematické vztahy jsem čerpal ze studijních materiálů, dále z publikací Krusemana (1994) a Jetela et al. (1982). Čerpací zkoušky jsem vyhodnocoval jako inverzní úlohu k parciální diferenciální rovnici radiálního proudění (Dupuitův postulát) ke studni:

$$\frac{\partial^2 h}{\partial r^2} + \frac{\partial h}{\partial r} \frac{1}{r} = \frac{S}{T} \frac{\partial h}{\partial t} \quad (1)$$

kde

**h** – piezometrická úroveň hladiny podzemní vody

**r** – vzdálenost od osy studny/vrtu [m]

**t** – čas [t]

**S** – specifická storativita [m]

**T** – transmisivita [m<sup>2</sup>/s]

Úprava *Laplaceovou transformací* vede k Theisově rovnici radiálního proudění:

$$s = \frac{Q}{4\pi \cdot T} W(u) \quad (2)$$

kde

**s** - snížení úrovně hladiny podzemní vody [m]

**Q** - čerpané množství [m<sup>3</sup>/s]

**W(u)** - integrální exponenciální funkce, známá jako Theisova studňová funkce.

Argument **u** studňové funkce je bezrozměrný a s rostoucím časem klesá.

$$u = \frac{r^2 \cdot S}{4T \cdot t} \quad (3)$$

Pro vyhodnocení hydrodynamických zkoušek byly odvozeny zjednodušené tvary Theisovy rovnice, které jsou založeny na jejím převedení na lineární tvar. Toto zjednodušení bývá nazýváno Jacobova aproximace:

$$s = \frac{2,3 \cdot Q}{4\pi T} \log\left(\frac{2,25 T t}{r^2 S}\right) \quad (4)$$

Tato rovnice je v log-normálním zobrazení rovnicí přímky. Vyneseme-li naměřená data snížení **s** proti logaritmu času **log t**, je možné proložit těmito daty přímkou. Hledané hydraulické parametry je možné vypočítat ze sklonu této přímky a z hodnoty  $t_0$ , kde  $t_0$  je

čas, ve kterém protíná přímka proložená daty osu  $x$  (čas, ve kterém je snížení rovno nule):

$$T = \frac{2,3 \cdot Q}{4\pi\Delta s} \quad (5)$$

kde

$\Delta s$  - snížení za jeden logaritmický cyklus času [m]

Hodnotu storativity  $S$  lze vypočítat ze vztahu:

$$S = \frac{2,25 \cdot T \cdot t_0}{r^2} \quad (6)$$

Na stejném principu je založeno vyhodnocení stoupací zkoušky. Místo hodnoty snížení jsem vynášel na osu pořadnic tzv. zbytkové snížení  $s'$  v čase  $t'$ .

### Metodika vyhodnocení vsakovacích zkoušek

V rámci hydrogeologického průzkumu jsem provedl dvě polní vsakovací zkoušky dle ČSN 75 9010 „Vsakování srážkových vod“ za účelem stanovení koeficientu vsaku ( $k_v$ ) svrchní části geologického prostředí a zhodnocení možnosti vsakování srážkových vod z plánovaných komunikací a střech rodinných domů na zkoumaném pozemku.

Vsakovací zkoušku jsem provedl formou jednorázového nálevu s následným měřením závislosti poklesu hladiny podzemní vody v čase. Jednalo se tedy o zkoušku s proměnlivou hladinou vody. Vodu jsem na lokalitu dovezl v kanystrech. Výsledkem vsakovacích zkoušek je stanovení koeficientu vsaku  $k_v$  ve smyslu ČSN 75 9010, který je spočten podle rovnice:

$$k_v = \frac{Q_{zk}}{A_{zk}} \quad (7)$$

kde

$Q_{zk}$  - přítok vody do průzkumného objektu [ $m^3/s$ ]

$A_{zk}$  - zkušební vsakovací plocha během zkoušky v [ $m^2$ ]

Zkušební vsakovací odpovídá ploše omočených stěn vrtu a jeho dna:

$$A_{zk} = \pi r^2 + 2\pi r h \quad (8)$$

kde

$r$  - poloměr vrtu [m]

$h$  - výška omočené plochy nade dnem vrtu [m]

Pokles hladiny podzemní vody v průběhu vsakovací zkoušky byl zaznamenáván automaticky na datalogger s krokem záznamu 1 min. V následující tabulce 8 jsou uvedeny základní parametry vsakovacích zkoušek na vrtech VS-1 a VS-2, přičemž detailní vyhodnocení a komentář je součástí kapitoly 6.3.

Tabulka 8. Parametry vsakovacích zkoušek na vrtech VS-1 a VS-2.

vert	doba trvání zkoušky (s)	výška vodního sloupce na začátku zkoušky (m)	hladina vody na začátku zkoušky (m p.t.)	objem vsáknuté vody (m <sup>3</sup> )
VS-1	81360	2,80	0,70	0,0433
VS-2	93660	2,71	0,79	0,00651

### Vzorkovací a analytické práce

V průběhu čerpací zkoušky na vrtu KV-2 jsem odebral v dynamickém režimu celkem dva vzorky podzemní vody. Vzorky jsem odebral pomocí kulového ventilu na výtlačném potrubí během první i druhé deprese. Vzorek z první deprese jsem nechal analyzovat v rozsahu úplného chemického rozboru (pH, barva, zákal, pach, vodivost, KNK, ZNK, volný CO<sub>2</sub>, tvrdost, vápník, hořčík, sodík, draslík, železo, mangan, amonné ionty, chloridy, dusičnany, dusitany, hydrogenuhličitany, sírany, fluoridy, CHSK<sub>Mn</sub>, celková mineralizace).

V průběhu druhé deprese jsem odebral druhý vzorek, který byl analyzován v rozsahu odpovídající vyhlášce č. 252/2004 Sb. (příloha č. 1) pitná voda (pH, vodivost, barva, zákal, pach, chuť, vápník, hořčík, sodík, železo, mangan, amonné ionty, dusičnany, dusitany, chloridy, sírany, fluoridy, CHSKMn, kyanidy, antimon, arsen, beryllium, bor, hliník, chrom, kadmium, měď, nikl, olovo, rtuť, selen, benzen, toluen, etylbenzen, xyleny, 1,2 dichloreten, vinylchlorid, trichloreten, tetrachloreten, chloroform, trihalometany, PAU včetně benzo(a)pyrenu, Escherichia coli, koliformní bakterie, enterokoky, počty kolonií při 22°C a 36°C, mikroskopický obraz).

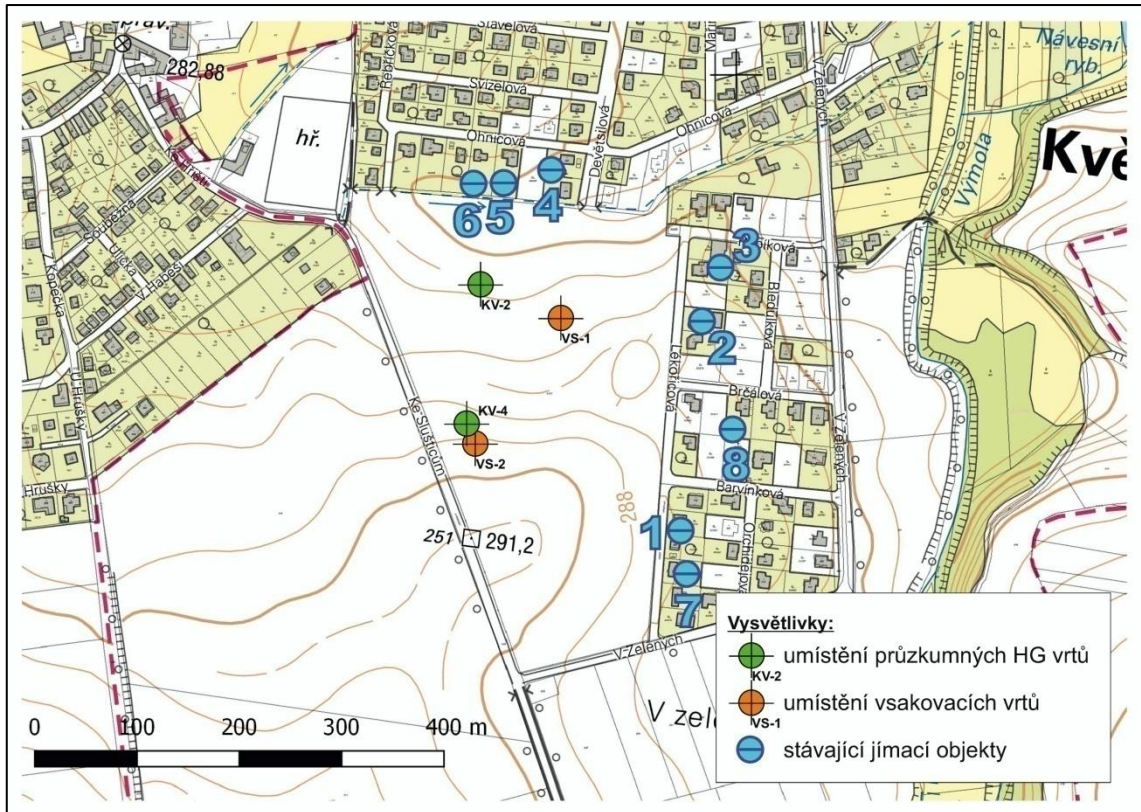
Výsledky obou analýz jsou téměř identické a vzájemně se překrývají. Dále byl ze vzorku podzemní vody z druhé deprese proveden Radiologický rozbor dle vyhlášky č. 422/2106 Sb., stanoven obsah TOL (těkavých organických látek), PAU (polycyklických aromatických uhlovodíků), OCP (organických chlorovaných pesticidů), triazinových pesticidů, draslíku, hodnoty KNK a ZNK. Od vzorkování vrtu KV-4 jsem upustil na základě požadavku objednatele z důvodu úspory finančních prostředků.

Vzorky podzemní vody odebrané do připravených vzorkovnic jsem protokolárně předal k analýzám do akreditované laboratoře VZlab s.r.o. (osvědčení o akreditaci ČIA, ASLAB). Použité metody stanovení jsou uvedeny na protokolech o výsledcích laboratorních rozborů (viz příloha 9). Odběry jsem prováděl pod dohledem RNDr. Zdeňka Zýmy v souladu s interní metodikou firmy G-servis Praha, spol. s r.o.

## 6.3 Vyhodnocení realizovaných prací

### Výsledky terénních prací

Situace zjištěných jímacích objektů je schematicky zakreslena do mapy na obrázku 9. Nejbližší jímací objekty byly zjištěny ve vzdálenosti cca 110 m severně a 200 m východně od průzkumných hydrogeologických vrtů.



Obrázek 9. Situační mapa se zakreslenou polohou průzkumných vrtů a okolních jímacích objektů (podkladová mapa: server ČÚZK 2018).

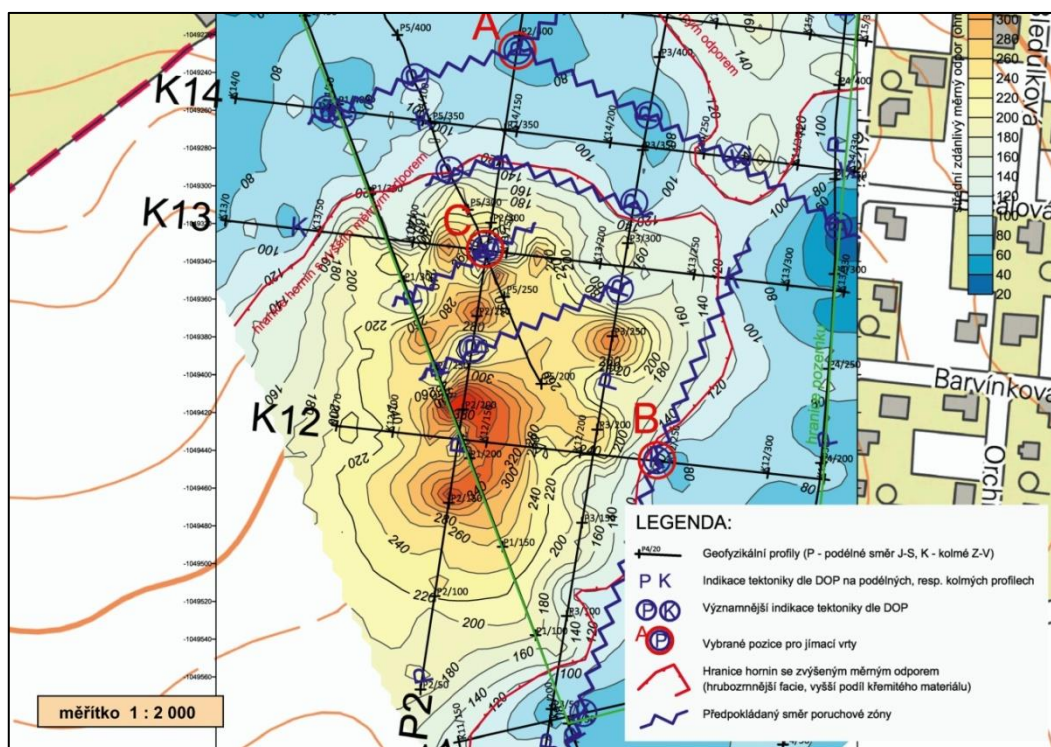
Údaje získané při zaměřování hladin ve stávajících studnách jsou uvedeny v následující tabulce 9. Z pohybu hladin v pozorovaných studnách je patrné, že došlo ke značnému ovlivnění téměř všech stávajících pozorovaných studen vrtnými pracemi a následujícími hydrodynamickými zkouškami (viz vyhodnocení čerpacích a stoupacích zkoušek). Lze konstatovat, že největší rozdíl hladin činí cca 80–120 cm ve studnách č. 3, 4 a 5.

Tabulka 9. Ruční záměry hladin v okolních studnách.

číslo objektu	majitel	parcelní číslo	hladina pod OB* [m]			
			před vrtáním	v průběhu vrtání	po vrtání	po čerpací zkoušce
1	Petr Šebesta Jana Šebestová	543/75	3. 9. 2017 18:00 7,24 m	5. 9. 2017 15:50 7,16 m	7. 9. 2017 17:15 7,15 m	22. 9. 2017 19:20 7,60 m
2	Petr Srdínko Monika Srdínková	543/16	3. 9. 2017 18:30 7,72 m	nepřítomni	11. 9. 2017 16:00 7,87 m	odmítli měření
3	Markéta Hind	543/14	4. 9. 2017 10:00 5,95 m	5. 9. 2017 15:40 5,94 m	11. 9. 2017 15:40 6,35 m	22. 9. 2017 19:15 6,82 m
4	Bedřich Říha a Olga Říhová	560/100	4. 9. 2017 10:15 5,66 m	5. 9. 2017 15:35 5,75 m	7. 9. 2017 17:05 5,85 m	22. 9. 2017 18:40 6,90 m
5	Vladimír Beránek Monika Beránková	560/98	4. 9. 2017 10:30 4,02 m	5. 9. 2017 15:30 4,41 m	7. 9. 2017 17:00 3,92 m	22. 9. 2017 19:00 4,82 m
6	Růckl Jiří	560/97	Od měření studny bylo upuštěno, jelikož studna byla dlouhodobě a kontinuálně čerpána za účelem napouštění bazénu.			
7	Vraná Lucie Vraný Karel	543/77	Od měření studny bylo upuštěno, jelikož studna byla dlouhodobě využívána jako zdroj užitkové vody do domácnosti.			
8	Vaněk David Vaňková Monika	543/42	Odmítli měření.			

## Výsledky geofyzikálního průzkumu

Na základě geofyzikálního průzkumu realizovaného v síti kolmých profilů byly pracovníky společnosti INSET s.r.o. v lokalitě vytipovány tři pozice (A, B a C) pro realizaci průzkumných, resp. jímacích vrtů. Jednalo se o pozice s nejvýraznějším anomálním projevem v geoelektrických metodách přizpůsobené strukturálním tvarům dle mapy izolinií měrných odporů (viz obrázek 10).



Obrázek 10. Situace průzkumných profilů, korelační schéma výsledků a mapa izolinií měrných odporů (převzato z Levá 2017).

Doporučené umístění vrtů jsem respektoval: vrt KV-2 jsem umístil do prostoru pozice „A“ a vrt KV-4 do prostoru pozice „C“. Před zahájením vrtných prací jsem byl s ohledem na průběh plánovaných komunikací a stávajících inženýrských sítí nucen posunout vrt KV-4 přibližně 15 metrů po směru vyznačené tektonické linie. V prostoru mimo doporučené pozice či vyznačené tektonické linie jsem pro umístění jímacích vrtů neočekával výrazně příznivější stav.

Souřadnice navržených pozic pro vrty jsou dle pořadí geofyzikálního významu uvedeny v tabulce 10.

Tabulka 10. Souřadnice doporučených pozic průzkumných vrtů.

Označení pozice	X	Y
A	1049228,4	725240,2
B	1049445,3	725166,1
C	1049333,5	725257,3

### Parametry realizovaných průzkumných HG vrtů

V rámci průzkumných prací byly ve dnech 5.–6. 10. 2017 vyhloubeny dva průzkumné hydrogeologické vrty. Z pozic doporučených v závěrečné zprávě geofyzikálního průzkumu jsem dle prostorových možností vybral dvě pozice pro realizaci vrtů s označením A a C. Vrty byly vyhloubeny do hloubky 30 m od terénu. Celkem bylo odvrtno 60,0 bm.

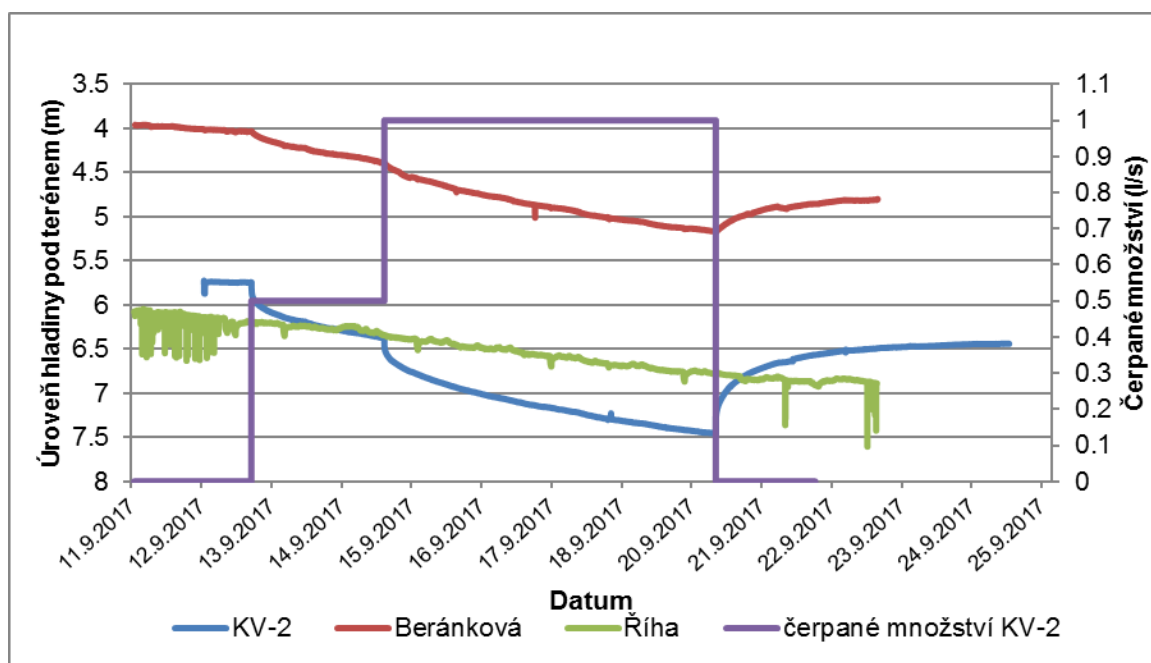
Dle petrografického popisu vrtného profilu se v prostoru zájmového území vyskytují 7–9 m mocné eolické sedimenty charakteru hnědočervených až červenohnědých jílu s proměnlivým obsahem šterkové frakce. Podloží kvartérních sedimentů je tvořeno nejčastěji šedými silně zvětralými až navětralými prachovci.

Technické parametry vrtů jsem stanovil podle hydrogeologické situace v lokalitě. Použitý vrtný průměr byl 280 mm v intervalu 0 - 3 m a 254 mm v intervalu 3 - 30 m. Hlavní přítoky podzemní vody do vrtu KV-2 byly zastiženy v hloubce 7, 13, 21 a 27 m pod terénem, ustálená hladina po dovrtní a vystrojení se nacházela v hloubce 5,65 m p. t. Hlavní přítoky podzemní vody do vrtu KV-4 vrtmistr hlásil v hloubce 9, 14, 19 a 24 m pod terénem, ustálená hladina po dovrtní a vystrojení se nacházela v hloubce 6,63 m p. t. Vrty byly v celé hloubce vystrojeny HDPE zárubnicí o průměru 160 mm. Perforované a plné úseky zárubnice jsem určil na místě dle aktuálních poznatků v průběhu vrtných prací, tj. podle úrovně naražené hladiny a hloubky zastižených přítoků. Technicko-geologická dokumentace průzkumných vrtů je součástí přílohy 6.

## Čerpací zkoušky na vrtech KV-2 a KV-4

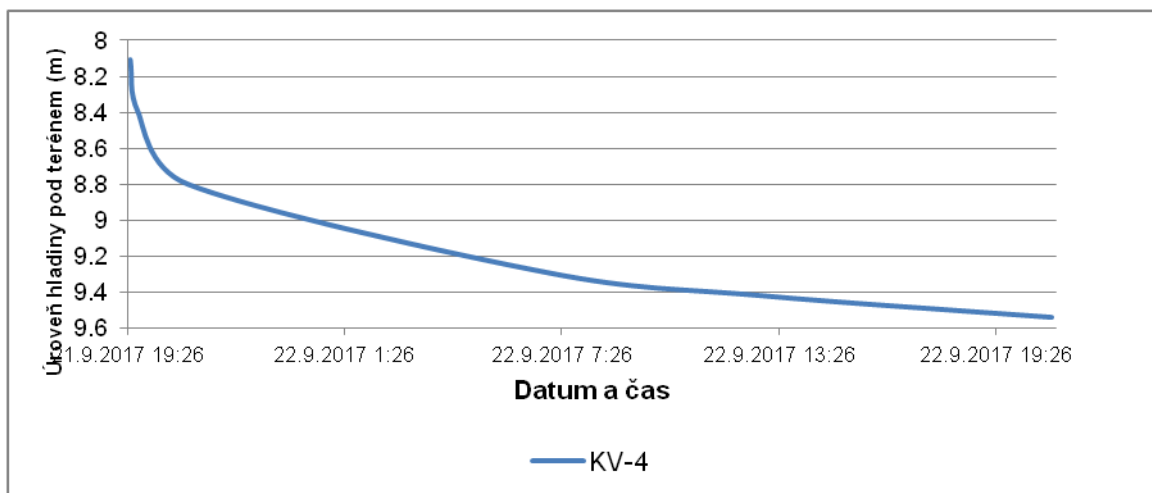
Na vrtu KV-2 proběhla čerpací zkouška trvající 7 dnů, po které následovala zkouška stoupací v trvání 4 dnů. V první fázi čerpací zkoušky, která trvala 2 dny, bylo čerpáno konstantní množství 0,5 l/s. Množství čerpané vody jsem stanovil po dohodě s RNDr. Zdeňkem Zýmou na základě vrtmistrem odhadované vydatnosti při vrtání (tj. 4-5 l/s). Ve druhé fázi ČZ bylo čerpáno 1,0 l/s. V žádné fázi čerpací zkoušky nedošlo k ustálenému proudění. Před zahájením čerpací zkoušky byla ve vrtu KV-2 ustálená hladina podzemní vody 5,75 m pod horní hranou chráničky, která převyšovala terén o cca 0,1 m. Mocnost testovaného kolektoru je přibližně 22,8 m.

Na obrázku 10 je zobrazen průběh hydrodynamické zkoušky na vrtu KV-2, včetně změn úrovní hladin ve dvou sledovaných studnách paní Beránkové a pana Říhy. V časovém úseku před zahájením ČZ lze vidět mírný pokles hladin v obou studnách způsobený samotnou realizací průzkumného vrtu, neboť již při vrtání se z kolektoru odčerpává značné množství podzemní vody, což se zde negativně projevilo i na sledovaných jímacích objektech. Téměř okamžitě po zahájení první fáze ČZ obě studny reagují výraznějším poklesem. Za pozornost stojí poněkud odlišný průběh snížení hladiny v obou studnách. Zatímco u paní Beránkové se pokles zastavil v momentě ukončení ČZ na vrtu KV-2, u pana Říhy hladina klesala kontinuálně. Tento jev, který má zásadní vliv na výsledky čerpacích zkoušek, je detailně interpretován níže a je jedním z důkazů o heterogenitě horninového prostředí, resp. o různé míře tektonického porušení skalního masivu v zájmové lokalitě. Záznam úrovní hladin během čerpací zkoušky na vrtu KV-2 znázorňuje obrázek 11.



Obrázek 11. Vývoj čerpací a stoupací zkoušky na vrtu KV-2.

Dne 21. 9. 2017 jsem na vrtu KV-4 započal krátkodobou čerpací zkoušku trvající 25,5 hodin. Samotné čerpací zkoušce předcházelo několikahodinové čerpání, které bylo zmařeno poruchou čerpadla. Bezprostředně před druhým čerpáním se nacházela hladina ve vrtu KV-4 v hloubce 6,73 m pod horní hranou chráničky, která převyšovala terén o cca 0,1 m. Mocnost testovaného kolektoru je 20,4 m. V rámci čerpací zkoušky nebylo konstantním odběrem 0,08 l/s dosaženo ustáleného proudění. Čerpání způsobilo snížení hladiny o 0,53 m. Záznam úrovně hladiny během čerpací zkoušky znázorňuje obrázek 12.



Obrázek 12. Vývoj čerpací zkoušky na vrtu KV-4.

### Zjištění hydraulických parametrů zkoušeného kolektoru

V prvním kroku jsem čerpací zkoušky vyhodnotil metodou pro neustálené proudění podzemní vody k testovanému objektu – tzv. Jacobovou aproximací Theisovy studňové funkce. Z vyhodnocení byly stanoveny:

- vodivostně-odporové hydraulické parametry zvodněného prostředí, tj. koeficient hydraulické vodivosti  $k$  ( $m \cdot s^{-1}$ ) a koeficient transmisivity (průtočnosti)  $T$  ( $m^2 \cdot s^{-1}$ );
- objemově kapacitní hydraulické parametry, tj. storativita (zásobnost)  $S$  (bezrozměrná veličina).

V tabulce 11 jsou uvedeny výsledné hodnoty transmisivity  $T$ , koeficientu hydraulické vodivosti  $k$  a storativita  $S$ . Vyhodnocení čerpacích a stoupacích zkoušek na vrtech KV-2 a KV-4 je uvedeno v příloze 7.

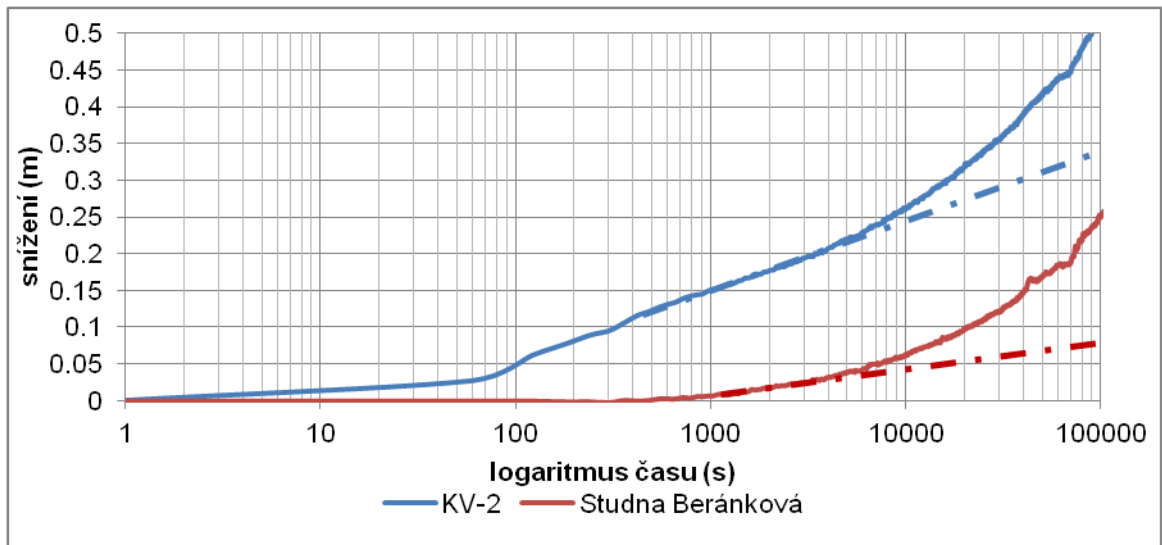
Tabulka 11. Hodnoty hydraulických parametrů podle teorie neustáleného proudění.

čerpáný objekt	Q (l/s)	zkouška	hydraulické parametry		
			T (m <sup>2</sup> /s)	k (m/s)	S
KV-2	0,5	čerpací (1. deprese)	1,02.10 <sup>-3</sup>	3,96.10 <sup>-5</sup>	5,57.10 <sup>-4</sup>
	1,0	čerpací (2. deprese)	1,53.10 <sup>-3</sup>	5,93.10 <sup>-5</sup>	
KV-4	0,01	čerpací	2,71.10 <sup>-5</sup>	1,59.10 <sup>-6</sup>	-

Podle klasifikace vypracované Jetelem (1973) je možné charakterizovat horninové prostředí v okolí čerpaného vrtu KV-2 jako mírně propustné ve třídě propustnosti IV. Transmisivitu je možné podle Krásného (1986) charakterizovat v případě vrtu KV-2 jako střední až vysokou, na hranici mezi třídami transmisivity III a II. Zjištěná transmisivita naznačuje, že se jedná z hlediska vodohospodářského významu o hydrogeologické prostředí vhodné k nevelkým odběrům podzemní vody pro místní zásobování, případně k soustředěným odběrům menšího významu. Řádově nižší hodnoty hydraulických parametrů byly zjištěny v okolí čerpaného vrtu KV-4. Ve smyslu výše uvedených klasifikací dle Jetela a Krásného se vrt KV-4 nachází ve slabě propustném horninovém prostředí s nízkou transmisivitou třídy IVa. Takto charakterizované horninové prostředí je pro pravidelné zásobování většího počtu domácností pitnou vodou spíše nepříznivé.

Jak je patrné z tabulky 11, čerpacími zkouškami byly zjištěny řádově rozdílné hydraulické parametry horninového prostředí v místech vrtů KV-2 a KV-4. Tyto parametry se týkají pouze nejbližšího okolí čerpaných vrtů, nicméně existují způsoby, kterými lze určit charakter hydrogeologického režimu v širším okolí zkoumaného území. Během čerpací zkoušky na vrtu KV-2 byly v nedalekých vrtaných studnách (včetně vrtu KV-4) měřeny změny v úrovních hladiny v reakci na vyvolané čerpání ve vrtu KV-2. Z těchto údajů byly vyvozeny následující skutečnosti:

Zásadním se jeví zjištění, že zájmové území je ohraničeno bloky horninového prostředí s řádově nižší průtočností a hydraulickou vodivostí (viz ideový geologický řez zájmovým územím v příloze 8). Pokud se depresní kužel čerpaného vrtu rozšíří k méně nepropustnému horninovému prostředí, dojde zpravidla k výraznějšímu snížení hladiny ve studnách, které se v tomto depresním kuželu nacházejí. Na výskyt zmíněných horninových bloků s nižší propustností lze usuzovat z kontinuálního měření hladin v okolních jímacích objektech. Nedaleký výskyt méně propustného horninového prostředí se v naměřených datech projevuje jako odchylka od teoretické křivky zobrazující snížení hladiny v čase. Průkazný je následující obrázek 13, na kterém je vyobrazeno měřené snížení hladiny ve vrtu KV-2 a ve studni paní Beránkové. V obou objektech je tato odchylka na první pohled zřejmá, pro ilustraci je v grafu čerchovanou čarou naznačena i teoretická křivka snížení.



Obrázek 13. Průběh snížení hladiny v pozorovaných objektech v čase.

### Heterogenní horninové prostředí a rozdílné hodnoty hydraulických parametrů v prostoru zájmového území

V průběhu vrtných prací a následných hydrodynamických zkoušek jsem dále sledoval úroveň hladiny nejen ve vrtech KV-2 a KV-4, ale i v dalších okolních studnách. Vrt KV-4 a tyto měřené studny a posloužily jako tzv. pozorovací objekty, pomocí kterých lze stanovit transmisivitu  $T$  v jejich okolí dle vzorce:

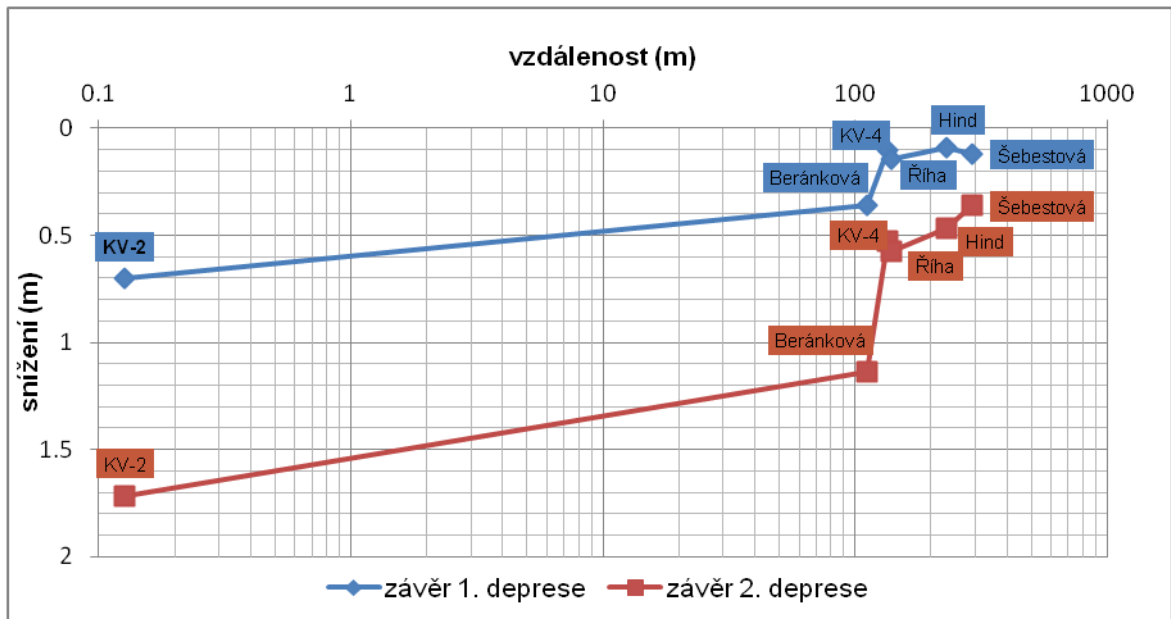
$$T = 0,366 \frac{\Delta \log r}{\Delta s} \quad (9)$$

kde

$\Delta s$  - snížení hladiny

$r$  - za jeden logaritmický cyklus vzdálenosti pozorovacích objektů od vrtu KV-2.

Hladiny v pozorovacích objektech jsem měřil před zahájením čerpací zkoušky a na konci první a druhé deprese. Pro výpočet jsem konstruoval graf znázorňující snížení hladiny ve všech měřených objektech v závislosti na jejich vzdálenosti od čerpaného vrtu KV-2 (viz obrázek 14).



Obrázek 14. Snížení hladiny v pozorovaných objektech v závislosti na vzdálenosti od vrtu KV-2.

Z těchto dat jsem spočetl přibližné hodnoty transmisivity  $T$  pro jednotlivé objekty. Jejich přehled uvádí následující tabulka 12.

Tabulka 12. Hodnoty spočtených transmisivit v okolí pozorovaných objektů.

pozorovaný objekt	vzdálenost od vrtu KV-2 (m)	snížení (m)		T (m <sup>2</sup> /s)	
		po 1. depresi	po 2. depresi		
KV-2	-	0,70	1,72	$1,02 \cdot 10^{-3}$	$1,53 \cdot 10^{-3}$
Beránková	111	0,36	1,13	$1,58 \cdot 10^{-3}$	$1,85 \cdot 10^{-3}$
KV-4	134	0,10	0,53	$5,76 \cdot 10^{-5}$	$4,94 \cdot 10^{-5}$
Říha	140	0,14	0,57	$8,50 \cdot 10^{-5}$	$6,60 \cdot 10^{-5}$
Hind	230	0,09	0,47	$2,14 \cdot 10^{-4}$	$1,74 \cdot 10^{-4}$
Šebestová	293	0,12	0,36	$3,21 \cdot 10^{-4}$	$1,99 \cdot 10^{-4}$

Získaná data ukazují, že vrt KV-4 a studny pana Říhy, paní Hind a paní Šebestové reagují na snížení vyvolané čerpáním ve vrtu KV-2 výrazně méně, nežli je tomu u studny paní Beránkové. Jinými slovy transmisivita  $T$  horninového prostředí v okolí těchto čtyřech objektů je řádově nižší, nežli je tomu v okolí vrtu KV-2 a studny paní Beránkové. Z toho lze usuzovat, že se nacházejí v řádově méně propustném horninovém prostředí, tedy v prostoru za méně propustnou bariérou. Vycházím zde z hypotézy, že pokud by byly všechny pozorovací objekty situovány v horninovém prostředí s podobnými vodivostně-odporovými hydraulickými parametry, ležely by všechny tyto objekty na jedné přímce (viz obr. 14).

Ze umístění sledovaných objektů (na obrázku 9) lze usuzovat na prostorovou orientaci méně propustných horninových bloků. Patrně se jedná o dvě rovnoběžné hranice jdoucí ve směru SSZ/JJV, z nichž jedna odděluje studnu paní Beránkové od ostatních sledovaných studní ve východní části zájmového území, přičemž druhá odděluje vrty KV-2 a KV-4.

### **Vyhodnocení a interpretace dat ze stoupací zkoušky**

V dalším kroku jsem vyhodnotil stoupací zkoušku na vrtu KV-2, která následovala bezprostředně po ukončení odběru vody. Vyhodnocení bylo provedeno analogicky podle Theisovy rovnice, přičemž jsem zavedl opravu na nekonstantní odběr v průběhu čerpací zkoušky. Průběh stoupací zkoušky, výsledek a z něho vyvozené závěry jsou příznačné pro zjištěné hydrogeologické podmínky v širším okolí zájmového území.

Ze záznamu hladiny ve vrtu KV-2 (viz obrázek 11) je patrné, že hladina nedostoupala na původní úroveň před začátkem čerpání. Rozdíl mezi úrovněmi hladin před začátkem čerpací zkoušky a po skončení zkoušky stoupací činí 0,70 m. Koeficient transmisivity  $T$  spočtený na základě dat ze stoupací zkoušky se pohybuje o více než jeden řád níže než u zkoušky čerpací. To je pravděpodobně zapříčiněno přítomností zmiňovaných méně propustných bariér (resp. málo propustných hornin), které brání rychlejší dotaci podzemní vody z infiltračních oblastí v širším okolí. Hodnota transmisivity z čerpací zkoušky je nadhodnocena v tom smyslu, že byla jímána převážně statická zásoba vody v okolí vrtu KV-2, zatímco výsledek stoupací zkoušky potvrdil značně omezenou dynamickou zásobu, resp. nízké přítoky podzemní vody k exploatovanému vrtu.

Plnohodnotné vyhodnocení stoupací zkoušky na vrtu KV-4 znemožnila porucha dataloggeru. Na základě kontrolního ručního měření jsem zjistil, že rozdíl mezi úrovněmi hladin před začátkem čerpací zkoušky a po skončení zkoušky stoupací činí 0,80 m. Domnívám se, že rozdíl mezi úrovněmi hladin před čerpáním a po stoupací zkoušce je způsoben odčerpáním statických zásob během čerpací zkoušky na vrtu KV-2.

### **Stanovení jímací schopnosti vrtů KV-2 a KV-4**

Pro hodnocení případného vodohospodářského využití vrtů KV-2 a KV-4 je zásadní fakt, že během hydrodynamické zkoušky nebylo dosaženo ustáleného proudění. Na základě toho lze usuzovat, že množství vody odebírané během čerpací zkoušky (KV-2: 0,5 a 1,0 l/s, KV-4: 0,08 l/s) jednoznačně převyšovalo množství vody, které se v širším okolí zájmového území doplňuje a do zájmového území přitéká.

Vzhledem k faktu, že nebylo dosaženo ustáleného proudění, jsem pro stanovení přibližné vydatnosti vrtu přikročil k matematickému dopočítání úrovně hladin podzemní vody při jednotkových odběrech. Vypočtené hydraulické parametry horninového prostředí jsem dosadil do Dupuitových-Thiemových rovnic ustáleného přítoku do studny (pro zvoďeň s napjatou hladinou):

$$k = 0,366 \cdot Q \frac{\log R - \log R_0}{m \cdot s} \quad (10)$$

kde

**k** - koeficient hydraulické vodivosti [m/s]

**Q** - odebíraná vydatnost [m<sup>3</sup>/s]

**s** - snížení hladiny v exploatovaném vrtu [m]

**R** – poloměr dosahu depresního kužele vyvolané odběrem [m]

**R<sub>0</sub>** - poloměr vrtu [m]

Jelikož z čerpacích a stoupacích zkoušek na vrtech KV-2 a KV-4 známe hodnotu koeficientu hydraulické vodivosti, může rovnice posloužit ke stanovení maximální možné vydatnosti vrtu a jí odpovídající hodnoty snížení hladiny podzemní vody ve vrtu při ustáleném proudění.

Zásadní vliv na správnost výpočtu snížení ve vrtu KV-2 má dosazení správné hodnoty koeficientu hydraulické vodivosti. Vzhledem k výskytu málo propustných hornin v blízkém okolí vrtu KV-2 je nutné kalkulovat s hodnotami spočtenými právě pro pozorovací objekty situované v málo propustném prostředí (za bariérou), jelikož právě jejich hydraulické parametry určují množství podzemní vody přitékající k vrtu KV-2. Do výpočtu jsem tedy dosadil aritmetický průměr z hodnot získaných pro vrt KV-4 a studnu pana Říhy (viz tabulka 11). Pro výpočet koeficientu hydraulické vodivosti pro vrt KV-2 jsem využil vztahu:

$$k = \frac{T}{b} \quad (11)$$

kde

**T** – transmisivita [m<sup>2</sup>/s]

**b** - mocnost kolektoru [cca 23 m]

Poloměr deprese jsem orientačně stanovil pomocí empirického vztahu dle Kusakina pro puklinové prostředí a volnou hladinu podzemí vody:

$$R = 575 \cdot s \cdot \sqrt{kH} \quad (12)$$

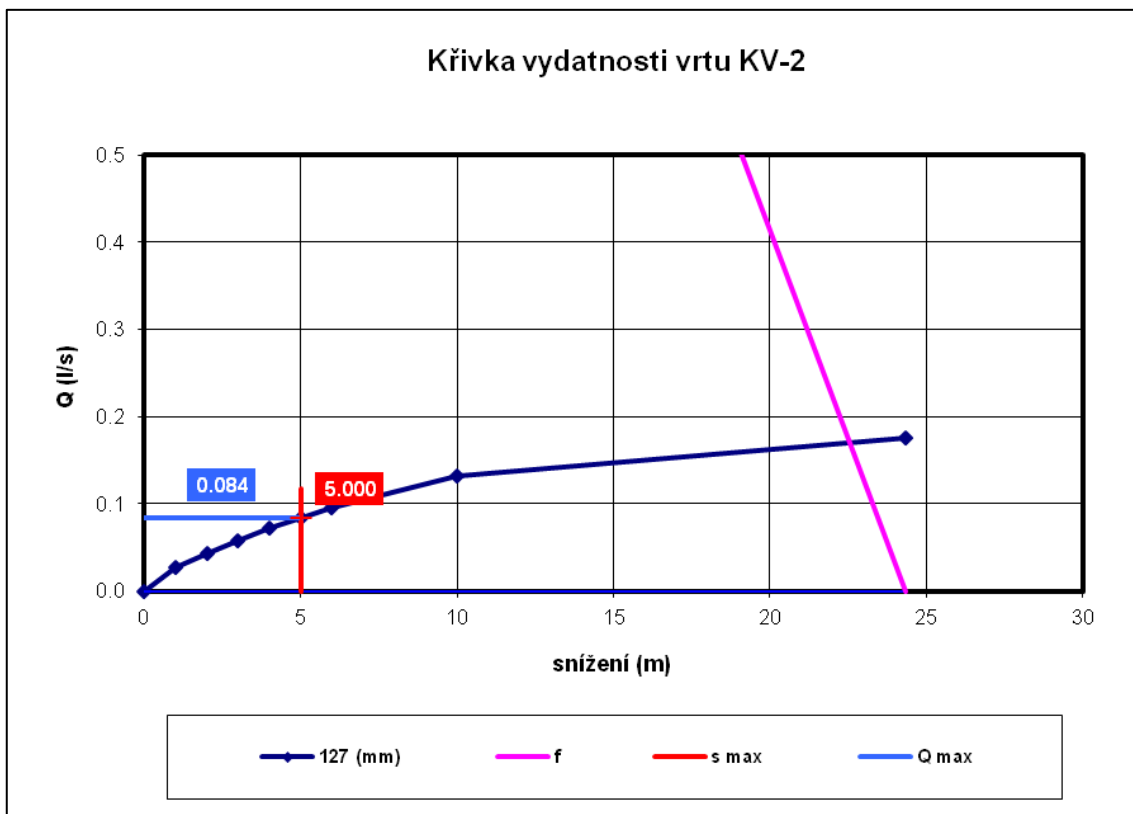
kde

**s** - snížení hladiny [m]

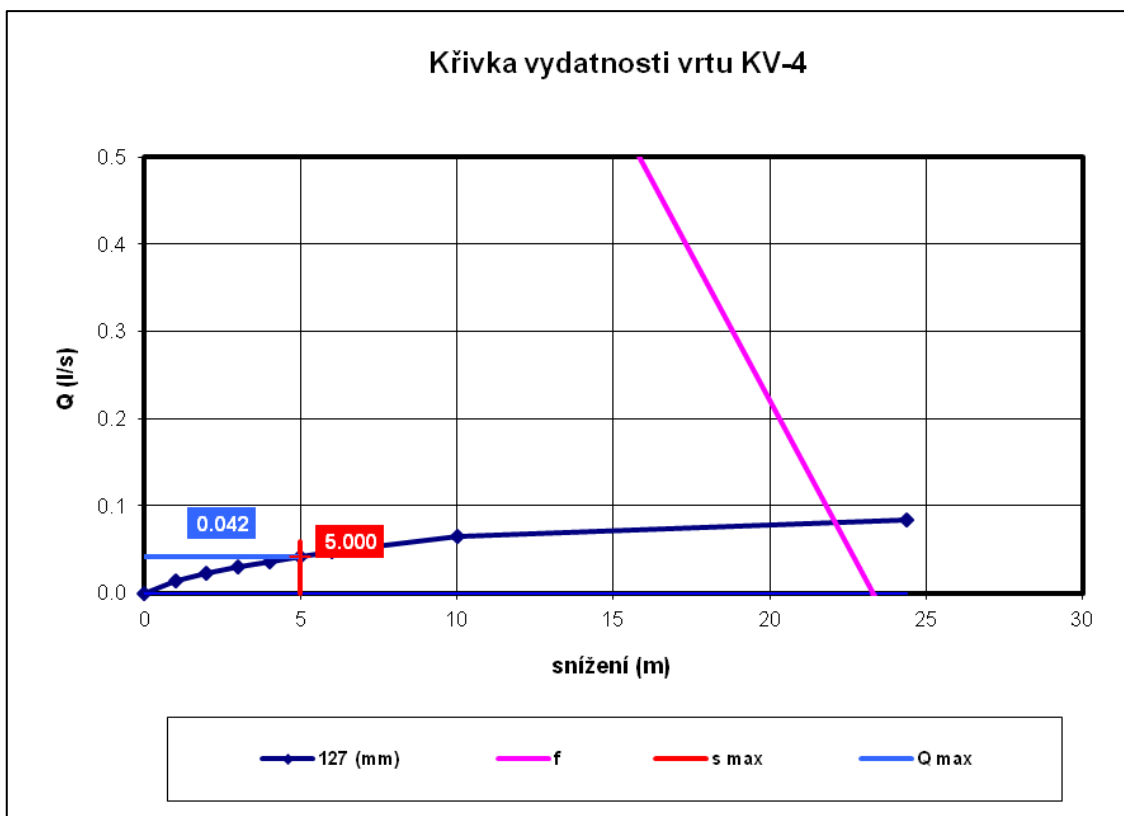
**k** - koeficient hydraulické vodivosti [m/s]

**H** – výška sloupce vody v klidovém stavu nad bází zvodně [m]

Pokud sestrojíme graf závislosti mezi velikostí přítoku podzemní vody/maximální vydatností (**Q**) a snížením hladiny vody ve vrtu (**s**), získáme předpokládanou křivku vydatnosti vrtu (tmavě modrá křivka - poloměr vrtu 127 mm) za podmínek ustáleného proudění (viz obrázek 15 a 16). Červená vertikální křivka znázorňuje námi zvolené maximální snížení, světle modrá horizontální křivka znázorňuje tomu odpovídající maximální vydatnost. Pro oba hydrogeologické vrty jsem doporučil (s ohledem na stávající vodní zdroje a blízkou méně propustnou hranici) provozní snížení hladiny podzemní vody o 1/5 akumulovaného sloupce vody ve vrtu. V tomto případě se jedná o snížení vodního sloupce maximálně 5 m. Význam fialové křivky *f* je vysvětlen níže.



Obrázek 15. Křivka vydatnosti vrtu KV-2.



Obrázek 16. Křivka vydatnosti vrtu KV-4.

Maximální dlouhodobá vydatnost vrtů KV-2 a KV-4 byla odhadnuta na základě křivky vydatnosti, která graficky vyjadřuje závislost čerpaného množství a snížení za podmínek ustáleného proudění (obrázky 15 a 16). V následující tabulce 13 jsou uvedeny hodnoty odhadovaných vydatností vrtů KV-2 a KV-4 pro jednotlivá snížení při ustáleném proudění.

Tabulka 13. Předpokládaná vydatnost při jednotkových sníženích ve vrtech KV-2 a KV-4.

		snížení - s (m)				
		1,00	2,00	3,00	4,00	5,00
předpokládaná vydatnost - Q (l/s)	<b>KV-2</b>	0,026	0,043	0,058	0,072	0,084
	<b>KV-4</b>	0,014	0,022	0,030	0,036	0,042

Na základě orientačních výpočtů dosahu hydraulické deprese při ustáleném proudění (empirickým vzorcem dle Kusakina) a s využitím Dupuitovy rovnice pro ustálené proudění v kolektoru s napjatou hladinou podzemní vody jsem spočetl, že při dlouhodobém snížení hladiny podzemní vody okolo 5 m p. t., bude dosaženo maximální dlouhodobé vydatnosti vrtů KV-2 (tj. 0,084 l/s) a KV-4 (tj. 0,042 l/s). Těmito vydatnostem a snížením odpovídají dosahy depresního kužele 76,95 m (KV-2), resp. 17,49 m (KV-4). V dosahu vypočtených depresních kuželů se nenachází žádný jiný jímací objekt.

Výše uvedené výpočtové hodnoty jsou pouze orientační. Předpokládají homogenní a izotropní prostředí, zatímco v lokalitě lze očekávat projevy preferenčního proudění podzemní vody, především ve směru propustnějších rozpukaných zón skalního prostředí, neboť propustnost kolektoru lze charakterizovat jako průlinově-puklinovou až puklinovou.

V následujícím fázi jsem dle Pastuszka (2014) provedl výpočet tzv. jímací kapacity vrtů (jímovost), což je hodnota nejvyššího přípustného čerpaného množství podzemní vody z vrtu. Při překročení této hodnoty vzniká na vstupu vody do vrtu turbulentní proudění, jemné částice horniny z okolí vrtu se dostávají do vnosu a jsou vplavovány do vrtu, ve kterém pak dochází k tzv. pískování. Současně s tím je těmito částicemi zanášen obsyp vrtu, což má za následek mechanickou kolmataci vrtu.

Hodnota maximální jímací kapacity vrtu je pak dána hodnotou vydatnosti v průsečiku křivky vydatnosti s funkcí  $f$  (fialová křivka na obrázcích 15 a 16):

$$f = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot h \cdot \frac{\sqrt{k_f}}{15} \quad (13)$$

kde

$r$  - poloměr vrtu

$h$  - mocnost zvodnění

$k$  - koeficient hydraulické vodivosti

Jak vyplývá z obrázků 15 a 16, maximální jímací kapacity každého z vrtů by bylo dosaženo při snížení větší než 22 m od ustálené hladiny. Ovšem taková snížení v žádném případě nedovolí hloubka instalovaného čerpadla, ani hydrogeologické podmínky v lokalitě.

### **Ovlivnění hydrogeologických poměrů a okolních vodních zdrojů**

Vlastními vrtnými pracemi došlo k negativnímu ovlivnění hydrogeologických poměrů a okolních jímacích objektů. Během intenzivního čerpání z vrtu KV-2 (0,5 a 1,0 l/s) byla za dobu 5 dní odčerpána značná statická zásoba podzemních vod, což mělo za následek znatelné (byť jen dočasné) snížení hladiny ve všech pozorovaných studnách nacházejících se až několik set metrů od průzkumného vrtu KV-2. K negativnímu ovlivnění okolních vodních zdrojů dochází při rozšíření depresního kužele, který vzniká při snížení hladiny podzemní vody v jímaném zdroji, až k těmto zdrojům. Míra tohoto ovlivnění je určena několika faktory, které působí ve vzájemných kombinacích. Z přírodních podmínek je podstatná především propustnost prostředí a také mocnost kolektoru. Z technických faktorů je důležité zejména množství odebírané vody a provozní snížení hladiny podzemní vody. Horninové prostředí, ve kterém se nachází vrt KV-2

(společně se studnou paní Beránkové), je díky tektonickému porušení relativně lépe propustné, což se projevuje hydraulickou propojeností hladiny ve vrtu KV-2 a ve všech studnách v tomto geologickém prostředí. Depresní kužel v okolí jímaného zdroje je zde pozvolný a jeho plošný dosah tudíž velký, proto se čerpání ve vrtu KV-2 může projevit na vzdálenost v řádu vyšších stovek až tisíců metrů. Oproti tomu ve zbylých sledovaných studnách nacházejících se v relativně méně propustném prostředí (viz např. studnu pana Říhy) se hydraulický impuls šíří pomaleji, což má za následek pozvolné, avšak kontinuální snižování hladiny v důsledku čerpání ve vrtu KV-2. Schematicky dané geologické a hydrogeologické podmínky znázorňuje ideový řez zájmovým územím v rovině JZ-SV (viz přílohu 8).

### Potřebná vydatnost zdroje

Požadovaná vydatnost zdroje nebyla objednatelem přesně stanovena. Výpočet potřeby vychází z požadavku investora na zabezpečení dostatečného množství pitné vody pro zásobování 20 rodinných domů obývaných 80 osobami. Potřeba vody byla vypočítána podle přílohy č. 12 k vyhlášce Ministerstva zemědělství č. 428/2001 Sb. ve znění pozdějších předpisů, která udává směrná čísla roční potřeby vody. Pro rodinný dům bylo počítáno s hodnotou 36 m<sup>3</sup>/os./rok. Výpočet spotřeby shrnuje tabulka 14.

Tabulka 14. Výpočet potřebné vydatnosti vrtů KV-2 a KV-4.

počet osob: 80	80* 36 m <sup>3</sup> / rok	2880,0 m <sup>3</sup> /rok
<b>celkem</b>		<b>2880,0 m<sup>3</sup>/rok</b>
průměrná denní spotřeba		Q <sub>p</sub> = 7890 l/den
potřebná vydatnost zdrojů [l/s]	(na základě průměrné denní spotřeby)	<b>Q = 0,091 l/s</b>
maximální denní spotřeba	Q <sub>max</sub> = Q <sub>p</sub> * k <sub>d</sub> (k <sub>d</sub> =1,5 koef. denní nerovnoměrnosti)	Q <sub>max</sub> = 11836 l/den
potřebná vydatnost zdrojů [l/s]	(na základě maximální denní spotřeby)	Q = 0,137 l/s

### Návrh parametrů pro trvalé využití vrtů KV-2 a KV-4

Hydrogeologické vrty (budoucí vrtané studny) budou jímat podzemní vodu z kolektoru podzemních vod vázaného na zónu zvětrání a puklinového rozvolnění proterozoických prachovců. Přírodní zdroje podzemní vody v lokalitě jsou obnovovány dešťovými srážkami z blízkých i vzdálenějších infiltračních oblastí. Vrtané studny budou využívat podstatnou část přírodních zdrojů podzemní vody dostupných v lokalitě.

Parametry pro trvalé využití vrtů navrhuji stanovit na základě spočtené maximální vydatnosti (viz tabulku 12). Při trvalém využívání vrtů KV-2 a KV-4 nepřekročí průměrné čerpání v součtu 0,126 l/s. Potřebná vydatnost zdroje na základě průměrné denní spotřeby byla stanovena na  $Q = 0,091$  l/s.

Doporučené parametry k povolení k nakládání s vodami jsou uvedeny v tab. 15.

Tabulka 15. Doporučené parametry studní a množství vody k povolení k nakládání s vodami.

	KV-2	KV-4
hloubka zapuštění sacího koše čerpadla pod terénem:	24,0 m	21,5 m
provozní snížení hladiny:	do 5 m od ustálené hladiny	do 5 m od ustálené hladiny
doporučené údaje o množství k žádosti o povolení k nakládání s vodami		
Ø l/s	0,068	0,023
max. l/s nárazově (dle typu instalovaného čerpadla)	0,150	0,150
m <sup>3</sup> /měs.	180,0	60,0
m <sup>3</sup> /rok	2160,0	720,0

### Parametry nesaturevané zóny - vsakovací poměry lokality

Tato dílčí část hydrogeologického průzkumu je věnována likvidaci srážkových vod z okapových svodů plánovaných budov a srážkové vody z místních komunikací a zpevněných ploch vsakováním do geologického prostředí. Cílem je zhodnocení možnosti vsakování srážkových vod na zkoumaném území a posouzení případného vlivu na zamýšlené i stávající jímací objekty podzemních vod v okolí. Dále lze z vypočítaného koeficientu vsaku odhadnout ochrannou schopnost kvartérního pokryvu a zranitelnost využívané zvodně.

V rámci hydrogeologického průzkumu jsem dále provedl dvě polní vsakovací zkoušky (dle ČSN 75 9010) za účelem stanovení koeficientu vsaku ( $k_v$ ) svrchní části geologického prostředí. Zkoušky jsem realizoval na dvou průzkumných jádrových vrtech VS-1 a VS-2 (o průměru 220 mm). Výstupem průzkumu je zjištěný koeficient vsaku svrchní části geologického prostředí, stanovení podmínek realizace vsakování, doporučení pro návrh vsakovacích zařízení a v neposlední řadě odhad zranitelnosti útvaru podzemních vod v zájmovém území.

Pro stanovení koeficientu vsaku  $k_v$  jsem použil metodu výpočtu dle ČSN 75 9010. Zkouška byla provedena jako zkouška s proměnlivou hladinou, kdy byl po nalití vody sledován pokles hladiny v čase. Zjištění koeficientu vsaku ( $k_v$ ), který charakterizuje rychlost infiltrace do geologického prostředí ve vsakovacím zařízení za atmosférického

tlaku, je definován jako poměr přítoku do vsakovacího objektu a zkušební vsakovací plochy. Charakterizuje vsakovací i ochrannou schopnost geologického prostředí dané lokality.

Způsob výpočtu koeficientu vsaku dle uvedené normy nepovažují za zcela korektní, neboť u vsakovacích zkoušek s proměnlivou hladinou dochází postupně ke změně omočené „vsakovací“ plochy zkušebního objektu v průběhu testu. Z tohoto důvodu jsem vypočetl hodnotu  $k_v$  pro každých 10 cm poklesu hladiny a následně hodnoty zprůměroval. Zjištěné koeficienty vsaku jsou uvedeny v následujících tabulkách 16 a 17.

Tabulka 16. Specifikace a výsledek vsakovací zkoušky na vrtu VS-1.

čas od nálevu (s)	úroveň hladiny pod terénem (m)	výška vodního sloupce (m)	zkušební vsakovací plocha $A_{zk}$ (m <sup>2</sup> )	objem vsáklé vody skrze vsakovací plochu od nalití vody do vrtu $Q_{zk}$ (m <sup>3</sup> /s)	koeficient vsaku $k_v$ (m/s)
540	0,80	2,70	1,904	$7,04 \cdot 10^{-6}$	$3,70 \cdot 10^{-6}$
1860	0,90	2,60	1,835	$4,09 \cdot 10^{-6}$	$2,23 \cdot 10^{-6}$
3660	1,00	2,50	1,766	$3,12 \cdot 10^{-6}$	$1,76 \cdot 10^{-6}$
6180	1,10	2,40	1,697	$2,46 \cdot 10^{-6}$	$1,45 \cdot 10^{-6}$
10140	1,20	2,30	1,623	$1,87 \cdot 10^{-6}$	$1,15 \cdot 10^{-6}$
14400	1,30	2,20	1,559	$1,58 \cdot 10^{-6}$	$1,02 \cdot 10^{-6}$
17460	1,40	2,10	1,489	$1,52 \cdot 10^{-6}$	$1,02 \cdot 10^{-6}$
23640	1,50	2,00	1,420	$1,29 \cdot 10^{-6}$	$9,06 \cdot 10^{-7}$
39060	1,60	1,90	1,344	$8,76 \cdot 10^{-7}$	$6,25 \cdot 10^{-7}$
46620	1,70	1,80	1,282	$8,15 \cdot 10^{-7}$	$6,36 \cdot 10^{-7}$
81360	1,84	1,66	1,185	$5,33 \cdot 10^{-7}$	$4,49 \cdot 10^{-7}$
<b>průměrná hodnota koeficientu vsaku =</b>					<b><math>1,29 \cdot 10^{-6}</math></b>

Tabulka 17. Specifikace a výsledek vsakovací zkoušky na vrtu VS-2.

čas od nálevu (s)	úroveň hladiny pod terénem (m)	výška vodního sloupce (m)	zkušební vsakovací plocha $A_{zk}$ (m <sup>2</sup> )	objem vsáklé vody skrze vsakovací plochu od nalití vody do vrtu $Q_{zk}$ (m <sup>3</sup> /s)	koeficient vsaku $k_v$ (m/s)
18060	0,90	2,60	1,840	$2,10 \cdot 10^{-7}$	$1,14 \cdot 10^{-7}$
9360	0,96	2,54	1,793	$6,90 \cdot 10^{-7}$	$3,85 \cdot 10^{-8}$
<b>průměrná hodnota koeficientu vsaku =</b>					<b><math>7,64 \cdot 10^{-8}</math></b>

Na základě průběhu a výsledků vsakovacích zkoušek lze konstatovat, že vsakovací kapacita horninového prostředí, resp. propustnost nesaturované zóny je velmi nízká, jelikož přítomné spraše a sprašové hlíny lze označit jako velmi slabě až slabě propustné s třídou propustnosti VII-VI. Zjištěné hodnoty koeficientu vsaku  $k_v = 1,29 \cdot 10^{-6}$  m/s (pro vrt VS-1) a  $k_v = 7,64 \cdot 10^{-8}$  m/s (pro vrt VS-2) lze považovat za nepříznivé pro vsakování většího objemu srážkových vod. Ochrannou schopnost kvartérního pokryvu lze vzhledem k nízké propustnosti považovat za dobrou a zranitelnost využívané zvodně za nízkou.

Při hydraulických parametrech geologického podloží s nízkou vsakovací schopností a značné odvodňované plochy zahrnující střechy plánovaných budov a zpevněné plochy není možné z prostorových důvodů realizovat plošné vsakovací prvky potřebných rozměrů v rámci hranic zkoumaného pozemku. Z uvedeného důvodu navrhuji svody srážkových vod ze střech budov a plánovaných zpevněných ploch napojit na centrální dešťovou kanalizaci. K tomuto řešení je nutné získat souhlas a součinnost provozovatele kanalizace.

### **Analýzy vzorků podzemní vody**

V průběhu čerpací zkoušky jsem z vrtu KV-2 odebral v první i druhé depresi celkem dva vzorky podzemní vody. Podzemní voda je slabě alkalická (pH 7,2-7,5), tvrdá a středně mineralizovaná (734 mg/l). Antropogenní vliv je poměrně slabý, projevuje se zvýšenými koncentracemi dusičnanů (27,0 mg/l) a chloridů (38,8 mg/l). Mikrobiální znečištění nebylo prokázáno. Podzemní voda odebraná z vrtu KV-2 je po chemické stránce poměrně dobré jakosti. Nevyhovuje pouze doporučeným hodnotám vápníku a celkové tvrdosti (suma vápníku a hořčíku) stanoveným vyhláškou č. 252/2004 Sb. Zvýšený obsah jmenovaných prvků má vliv pouze na technologické a senzorické vlastnosti vody. Dále byla o jednu setinu překročena vyšetřovací úroveň celkové objemové aktivity radonu alfa (0,2 Bq/l) uvedená ve vyhlášce č. 422/2016 Sb., o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje.

Přehled naměřených hodnot výše uvedených ukazatelů je uveden v následující tabulce 18. Zvýrazněné jsou limitní hodnoty ukazatelů a jejich překročení. Kopie protokolů laboratorních analýz jsou součástí přílohy 9.

Tabulka 18. Fyzikální, chemické, organoleptické, radiologické, biologické a mikrobiologické ukazatele a jejich hodnoty (vrt KV-2).

Ukazatel	vyhláška č. 252/2004 Sb.				KV-2
	symbol	jednotka	limit	typ limitu	
1,2-dichlorethan		µg/l	3,0	NMH	<0,1
amonné ionty	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	mg/l	0,50	MH	<0,03
ametryn		µg/l	0,1	NMH	<0,01
antimon	Sb	µg/l	5,0	NMH	<2
arsen	As	µg/l	10	NMH	<2
atrazin		µg/l	0,1	NMH	<0,2
barva		mg/l Pt	20	MH	<0,5
benzen		µg/l	1,0	NMH	<0,1
benzo(b)fluoranten		µg/l	-	-	<0,005
benzo(k)fluoranten		µg/l	-	-	<0,005
benzo[a]pyren	BaP	µg/l	0,010	NMH	<0,005
benzo(g,h,i)perylen		µg/l	-	-	<0,005
beryllium	Be	µg/l	2,0	NMH	<0,2
bor	B	mg/l	1,0	NMH	0,12
bromdichlormethan		µg/l	-	-	<0,1
bromoforn		µg/l	-	-	<0,1
celková mineralizace		mg/l	-	-	734
DDE		µg/l	0,1	NMH	<0,002
DDE		µg/l	0,1	NMH	<0,005
dibromchlormethan		µg/l	-	-	<0,1
draslík	K	mg/l	-	-	2,1
dusičnany	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	50	NMH	27,0
dusitany	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	mg/l	0,50	NMH	<0,1
etylbenzen		µg/l	0,10	NMH	<0,1
fluoridy	F <sup>-</sup>	mg/l	1,5	NMH	0,3
heptachlor		µg/l	0,1	NMH	<0,005
hexachlorbenzen		µg/l	0,1	NMH	<0,002
hliník	Al	mg/l	0,20	MH	<0,1
hořčík	Mg	mg/l	10 20-30	MH DH	27,8
hydrogenuhlířitany	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	-	-	372
chemická spotřeba kyslíku manganistanem	CHSK-Mn	mg/l	3,0	MH	0,16
chloridy	Cl <sup>-</sup>	mg/l	100	MH	38,2
chrom	Cr	µg/l	50	NMH	<20
indeno(1,2,3-c)pyren		µg/l	-	-	<0,005
kadmium	Cd	µg/l	5,0	NMH	<0,3
KNK <sub>4,5</sub>		mmol/l	-	-	6,1
konduktivita	k	mS/m	125	MH	87,1
kyanidy celkové	CN <sup>-</sup>	mg/l	0,050	NMH	<0,005
lindan (gama HCH)		µg/l	0,1	NMH	<0,002
mangan	Mn	mg/l	0,050	MH	<0,02
měď	Cu	µg/l	1000	NMH	<20
methoxychlor		µg/l	0,1	NMH	<0,005
nikl	Ni	µg/l	20	NMH	<4
olovo	Pb	µg/l	10	NMH	<3
p,p' DDT		µg/l	0,1	NMH	<0,002
pH	pH		6,5-9,5	MH	7,5
polycyklické aromatické uhlovodíky	PAU	µg/l	0,10	NMH	<0,01

propazin		µg/l	0,10	NMH	<0,01
prometryn		µg/l	0,10	NMH	<0,01
rtuť	Hg	µg/l	1,0	NMH	<0,3
selen	Se	µg/l	10	NMH	<2
simazin		µg/l	<0,1	NMH	<0,02
sířany	SO <sub>42-</sub>	mg/l	250	MH	113
sodík	Na	mg/l	200	MH	12,5
terbutylazin		µg/l	<0,1	NMH	<0,01
terbutryn		µg/l	<0,1	NMH	<0,01
tetrachlorethen	PCE	µg/l	10	NMH	<0,1
toluen		µg/l	-	-	<0,1
trihalomethany	THM	µg/l	100	NMH	<0,1
trichlorethen	TCE	µg/l	10	NMH	<0,1
trichlormethan (chloroform)		µg/l	30	MH	<0,1
vápník	Ca	mg/l	30	MH	141
			40-80	DH	
vápník a hořčík	Ca + Mg	mmol/l	2-3,5	DH	4,7
vinylchlorid		µg/l	0,5	NMH	<0,2
xyleny		µg/l	-	-	<0,1
zákal		ZF (t,n)	5	MH	<0,5
železo	Fe	mg/l	0,20	MH	<0,04
ZNK <sub>8,3</sub>		mmol/l	-	-	1,1
<b>Mikrobiologické a biologické ukazatele</b>		<b>vyhláška č. 252/2004 Sb.</b>			<b>KV-2</b>
		<b>jednotka</b>	<b>limit</b>	<b>typ limitu</b>	
intestinální enterokoky		KTJ/100ml	0	NMH	0
escherichia coli		KTJ/100ml	0	NMH	0
koliformní bakterie		KTJ/100ml	0	MH	0
mikroskopický obraz – abioseton		%	10	MH	1
mikroskopický obraz – celkový počet organismů		jedinci/ml	50	MH	0
mikroskopický obraz – počet živých organismů		jedinci/ml	0	MH	0
počty kolonií při 22 °C		KTJ/ml	200	MH	0
		KTJ/ml	200	DH	
počty kolonií při 36 °C		KTJ/ml	40	MH	0
		KTJ/ml	40	DH	
<b>Radiologické ukazatele</b>		<b>Vyhláška SÚJB č. 422/2016 Sb.</b>			<b>KV-2</b>
		<b>jednotka</b>	<b>Nejvyšší přípustné a vyšetřovací úrovně objemové aktivity</b>		
radon	Rn	Bq/l	300	120	
radioaktivita alfa		Bq/l	0,2	0,21	
radioaktivita beta		Bq/l	0,5	0,092	

## 6.4 Návrh ochranných pásem vodních zdrojů

O klíčových legislativních opatřeních pro návrh ochranných pásem vodního zdroje pojednává kapitola 4. Podkladem pro návrh ochranných pásem vodního zdroje v Květnici jsou výše uvedené údaje zjištěné v rámci provedeného hydrogeologického průzkumu:

- popisné a technické údaje o vodním zdroji a odběru vody z něj;
- parametry podzemní (surové) vody využívané k úpravě na vodu pitnou odpovídají požadavkům vyplývajícím z vyhlášky č. 428/2001 Sb.;
- charakteristiky území navrhovaných ochranných pásem ve vztahu k hydrologickému povodí nebo hydrogeologickému rajónu vodního zdroje.

Návrh OPVZ zahrnuje zdůvodnění vedení pásem a analýzu rizik ohrožení vydatnosti, jakosti a zdravotní nezávadnosti.

### 6.4.1 Rizika ohrožení jakosti a vydatnosti vodního zdroje

Poměrně dobrá jakost podzemní (surové) vody souvisí s vyšší hloubkou hladiny podzemní vody pod povrchem terénu a poměrně dobrou ochrannou funkcí vrstev mocných a málo propustných spraší a sprašových hlín vyskytujících se nad hladinou podzemní vody.

#### Vlivy přírodních poměrů

Zastoupené proterozoické prachovce nemají významný negativní vliv na kvalitu podzemních vod, jelikož nejsou lehce rozpustné či průlinově propustné. Proto je možné horninové prostředí v lokalitě považovat z hlediska vlivu na kvalitu podzemních vod spíše za neutrální. Mezi ukazatele, jejichž zvýšené hodnoty vyplývají z jejich přírodního původu, patří zvýšená radioaktivita a tvrdost vody.

Významnou součástí přírodních podmínek jsou rozsah a tvar povodí v kombinaci s meteorologickými a klimatickými poměry. Ty se přímo promítají do momentálních zásob podzemní vody i její kvality. Průměrné roční úhrny atmosférických srážek a průměrná roční teplota vzduchu jsou v posledních letech těžko predikovatelné. Obecně klima spíše inklinuje k nepravidelnému střídání extrémů. Projevuje se to častějším střídáním povodňových stavů a sucha, velkými výkyvy teploty, nerovnoměrným výskytem sněhové pokrývky v jednotlivých zimních obdobích apod. Riziko negativních změn vydatnosti i kvality vodního zdroje lze očekávat zejména v období sucha. Dle ústních informací od místních obyvatel je vydatnost místních vodních zdrojů (domovních studní) sezónně negativně ovlivňována nízkým srážkovým

úhrnem. S těmito vlivy přírodního prostředí je třeba i nadále počítat, sledovat prognózy jejich vývoje, snažit se je co nejvíce poznat a v souladu s celostátními koncepčními dokumenty provádět vhodná opatření ke snížení jejich nepříznivých vlivů na koloběh a užívání vody. Nejedná se však o situace a podmínky, které by přímo souvisely s návrhem ochranných pásem vodního zdroje, ale opatřením vodoprávního úřadu obecné povahy.

### **Antropogenní vlivy**

Existence veřejné splaškové kanalizace a obecní čistírny odpadních vod v obci Květnice je z hlediska perspektivní dlouhodobé ochrany vodního zdroje příznivou okolností. Ohrožení kvality podzemní vody plošnými či liniovými zdroji znečištění je v současné době omezeno na zemědělsky obhospodařované pozemky a místní komunikace v blízkém i širším okolí zdroje. Srážkové vody budou odvedeny v rámci dešťové kanalizace, proto lze vyloučit jejich přímý vliv na kvalitu podzemních vod v zájmové lokalitě.

Zvýšené koncentrace dusičnanů (28,87 mg/l) jsou způsobeny pravděpodobně aplikacemi průmyslových dusíkatých hnojiv na vzdálených zemědělských polích v povodí zdroje, neboť značnou část hydrologického povodí zdroje a jeho infiltrační oblasti tvoří zemědělsky využívané pozemky. Obdělávaná pole se nacházejí ve vzdálenosti několika stovek až tisíců metrů od jímacích vrtů. Obecně lze nejnižší hodnoty očekávat na podzim a v zimě, naopak nejvyšší v jarních měsících (březen, duben). Vliv na koncentraci dusičnanů mají srážkové úhrny a sněhová pokrývka, které určují množství splachů ze zemědělských pozemků v povodí. Ochranná funkce poměrně mocných slabě propustných spraší a sprašových hlín je dobrá. Z těchto důvodů nárůst dusičnanů nad limitní hodnotu (50 mg/l) vlivem zemědělské činnosti na polích nepředpokládám. V rámci provedených rozborů nebyla dosažena mezní hodnota pro pitnou vodu ani pro surovou vodu kategorie A3 (50 mg/l).

Doporučuji pouze ohleduplné hospodaření na celé obhospodařované ploše v hydrologickém povodí vodního zdroje. Pokud by v období 5–10 let přesto k nárůstu došlo, bylo by nutné v rámci revize ochranných pásem vybrat část uvedené plochy polí, kde by bylo nutné hospodařit zcela odlišným způsobem.

Koncentrace chloridů v podzemní (surové) vodě se pohybují okolo 38–39 mg/l. Mírné nárůsty koncentrací lze očekávat v zimním a jarním období vlivem údržby vozovek v blízkém i širším okolí vodního zdroje. Mezní hodnota pro pitnou vodu (100 mg/l), ani pro surovou vodu kategorie A3 (250 mg/l) nebyla překročena.

Zejména v letním období (s minimem atmosférických srážek) se může projevit negativní vliv nadměrného využívání okolních vrtaných studní. V důsledku nevhodného využívání podzemních vod k jiným než pitným či hygienickým účelům (tj. zalévání zahrádek, mytí aut, napouštění bazénů a ostatních souvisejících činností) může být krátkodobě snížena vydatnost vrtů KV-2 a KV-4.

#### **6.4.2 Vedení hranic ochranných pásem vodního zdroje a opatření**

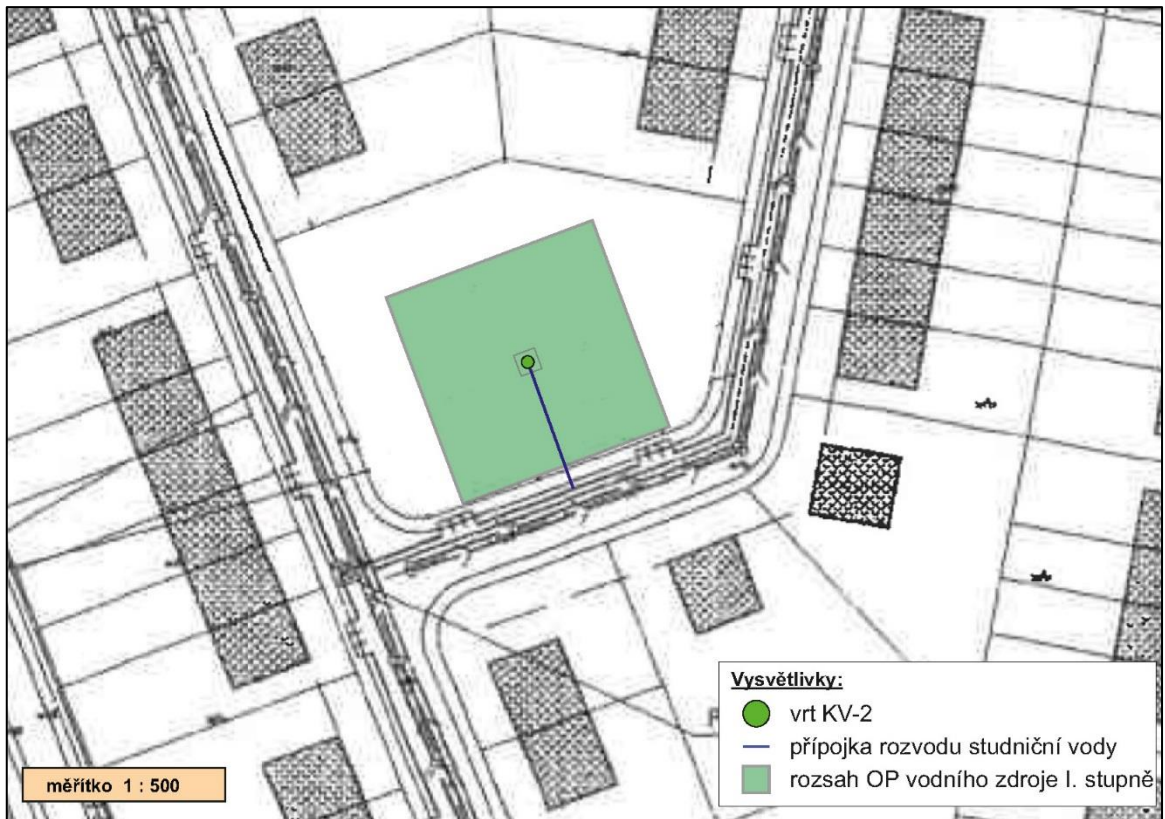
Případ jímacích vrtů KV-2 a KV-4 pokládám za odůvodněný pro vyhlášení ochranného pásma vodního zdroje I. stupně v rozsahu 20x20 m [ve smyslu zákona č. 254/2001 Sb. § 30 odstavce (3) d) a (4)]. Vzhledem k situaci v lokalitě nepovažuji za nutné zvláštní oplocení pro každý jímací objekt, doporučuji ovšem viditelné označení upozorňující na existenci OPVZ a uzamykání šachet, aby k nim měli přístup pouze osoby konající údržbu vodovodu. Toto provedení ochranných pásem I. stupně považuji za dostatečné s následujícím odůvodněním:

- okolí je přehledné, terén je udržován v rovině;
- proterozoický puklinový kolektor podzemní vody je izolován vně výstroje bentonitovou zátkou do hloubky 8 a 10 m p. t., čímž je chráněn proti kontaminaci povrchovou vodou kolem výstroje vrtů;
- vrty budou osazeny kvalitní ochrannou a uzamykatelnou šachtou (zatím ve fázi projektu);
- není patrné bezprostřední riziko ohrožení vydatnosti nebo kvality podzemní vody.

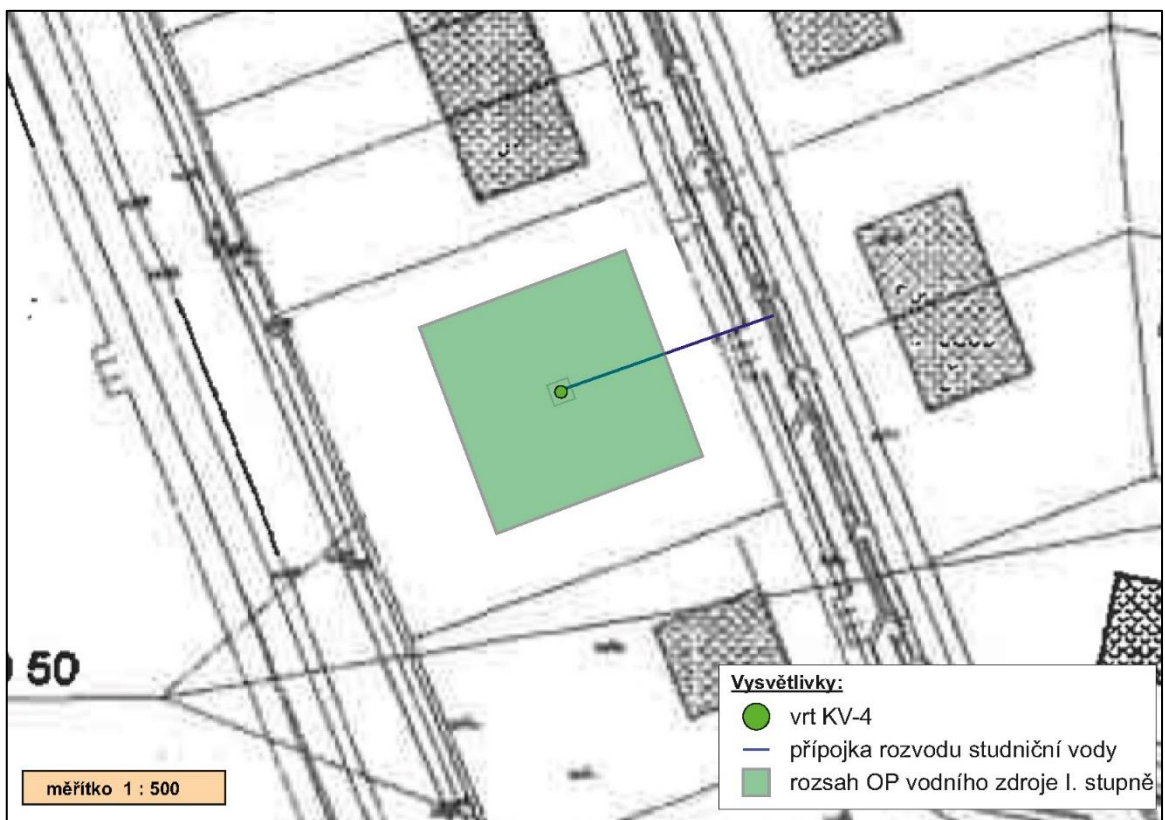
Navrhuji tedy vyhlášení ochranného pásma vodního zdroje I. stupně v celkovém rozsahu 20x20 m (tedy do vzdálenosti 10 m od jímacího objektu) pro vrty KV-2 a KV-4 (viz obrázek 17 a 18).

V prostoru OP I. stupně

- je nutné dodržovat všeobecná hygienická pravidla (skladování nebo používání toxických látek apod.);
- lze při výstavbě plánovaných rodinných domů a místních komunikací provádět zemní práce takovým způsobem, aby se výkopy nestaly místem stoku povrchových vod a po dokončení stavby nedocházelo ke snadnějšímu průniku povrchových vod do podložních vrstev geologického sledu;
- není dovoleno parkovat či umývat motorová vozidla (drobné opravy motorových vozidel lze provádět uvnitř garáže);
- je nutné udržovat travní porost, lze jej přiměřeně hnojit vyzrálým statkovým kompostem.



Obrázek 17. Schematický návrh rozsahu OP vodního zdroje I. stupně - vrt KV-2.



Obrázek 18. Schematický návrh rozsahu OP vodního zdroje I. stupně - vrt KV-4.

Vyhlašovat ochranné pásmo II. stupně pro objekty KV-2 a KV-4 považuji za zbytečné z těchto důvodů:

- infiltrační oblast podzemních vod se nachází převážně mimo zájmové území;
- hladina podzemní vody je napjatá, kolektor je izolovaný málo propustnou vrstvou kvarténních spraší a sprašových hlín – zranitelnost kolektoru je nízká;
- nedojde zbytečně k omezení využívání nemovitostí v ochranném pásmu a nutnosti náhrady vlastníkovi vybrané nemovitosti za prokázané omezení užívání nemovitosti.

#### **6.4.3 Návrh kontroly účinnosti ochranného pásma**

Účinnost ochranného pásma je třeba sledovat. Pravidelná kontrola stavu vymezeného OPVZ I. stupně musí být prováděna osobou oprávněnou k odběru podzemních vod či osobou k tomu písemně zmocněnou, a to minimálně v dvouměsíčním intervalu.

Toto opatření je nutné doplnit pravidelným provozním sledováním vydatnosti zdrojů a kvality surové vody před úpravou. Doporučená četnost i rozsah vzorků surové vody před úpravou je uvedena ve vyhlášce č. 428/2001 Sb. Pro vodárenské systémy produkující denně do 100 m<sup>3</sup> vody jde o jeden krácený rozbor ročně. Na základě místních podmínek a rizik navrhuji odebírat dva krácené rozборы surové vody ročně (podzim/jaro), které budou doplněny kvartálními analýzami vybraných ukazatelů možného znečištění dusičnany a chloridy.

Minimální roční četnost odběrů a rozsah analýz vzorků pitné vody uvádí vyhláška č. 252/2004 Sb. Pro vodárenský systém zásobující 50 až 100 obyvatel jsou stanoveny ročně minimálně dva krácené rozборы a jeden úplný rozbor pitné vody. Režim odběrů a analýz pitné vody daný vyhláškou doporučuji doplnit kvartálními analýzami vybraného ukazatele celkové objemové aktivity radonu alfa, což je rovněž v souladu s požadavky vyhlášky č. 422/2016 Sb., která pro daný objem vyrobené vody 1 000 až 10 000 litrů za rok stanovuje alespoň jeden vzorek za kalendářní rok.

Po uplynutí jednoho až dvou let plného využívání vodního zdroje (podle průběžných výsledků) by měla být posouzena stálost jakosti a množství jímaných vod, případně trendy vývoje. V případě příznivých výsledků lze četnost odběrů vzorků přizpůsobit požadavkům uvedené vyhlášky.

## 6.5 Závěry hydrogeologického průzkumu a doporučení

Průzkumnými pracemi byly zajištěny zdroje poměrně kvalitní podzemní vody, které s určitou mírou nejistoty splňují požadavky investora z hlediska vydatnosti. Záměr vybudovat vodní zdroj na pozemku parc. č. 543/1 v k. ú. Květnice s vydatností 0,091 l/s lze vzhledem ke zjištěným hydrogeologickým poměrům uskutečnit. Maximální využitelná vydatnost vrtu KV-2 činí 0,084 l/s při limitním snížení hladiny podzemní vody na úroveň cca 10,65 m p. t. Využitelná vydatnost vrtu KV-4 se pohybuje okolo 0,042 l/s při limitním snížení hladiny podzemní vody na úroveň cca 11,7 m p. t. Tyto spočtené hodnoty je však nutno ověřit, případně mírně upravit dle dlouhodobé využitelné množství nebo dlouhodobé kolísání jakosti sledované v rámci samotného provozu vodního zdroje.

Dále jsem navrhl ochranné pásmo vodního zdroje I. stupně v rozsahu odpovídajícím požadavkům v zákoně č. 254/2001 Sb. Od vymezení ochranného pásma vodního zdroje II. stupně bylo upuštěno z důvodu dostatečně mocné a málo propustné krycí vrstvy kvartérních zemín.

Před uvedením vodárenského systému do provozu doporučuji realizovat dlouhodobou čerpací zkoušku v režimu ustáleného proudění, jejímž vyhodnocením bude potvrzena odhadovaná vydatnost obou provedených vrtů KV-2 a KV-4. V rámci provozní čerpací zkoušky je nutné monitorovat úroveň hladin v okolních studnách. Dále je během této čerpací zkoušky nutné odebírat vzorky podzemní vody a analyzovat je v úplném rozsahu dle vyhlášky č. 428/2001 Sb., rozšířeném o rizikový ukazatel objemové aktivity radonu alfa.

V nejbližší době doporučuji osadit jímací vrty ochrannými uzamykatelnými šachtami. Stavebním úpravám by však mělo předcházet vypracování projektové dokumentace finální úpravy jímacích vrtů ke stavebnímu a vodoprávnímu řízení.

## 7 Diskuze

Z výsledků rešeršní i praktické části diplomové práce plyne zásadní shodné zjištění, že zajištění dobré kvality pitné vody v malých vodárenských systémech nelze chápat pouze jako jedno opatření vedoucí k bezproblémové distribuci pitné vody, ale jako celý soubor činností vedoucí k eliminaci aktuálních i potenciálních rizik. Kvalita distribuované pitné vody závisí na jakosti samotného vodního zdroje, na využití a ochraně území kolem jímacích objektů, na vhodném provedení jímacích objektů a na nastoleném režimu monitoringu podzemní (surové) vody. Významnou roli hraje rovněž způsob úpravy vody a její hygienické zabezpečení, zamezení sekundární kontaminaci (ve vodojemech či při distribuci) a v neposlední řadě efektivní monitoring vyrobené pitné vody. Předmětem mého zájmu jakožto hydrogeologa byl samotný zdroj podzemní vody, resp. jeho ochrana a účelné využití. Problematika úpravy vody a sekundární kontaminace přesahují rámec této diplomové práce.

Lze konstatovat, že předpoklad překročení ukazatelů jakosti podzemní vody se v praktické části této práce až na výjimky nenaplnil. Pouze z malé části se potvrdil vliv geologického prostředí na jakost podzemní vody. Šlo o zvýšenou tvrdost vody způsobenou nadlimitním obsahem vápníku a hořčíku. Vůbec se ovšem nepotvrdil předpoklad zvýšeného množství železa a manganu, které je v proterozoických horninách zcela běžné. Ve všech provedených stanoveních je obsah obou zmiňovaných prvků pod mezí detekce. Příznivým zjištěním je rovněž mikrobiální nezávadnost podzemní vody, na rozdíl od bakteriální kontaminace v mnohých malých vodních zdrojích. Navzdory všeobecnému trendu stále častějšího výskytu pesticidních látek v podzemních vodách, nebyl v rámci provedených analýz zjištěn výskyt žádné ze 14 vybraných pesticidních látek. Při analýze rizik konkrétního vodního zdroje jsem došel k závěrům, že dusičnany mohou do budoucna představovat jistý problém při udržení jinak dobré jakosti podzemních vod v zájmové lokalitě. Toto zjištění je v souladu s poznatky z rešeršní části této práce.

Při zpracování praktické části jsem postupoval následovně: V první fázi jsem se soustředil na opatření výchozích informací o zájmové lokalitě, ze kterých jsem si vytvořil základní představu o hydrogeologických podmínkách okolí a charakteru samotného vodního zdroje. Čerpal jsem z dostupných archivních dat, která jsem doplnil výsledky svých vlastních průzkumných prací. Průzkumné práce byly zaměřeny na zjištění charakteru kvartérního pokryvu a zejména na kvalitativní i kvantitativní aspekty podzemních vod v zájmovém území. Průzkumné práce zahrnovaly vyhodnocení mnou

provedených hydrodynamických čerpacích, stoupacích a vsakovacích zkoušek a dále odběry vzorků podzemní vody za účelem laboratorních rozborů.

Pomocí výpočtů hydraulických parametrů saturované zóny jsem stanovil odhadované využitelné množství podzemních vod v zájmové lokalitě a navrhl jejich optimální využití. Na základě zjištěných rizik, s přihlédnutím k charakteru nesaturované zóny a potenciální zranitelnosti zdroje, jsem rovněž navrhl rozsah ochranných pásem, včetně omezení některých činností v jejich prostoru. Nesaturovaná zóna je v rámci zkoumaného pozemku tvořena relativně mocnou vrstvou málo propustných spraší a sprašových hlín, z čehož jsem vyvodil vysokou ochrannou schopnost kvartérního pokryvu a nízkou zranitelnost podzemních vod. Stanovení ochranných pásem se v daném případě omezilo pouze na ochranné pásmo I. stupně. Usoudil jsem, že v dané lokalitě není účelné stanovovat ochranné pásmo II. stupně, neboť infiltrační oblasti, na kterých může docházet ke splachům dusičnanů a chloridů, se nacházejí až několik kilometrů od jímacích objektů.

Jaké hlavní obtíže mě provázely při realizaci hydrogeologického průzkumu a zpracování praktické části práce? Především to byl tlak investora na co nejkratší lhůtu dodání výsledků, který mi znemožnil podrobnější analýzu klimatologických a hydrologických poměrů v zájmovém území. Zejména proto jsem nemohl získat konkrétní představy o míře evapotranspirace, resp. infiltrace srážkových vod v jednotlivých obdobích, a s tím související dotaci podzemních vod ze srážek. Dále jsem byl nucen posunout průzkumný vrt KV-4 mimo pozici stanovenou na základě geofyzikálního průzkumu, jelikož jsem musel respektovat rozvržení místních komunikací a inženýrských sítí. Ačkoliv jsem vrt posunul po směru předpokládané diskontinuity jen o 15 m, nelze vyloučit vliv této skutečnosti na nižší vydatnost vrtu KV-4. Dalším negativním momentem byl fakt, že při čerpacích zkouškách nebylo dosaženo ustáleného proudění. Stalo se tak v důsledku příliš velkého odběru, který převyšoval dynamické zásoby podzemních vod v lokalitě. V průběhu vrtání vykazoval vrt KV-2 vydatnost okolo 4 až 5 l s<sup>-1</sup>, nicméně v průběhu čerpací zkoušky se ukázalo, že šlo pouze o statické zásoby podzemní vody a že doplňování podzemních vod omezují tektonicky méně porušené horniny vyskytující se v blízkém okolí vrtu KV-2. Odnáším si zkušenost, že je třeba střízlivěji posoudit a určit množství čerpané vody v rámci první deprese. Po závěrečném posouzení průzkumných prací bych zvolil zpočátku čerpací zkoušky menší čerpané množství, které bych zvýšil až po ustálení hladiny. Vydatnosti obou vrtů KV-2 a KV-4 jsem tudíž nemohl určit obvyklým způsobem, tj. z reálné křivky vydatnosti v režimu ustáleného proudění, nýbrž jsem je dopočítal podle teorie pro ustálené proudění – tedy dosazením zjištěného koeficientu propustnosti horninového prostředí a mnou stanoveného maximálního snížení. Za

nezbytné považuji ověřit reálné vydatnosti obou vrtů KV-2 a KV-4 prostřednictvím dlouhodobé provozní čerpací zkoušky, při níž dojde k ustálenému proudění podzemní vody v alespoň ve třech sníženích.

Cílem mnou navrhovaných opatření je zejména udržet stálou jakost podzemní vody. Otázkou je, v jakém horizontu lze ze zjištěných údajů zajistit stálost kvality podzemních vod v lokalitě. Zda budou tato opatření efektivní a dostatečná v dlouhodobém měřítku a zda se bude vodárenský systém řadit spíše mezi ty bezproblémové, můžeme posoudit až po uvedení vodárenského systému do provozu na základě sledované vydatnosti vodního zdroje a výsledků provozního monitoringu kvality podzemní vody.

Za největší riziko pro tento konkrétní vodní zdroj považuji sníženou vydatnost vodního zdroje v obdobích sucha. Domnívám se tak nejen na základě svých praktických zkušeností z okolních zdrojů v lokalitě, ale i na základě ústních informací od majitelů okolních studen, kteří si opakovaně stěžovali na výrazný pokles vydatnosti v letních měsících. Připouštím, že jde v tuto chvíli jen o domněnku, neboť nedisponuji žádnými konkrétními daty, časovými řadami údajů a už vůbec ne modelovými řešeními. Relevantní a důvěryhodná data lze získat komplexní analýzou dopadu sucha na hladinu podzemní vody, resp. na vydatnost. Předběžná opatření by bylo možné zavést opět pouze na základě dlouhodobých detailních záznamů odběrů podzemní vody a porovnání záznamů odběrů v období sucha s průměrnými odběry. Soudím, že řešení nedostatku vody v období sucha je možné nalézt vybudováním nových (či prohloubením stávajících) zdrojů, lepším režimem využití dosavadních studní. Za nezbytné vydání opatření obecné povahy a jeho dodržování ze strany obyvatel okolní zástavby.

Při realizaci hydrogeologických vrtů jsem dbal na správné provedení výstroje respektující hlavní přítoky vody do vrtů. Důraz jsem rovněž kladl na dostatečné provedení jílového těsnění, aby nedošlo ke kontaminaci zvodně vodou z povrchu. Provozovateli vodárenského systému doporučuji co nejdříve vybudovat uzamykatelné ochranné šachty pro oba jímací vrty. Dále doporučuji pravidelnou kontrolu stavu a údržbu vlastních jímacích objektů včetně dalších technických zařízení vodovodního systému.

Výsledky předložené v praktické části diplomové práce se podle mého názoru dají považovat za relevantní, nicméně ve vztahu k dlouhodobé exploataci vodního zdroje je nutné doplnit některé ne zcela ověřené údaje, jako je dlouhodobé využitelné množství nebo dlouhodobé kolísání jakosti. Tyto údaje se nejspíše zjistí v úvodní části provozu, kdy doporučuji nadstandardní sledování a vzorkování. Celkový čas na realizaci a

vyhodnocení hydrogeologického průzkumu v konkrétní lokalitě byl poměrně krátký a plynul z investiční strategie investora, která vyžadovala rychlé, byť jen orientační výsledky. Dalším aspektem byl omezený rozpočet, který neumožnil splnit mé původní požadavky na délku čerpacích zkoušek, režimní odběr podzemní vody a sledování kolísání jakosti podzemní vody.

## 8 Závěr

Tato práce pojednává o nepříznivé situaci v malých vodárenských systémech s důrazem na hydrogeologické aspekty problematiky. Rešeršní část obsahuje komplexní charakteristiku malých vodních zdrojů, analýzu jejich současného stavu a vývoje za posledních několik let. Práce poskytuje přehled hlavních příčin nižší kvality pitné vody distribuované malými vodárenskými systémy z pohledu hydrogeologa a nabízí možná řešení. Dále popisuje legislativní rámec veřejné dodávky pitné vody a uvádí výčet možných nedostatků v právních předpisech. Cíle rešeršní části diplomové práce byly splněny.

Praktická část se svou strukturou podobá závěrečné zprávě hydrogeologického průzkumu, který si kladl za cíl zajistit vodní zdroj v konkrétní lokalitě. V rámci praktické části práce byly vyhloubeny dva hydrogeologické vrtů do hloubky 30 m pod úroveň terénu. Dokumentován byl geologický profil a hlavní přítoky do obou vrtů. Kvartérní pokryvné útvary jsou v lokalitě zastoupeny eolickými sedimenty charakteru spraší a sprašových hlín, které dosahují mocnosti přibližně v rozmezí 7,20 – 9,60 m. Pod bází kvartérního pokryvu se nacházejí slabě metamorfované prachovce sedimentárního původu a proterozoického stáří. Jedná se tedy o typickou hydrogeologickou strukturu v prostředí krystalinických hornin, ve které je vodárensky nejvýznamnější přípovrchový kolektor podzemních vod s puklinovou propustností. V tomto kolektoru se vytváří zvedně s mírně napjatou hladinou podzemní vody, svrchu ohraničená stropním izolátorem v podobě spraší a sprašových hlín. Hladina podzemní vody byla v obou vrtech naražena právě na rozhraní kvartérního pokryvu a předkvartérního podloží, tj. v hloubkách 7,20 m, resp. 9,60 m pod úrovní terénu. V rámci diplomové práce byla stanovena využitelná vydatnost obou hydrogeologických vrtů, která v případě vrtu KV-2 činí  $0,084 \text{ l s}^{-1}$  (při limitním snížení hladiny podzemní vody na úroveň cca 10,65 m p. t.), v případě vrtu KV-4 se pohybuje okolo  $0,042 \text{ l s}^{-1}$  (při limitním snížení hladiny podzemní vody na úroveň cca 11,7 m p. t.). V rámci zkoumaného území bylo vyhodnocením čerpacích zkoušek zjištěno nehomogenní horninové prostředí v rozdílném stupni tektonického porušení. Tato nehomogenita se projevuje řádově rozdílnými hodnotami hydraulických parametrů v místech obou vrtů. Vrt KV-2 byl umístěn do prostředí prachovců s koeficientem hydraulické vodivosti v řádu  $3,96 \cdot 10^{-5}$  až  $5,93 \cdot 10^{-5} \text{ ms}^{-1}$  a transmisivitou v řádu  $1,02 \cdot 10^{-3}$  –  $1,53 \cdot 10^{-3}$ . V místě vrtu KV-4 jsou tyto hodnoty o více než řád nižší, koeficientem hydraulické vodivosti se pohybuje okolo  $1,59 \cdot 10^{-6} \text{ ms}^{-1}$  a transmisivita okolo  $2,71 \cdot 10^{-5}$ . Laboratorními rozbory byla zjištěna poměrně kvalitní podzemní voda chemického typu Ca-Mg-HCO<sub>3</sub>. Byl zjištěn poměrně slabý antropogenní vliv na jakost vody, projevující se zvýšenými koncentracemi dusičnanů (27,0 mg/l) a chloridů (38,8 mg/l).

Mikrobiální znečištění nebylo prokázáno. Podzemní voda odebraná z vrtu KV-2 je po chemické stránce poměrně dobré jakosti. Nevyhovuje pouze doporučeným hodnotám vápníku a celkové tvrdosti (suma vápníku a hořčíku) stanoveným vyhláškou č. 252/2004 Sb., dále byla o jednu setinu překročena vyšetřovací úroveň celkové objemové aktivity radonu alfa (0,2 Bq/l) uvedená ve vyhlášce č. 422/2016 Sb.

Cíle praktické části diplomové byly splněny v celém rozsahu, byly stanoveny podmínky pro odběr podzemních vod a využívání nového vodního zdroje. Součástí je rovněž analýza rizik ohrožení jeho vydatnosti i jakosti, dále návrh vedení ochranných pásem vodního zdroje a doporučení pro další kroky vedoucí k vybudování malého vodárenského systému poskytujícího kvalitní pitnou vodu spotřebiteli.

## 9 Použitá literatura

- ATHERHOLT, T.; FEERST, E.; HOVENDON, B.; KWAK, J.; ROSEN, J. D. *Evaluation of indicators of fecal contamination in groundwater*. Journal (American Water Works Association), 2003, 95.10: 119-131.
- BROWN, C. E. *Making small water systems strong*. Journal of Contemporary Water Research & Education, 2004, 128.1: 27-30. Dostupné také z: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1111/j.1936-704X.2004.mp128001005.x>
- BRUNNEROVÁ, Z.; DOBEŠ, P.; HOLÁSEK, O.; HRKAL, Z.; LYSENKO, V.; MÜLLER, V.; SKALICKÝ, J.; TOMÁŠEK, M.; ZEMAN, M. *Vysvětlivky k souboru geologických a ekologických účelových map přírodních zdrojů v měřítku 1: 50 000 List 13-13 Brandýs n. Labem - Stará Boleslav*. Praha: ČGÚ Praha, 1991. ISBN 80-7075-094-4
- CORTON, M.; BERG, S. *Benchmarking Central American water utilities. Utilities policy*. 2009, 17(3), 267-275. DOI: 10.1016/j.jup.2008.11.001. ISSN 09571787. Dostupné také z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0957178708000891>
- ČECH, J. *Zpráva o inženýrsko-geologickém a hydrogeologickém průzkumu na parcele k. č. 543/29, k.ú. Květnice, okres Praha - východ*. Praha: ČECH R., inženýrské služby, Praha, Signatura: GF P100429, 2001.
- ČÍŽEK, P. *Nová závazná ČSN 75 5115 - Jímání podzemní vody: Volný výklad technické normy*. [online]. 2011. Dostupné z: <http://www.studny.info>
- DAMOHORSKÝ, M. *Právo životního prostředí*. 3. vyd. Praha: CH Beck, 2010, 629 s. ISBN 978-80-7400-338-7.
- DATEL, J.; DUBÁNEK, V. *K budoucímu vývoji zdrojů pitné vody v ČR*. Sovak - časopis oboru vodovodů a kanalizací, 2000, roč. 9, č. 10. ISSN 1210-3039
- DATEL, J. V., HARTLOVÁ, L., HRABÁNKOVÁ, A., NOVOTNÁ, J., SLAVÍK, J. *Možnosti optimálního zajištění jakosti pitné vody v malých vodárenských systémech*. 2014. ISSN 2336-3533. Dostupné také z: <http://www.watermanagement.cz/e-VH/2014/eVH-2014-08.pdf>
- DATEL, J. V.; HARTLOVÁ, L.; HRABÁNKOVÁ, A.; PIŠTORA, Z.; KUČERA, J.; NOVOTNÁ, J.; PASTUSZEK, F. *Metodika komplexního řízení malých vodních zdrojů pro optimální zajištění jakosti pitné vody za běžných i mimořádných situací*. 2015, Ministerstvo zemědělství, odbor environmentálních podpor Programu rozvoje venkova.
- DAVISON, A.; HOWARD, G.; STEVENS, M.; CALLAN, P.; FEWTRELL, L.; DEERE, D.; WORLD HEALTH ORGANIZATION. *Water safety plans: managing drinking-water quality from catchment to consumer*. Geneva: World Health Organization, 2005. Dostupné také z: [http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/42890/1/WHO\\_SDE\\_WSH\\_05.06\\_eng.pdf](http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/42890/1/WHO_SDE_WSH_05.06_eng.pdf)
- DEMEK, J. *Obecná geomorfologie: Učebnice pro přírodovědecké fakulty*. Praha: Academia, 1987. ISBN (váz.).
- DUARTE, A.; CARDOSO, S.; ALÇADA, A. *Emerging and innovative techniques for arsenic removal applied to a small water supply system*. Sustainability, 2009, 1.4: 1288-1304. Dostupné také z: <http://www.mdpi.com/2071-1050/1/4/1288/htm>
- DZIEGIELEWSKI, B.; BIK, T. *Technical assistance needs and research priorities for small community water systems*. Journal of Contemporary Water Research & Education, 2004, 128.1: 13-20. Dostupné také z: <http://opensiuc.lib.siu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1086&context=icwre>

EDBERG, S. C. L.; RICE, E. W.; KARLIN, R. J.; ALLEN, M. J. *Escherichia coli: the best biological drinking water indicator for public health protection*. Journal of Applied Microbiology, 2000, 88.S1. Dostupné také z: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1111/j.1365-2672.2000.tb05338.x>

GARI, D. W.; KOŽÍŠEK, F. *Zdravotní důsledky a rizika znečištění pitné vody*. Zpráva o kvalitě pitné vody v ČR. Odborná zpráva za rok, 2010. Dostupné také z: [http://www.szu.cz/uploads/documents/chzp/voda/pdf/monit/voda\\_2014.pdf](http://www.szu.cz/uploads/documents/chzp/voda/pdf/monit/voda_2014.pdf)

HAIDER, H.; SADIQ, R.; TEFAMARIAM, S. *Performance indicators for small- and medium-sized water supply systems: a review*. Environmental Reviews. 2014, 22(1), 1-40. DOI: 10.1139/er-2013-0013. ISSN 1181-8700. Dostupné také z: <http://www.nrcresearchpress.com/doi/abs/10.1139/er-2013-0013>

HAVELAAR, A. H. *Application of HACCP to drinking water supply*. Food Control. 1994, 5(3), 145-152. DOI: 10.1016/0956-7135(94)90074-4. ISSN 09567135. Dostupné také z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/0956713594900744>

HELMER, R.; HESPANHOL, I. *Water pollution control: a guide to the use of water quality management principles*. 1997. Dostupné také z: [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/resourcesquality/watpolcontrol.pdf](http://www.who.int/water_sanitation_health/resourcesquality/watpolcontrol.pdf)

HUBÍKOVÁ, I. *Analýza rizik v zásobování obyvatelstva pitnou vodou regionu Hodonín*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta logistiky a krizového řízení, Ústav krizového řízení. Vedoucí práce Šafařík, Zdeněk, 2013, 62 s. Dostupné také z: <http://hdl.handle.net/10563/24727>.

HULSMANN, A. *Small systems large problems. A European inventory of small water systems and associated problems*. WEKNOW/ENDWARE, 2005. Dostupné také z: [http://www.nccph.ca/docs/05\\_small\\_water\\_systems\\_ver\\_june2005.pdf](http://www.nccph.ca/docs/05_small_water_systems_ver_june2005.pdf)

HULSMANN, A.; SMEETS, P. *Towards a guidance document for the implementation of a risk-assessment for small water supplies in the European Union. Overview of best practices*. Nieuwegein: KWR Watercycle Research Institute, 2011.

HRKAL, Z. *Sborník geologických věd.: Hydrogeologie, inženýrská geologie*. Praha: Česká geologická sužba, 2006, 23. vyd. ISBN 80-7075-660-8.

HRUDEY, S.; HRUDEY, J.; POLLARD, S. *Risk management for assuring safe drinking water*. Environment International, 2006, 32.8: 948-957. Dostupné také z: <https://dspace.lib.cranfield.ac.uk/bitstream/handle/1826/1519/>

ISOMÄKI, E, et al. *Operation and maintenance of small waterworks*. Finnish Environment Institute, 2008. Dostupné také z: [https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/38817/Operation\\_and\\_maintenance\\_of\\_small\\_waterworks.pdf?sequence=1](https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/38817/Operation_and_maintenance_of_small_waterworks.pdf?sequence=1)

JETEL, J. *Logický systém pojmů – základní podmínka formalizace a matematizace v hydrogeologii*. Geol. Průzk., 15, 1, 13, 1973, 17.

JETEL, J. *Určování hydraulických parametrů hornin hydrodynamickými zkouškami ve vrtech*. Ústřední ústav geologický, 1982.

KAŠNÝ, D. *Technologie úpravy surové vody na vodu pitnou*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta technologická, Ústav technologie a mikrobiologie potravin. Vedoucí práce Jan Růžička, 2010, 39 s. Dostupné také z: <http://hdl.handle.net/10563/11654>

KLAPKA, M. *Hydrogeologické vrty KV-2 a KV-4 na p. p. č. 543/1, k. ú. Květnice. Závěrečná zpráva hydrogeologického průzkumu*. Praha: G-servis Praha spol. s r.o., Signatura: GF P155690, 2017.

KRUSEMAN, G. P.; RIDDER, N. A. *Analysis and evaluation of pumping test data*. 1990.

- LEVÁ, B. *Květnice, pozemek p.č. 543/1. Geofyzikální průzkum*. Praha: INSET s.r.o., Divize geologie a geofyziky, 2017.
- KOŽÍŠEK, F.; KOS, J.; PUMANN, P. *Hygienické minimum pro pracovníky ve vodárenství*. Praha: SZÚ, 2006. Dostupné také z: [http://www.szu.cz/uploads/documents/chzp/voda/pdf/hm2010/HM2010\\_uvod.pdf](http://www.szu.cz/uploads/documents/chzp/voda/pdf/hm2010/HM2010_uvod.pdf)
- KOŽÍŠEK, F. *Problematika malých zdrojů pitné vody*. Vodní hospodářství, 2011, 6: 225-227.
- KOŽÍŠEK, F.; PAUL, J.; DATEL, J. V. *Zajištění kvality pitné vody při zásobování obyvatelstva pitnou vodou malými vodárenskými systémy*. VÚV TGM, Praha, 2013. Dostupné také z: <http://www.czwa.cz/os/2013OSVOD/Kozisek-Paul-Datel-Malevodarenskesystemy.pdf>
- KRÁSNÝ J. *Klasifikace transmisivity a její použití*. - Geol. Průzk., 28, 6, 177-179. Praha, 1986.
- KRÁSNÝ, J. *Podzemní vody České republiky: regionální hydrogeologie prostých a minerálních vod*. Česká geologická služba, 2012.
- KROČOVÁ Š.; LINDOVSKÝ M. *Slabé a silné stránky vodovodů pro veřejnou potřebu v 21. století*. Fakulta bezpečnostního inženýrství Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 2015. Dostupné také z: <http://www.smv.cz/res/data/051/005771.pdf?seek=5>
- KŘÍŽ, J.; BRUNNEROVÁ, Z.; ČECH, S.; DUŠEK, K.; HAVLÍČEK, V.; HOLUB, V.; HRKAL, Z.; KOVANDA, J.; LÍBALOVÁ, J.; MANOVÁ, M.; MAŠEK, J.; RUDOLSKÝ, J.; ŠALANSKÝ, K.; VALEČKA, J.; VEJNAR, Z.; VOLŠAN, V. *Vysvětlivky k základní geologické mapě ČSSR 1:25 000 13-133 Úvaly*. Ústřední ústav geologický, Praha. 1987.
- LÁNGOVÁ, E. *Technologická kontrola při úpravě surové vody na vodu pitnou*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta technologická, Ústav inženýrství polymerů, 2006, 53 s. Dostupné také z: <http://hdl.handle.net/10563/654>
- LOOS, R.; LOCORO, G.; COMERO, S.; CONTINI, S.; SCHWESIG, D.; WERRES, F.; BOLCHI, M. *Pan-European survey on the occurrence of selected polar organic persistent pollutants in ground water*. Water research, 2010. DOI: 10.1016/j.watres.2010.05.032. ISSN 00431354. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0043135410003404>
- MACDONALD, A.; DAVIES, J.; CALOW, R.; CHILTON, J. *Developing groundwater: a guide for rural water supply*. ITDG publishing, 2005.
- MICHALOVÁ, J.; GÜNTHEROVÁ, L. *Výskyt pesticidních látek ve zdrojích podzemní vody. Nádrže jako zdroj pitné vody: sborník celostátní konference*. České Budějovice: Dům techniky ČSVTS, 1990-2012. Dostupné online: <http://www.wet-team.cz/files/konference/2012/>
- MUSIL, M. *Pitná voda v kontextu práva*. Diplomová práce. Masarykova Univerzita, Brno, 2006.
- OLMER, M.; HERRMANN, Z.; KADLECOVÁ, R.; PRCHALOVÁ, H. *Hydrogeologická rajonizace České republiky*. Sborník geologických věd. hydrogeologie, inženýrská geologie, 2006, 23: 5-31.
- PASTUSZEK, F. *Studijní materiál hydrogeologie*. Nepublikovaný studijní materiál, 2014, 45 s.
- PITTER, P. *Hydrochemie*. 4. aktualiz. vyd. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2009, 579 s. ISBN 9788070807019.
- POKORNÝ, D.; PEŠEK, V.; MEDUNOVÁ, A. *Voda v ČR do kapsy*. 1. vyd. Praha: Ministerstvo zemědělství, 2006, 96 s. ISBN 80-708-4498-1. Dostupné on-line: [http://eagri.cz/public/web/file/21689/Voda\\_v\\_CR.pdf](http://eagri.cz/public/web/file/21689/Voda_v_CR.pdf)
- QUITT, E. *Klimatické oblasti Československa*. Academia, 1971.

SLAVÍČKOVÁ, K.; SLAVÍČEK, M.. *Vodní hospodářství obcí 1. Úprava a čištění vody*. Nakladatelství ČVUT, Praha, 2013, 6.

ŠEDA, S. *Jakost vody v malých zdrojích vody*. In: fingeo.cz [online]. 2016. Dostupné z: <http://www.fingeo.cz/index.php/geologie/zapisky-vesnickeho-hydrogeologa?id=77>

ŠIDLÍKOVÁ, L. *Kvalita místních zdrojů vody*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta technologická, Ústav analýzy a chemie potravin. Vedoucí práce Petr Humpolíček, 2012. Dostupné také z: <http://hdl.handle.net/10563/23479>

ŠRÁČEK, O.; DATEL, J.; MLS, J. *Kontaminační hydrogeologie*. 2. upr. vyd. Praha: Karolinum, 2002. 237 s. ISBN 80-246-0512-X.

TUHOVČÁK, L.; RUČKA, J.; KOŽÍŠEK, F.; PUMAN, P.; HLAVÁČ, J.; SVOBODA, M. *WaterRisk: analýza rizik veřejných vodovodů*. CERM Brno, 2010.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. *Small-scale water supplies in the pan-European region: background, challenges, improvements*. Copenhagen: World Health Organization, 2011. ISBN 978-928-9002-264. Dostupné z: [http://www.euro.who.int/data/assets/pdf\\_file/0018/140355/e94968.pdf](http://www.euro.who.int/data/assets/pdf_file/0018/140355/e94968.pdf)

WORLD HEALTH ORGANIZATION. *Guidelines for drinking-water quality*. 4. vyd. Geneva: World Health Organization, 2011, xxiii, 541 p. [cit. 2014-03-01]. ISBN 92-415-4815-0. Dostupné z: [http://whqlibdoc.who.int/publications/2011/9789241548151\\_eng.pdf](http://whqlibdoc.who.int/publications/2011/9789241548151_eng.pdf)

WORLD HEALTH ORGANIZATION. *Water safety planning for small community water supplies: step-by-step risk management guidance for drinking-water supplies in small communities*. Geneva: World Health Organization, 2012, 55 pages. ISBN 92-415-4842-8. Dostupné z: <http://www.rural-water-supply.net/ressources/documents/default/1-396-2-1348557783.pdf>

## Internetové a elektronické zdroje

ČESKÁ GEOLOGICKÁ SLUŽBA (ČGS). Webové mapové služby (WMS). [online]. 2018. [cit. 2017-08-20]. Dostupné z: <http://mapy.geology.cz/arcgis/services/Geologie/geocr50/MapServer/WMServer>

ČESKÝ ÚŘAD ZEMĚMĚŘICKÝ A KATASTRÁLNÍ (ČÚZK). *Geoportál ČÚZK. Prohlížečské služby – WMS*. [online]. 2018. [cit. 2017-08-20]. Dostupné z: (<http://geoportal.cuzk.cz>)

ČESKÝ STATISTICKÝ ÚŘAD (ČSÚ). *Údaje o vodovodech a kanalizacích za rok 2016 podle krajů*. [online]. 2018. [cit. 2017-04-12]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/csu/czso/vodovody-kanalizace-a-vodni-toky-2016>

MAPOVÝ PORTÁL STŘEDOČESKÉHO KRAJE. *Prohlížečské služby WMS*. [online]. 2018. [cit. 2017-08-20]. Dostupné z: <http://gis.kr-stredocesky.cz/>

NÁRODNÍ GEOPORTÁL INSPIRE. *WMS služby*. [online]. 2018. [cit. 2018-08-22]. ([http://geoportal.gov.cz/ArcGIS/services/<adresar>/<nazev\\_sluzby>/MapServer/WMServer](http://geoportal.gov.cz/ArcGIS/services/<adresar>/<nazev_sluzby>/MapServer/WMServer))

VÝZKUMNÝ ÚSTAV VODOHOSPODÁŘSKÝ (VÚV TGM). *Jakost surové vody*. Datum poslední revize 14.8.2013. [online]. (<https://heis.vuv.cz/data/webmap/datovesady/projekty/jakostsurovevody/default.asp>)

VÝZKUMNÝ ÚSTAV VODOHOSPODÁŘSKÝ (VÚV TGM). *WMS služby*. [online]. 2018. [cit. 2017-08-20]. Dostupné z: <https://heis.vuv.cz/data/webmap/wms.dll>

## **Legislativní dokumenty**

Směrnice Rady 98/83/ES ze dne 3. listopadu 1998 o jakosti vody určené k lidské spotřebě.

Vyhláška Ministerstva životního prostředí č. 137/1999 Sb., kterou se stanoví seznam vodárenských nádrží a zásady pro stanovení a změny ochranných pásem vodních zdrojů.

Vyhláška č. 252/2004 Sb., kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody.

Vyhláška č. 269/2009 Sb., kterou se mění vyhláška č. 501/2006 Sb., o obecných požadavcích na využívání území.

Vyhláška č. 422/2016 Sb., o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje.

Vyhláška Ministerstva zemědělství č. 428/2001 Sb., kterou se provádí zákon č. 274/2001 Sb., o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu a o změně některých zákonů (zákon o vodovodech a kanalizacích).

Vyhláška Ministerstva zemědělství č. 431/2001 Sb., o obsahu vodní bilance, způsobu jejího sestavení a o údajích pro vodní bilanci.

Vyhláška Ministerstva zemědělství č. 432/2001 Sb., o dokladech žádosti o rozhodnutí nebo vyjádření a o náležitostech povolení, souhlasů a vyjádření vodoprávního úřadu.

Zákon České národní rady č. 114/1992 Sb., o ochraně přírody a krajiny.

Zákon č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon).

Zákon č. 258/2000 Sb., o ochraně veřejného zdraví a o změně některých souvisejících zákonů.

Zákon č. 274/2001 Sb., o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu a o změně některých zákonů (zákon o vodovodech a kanalizacích).

## **10 Seznam příloh**

**Příloha 1.** Základní vodohospodářská mapa zájmového území

**Příloha 2.** Topografická mapa širšího okolí zájmového území

**Příloha 3.** Geologická mapa zájmového území

**Příloha 4.** Legenda ke geologické mapě zájmového území

**Příloha 5.** Pozice realizovaných průzkumných vrtů a okolních jímacích objektů

**Příloha 6.** Technicko-geologická dokumentace průzkumných vrtů

**Příloha 7.** Vyhodnocení čerpacích a stoupacích zkoušek na vrtech KV-2 a KV-4

**Příloha 8.** Ideový geologický řez v rovině JZ-SV

**Příloha 9.** Protokoly laboratorních rozborů podzemní vody

**Příloha 10.** Evidenční list geologických prací