

Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta,  
Ústav hydrogeologie, inženýrské geologie a užití geofyziky

**Proudění vody a vysoce propustné zóny  
v kolektorech východočeských křídových synklinál  
na příkladu jímacího území Litá a okolí**

Groundwater flow and highly permeable zones in aquifers of eastern part  
of Bohemian Cretaceous Basin based on Litá area and surroundings

Diplomová práce



**Vladimír Lachman**

Vedoucí práce: RNDr. Jiří Bruthans, PhD.

Praha 2010

Motto: „V hydrogeologii souvisí všechno se vším.“ ☺

*RNDr. František Pastuszek, únor 2008*

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím citované literatury.

V Praze 1. 9. 2010

---

Vladimír Lachman

## Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval všem, kteří mi poskytli svou pomoc během mých prací na diplomové práci.

Firmě DEKONTA a.s. musím velmi poděkovat za možnost zapojit se svou diplomovou prací do financovaného projektu „Doplnění rizikové analýzy: potenciální ohrožení jímacího území Litá – proudový systém, střední doba zdržení vod a původ CIU v jímacích vrtech území Litá“ a za financování analýz chlorovaných uhlovodíků z odebraných vzorků.

Za laskavé poskytnutí dat a svolení s jejich využitím děkuji společnosti Královéhradecká provozní, a.s., Městskému úřadu Nové Město nad Metují, firmě DEKONTA a.s., České geologické službě – Geofondu a RNDr. Davidovi Uličnému, CSc.

Za ochotu, radu a veškerou další pomoc děkuji:

Z firmy DEKONTA a.s. Mgr. Vojtěchu Musilovi, RNDr. Viole Altové, Aleši Mansfeldovi a Petru Šestákovi za veškeré administrativní kroky, technické zázemí a pomoc při vzorkování.

Z Královéhradecké provozní a.s. Blance Kameníkové a Václavu Kyrálovi za cenné informace a velmi prospěšnou spolupráci.

Z Městského úřadu Nové Město nad Metují pak Pavlovi Štrasovi za veškeré archivní materiály a administrativní úkony.

Závěrem pak děkuji svému školiteli, RNDr. Jiřímu Bruthansovi, PhD. za odborný dohled a cenné připomínky při zpracování dat a sepisování práce.

# Obsah

<b>Abstrakt</b> .....	<b>6</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>7</b>
<b>1. Úvod</b> .....	<b>8</b>
<b>2. Literární rešerše</b> .....	<b>9</b>
2.1. Puklinová vs. krasová porozita.....	9
2.2. Charakter sledovaného území .....	10
<b>3. Vybrané území</b> .....	<b>12</b>
3.1. Přírodní poměry.....	12
3.1.1. <i>Obecné poměry</i> .....	12
3.1.2. <i>Geologické poměry</i> .....	12
3.1.3. <i>Tektonické poměry</i> .....	15
3.1.4. <i>Hydrogeologické poměry</i> .....	16
3.2. Využití podzemní vody v oblasti .....	17
3.3. Kontaminace chlorovanými uhlovodíky .....	18
3.3.1. <i>Firma ELTON – Nové Město nad Metují</i> .....	18
3.3.2. <i>Bývalá čerpací stanice pohonných hmot – Dobruška</i> .....	24
3.3.3. <i>Bývalý závod Karosa – Jaroměř</i> .....	24
3.3.4. <i>Další zdroje znečištění</i> .....	25
3.3.5. <i>Kontaminace na jímacím území Litá</i> .....	25
<b>4. Metodika</b> .....	<b>26</b>
4.1. Výběr sledovaných vrtů .....	26
4.2. Odběr a zpracování vzorků .....	26
4.2.1. <i>Základní chemické a fyzikální parametry</i> .....	26
4.2.2. <i>Chlorované uhlovodíky</i> .....	27
4.2.3. <i>Střední doba zdržení</i> .....	27
4.3. Stopovací zkouška.....	28
4.4. Zobrazení a analýza dat .....	29
4.4.1. <i>Střední doba zdržení</i> .....	29
4.4.2. <i>Charakter a příbuznost vod</i> .....	29
4.4.3. <i>Mnohorozměrná analýza</i> .....	29
4.5. Vztah mezi vrty a zlomy .....	31

<b>5. Výsledky .....</b>	<b>32</b>
5.1. Primární data .....	32
5.1.1. Základní chemické a fyzikální parametry vod.....	32
5.1.2. Obsahy přirozených stopovačů .....	33
5.1.3. Koncentrace chlorovaných uhlovodíků .....	33
5.2. Střední doba zdržení.....	34
5.3. Koncentrace CIU v čase .....	36
5.4. Geochemické modelování .....	40
5.5. Charakter a příbuznost vod .....	40
5.6. Mnohorozměrná analýza .....	42
5.7. Stopovací zkouška.....	44
5.8. Vztah mezi vrty a zlomy .....	45
<b>6. Diskuze .....</b>	<b>50</b>
6.1. Zhodnocení stopovací zkoušky .....	50
6.2. Vztahy mezi vrty a vliv zlomů na proudění v oblasti .....	50
6.2.1. Hodnocení charakteru vod ve vrtech .....	50
6.2.2. Funkce poruchových linií .....	51
6.2.3. Šíření kontaminace .....	53
6.2.4. Proudění vysoce propustnými zónami .....	54
<b>7. Závěr.....</b>	<b>60</b>
<b>8. Literatura.....</b>	<b>62</b>
<b>9. Seznam příloh .....</b>	<b>70</b>

## Abstrakt

### Proudění vody a vysoce propustné zóny v kolektorech východočeských křídových synklinál na příkladu jímacího území Litá a okolí

V práci se zabývám charakterem vysoce propustných zón ve slínovcích a vápnitých pískovcích východočeských synklinál české křídové pánve. Zájmové území se nachází jihozápadně od Nového Města nad Metují a zahrnuje jímací území Litá, významný zdroj podzemní vody pro královéhradecký kraj. Podzemní vody oblasti byly v osmdesátých letech zasaženy kontaminací chlorovanými uhlovodíky. Na základě podrobného terénního vzorkování 23 vrtů a 4 lokalit povrchových toků z roku 2008 a z archivních dat o koncentracích kontaminantu ve vrtech hodnotím charakter a příbuznost vod. Vrty jsem rozdělil do skupin na základě chemických a fyzikálních parametrů. Ve druhé části práce se věnuji analýze vlivu zlomových linií na proudění v širší oblasti východočeských synklinál. Výsledky ukazují, že nejvydatnější vrty se nacházejí v prostorech mezi zlomy, což naznačuje nepropustnou funkci zlomů. Ze všech dostupných informací se pak zabývám otázkou vysoce propustných zón preferenčního proudění podzemní vody. Na základě pozorované rychlosti proudění, nerovnoměrného charakteru šíření kontaminace a odhalené bifurkace toku podzemní vody dokládám výskyt takovýchto zón v oblasti a poukazuji na skutečnost, že existence krasové porozity v kolektorech tvořených slínovci a vápnitými pískovci české křídové pánve není nereálná.

Klíčová slova: chlorované uhlovodíky, kontaminace, krasový systém, proudění, vysoce propustné zóny, zlomy

## **Abstract**

### Groundwater flow and highly permeable zones in aquifers of eastern part of Bohemian Cretaceous Basin based on Litá area and surroundings

In my thesis I deal with the character of highly permeable zones in marlstones and calcitic sandstones in east-bohemian synclines of the Czech Cretaceous Basin. My chosen area lies southwest of Nové Město nad Metují and within it lies Litá area, an important source of groundwater for Hradec Králové region. Groundwater in the area was contaminated in the 80's by chlorinated hydrocarbons. Based on a detailed field sampling of 23 boreholes and 4 sites of surface water performed in 2008 and on archival data on contaminant concentrations, I evaluate the character and relationships of groundwater from the boreholes. I grouped boreholes according to their chemical properties. In the second part of my thesis, I perform the analysis of the influence of faults on groundwater flow in a larger area of east-bohemian synclines. Results show that most yielding boreholes lie between fractures, not near them, which suggests the impermeable role of fractures. From available information I then try to answer the question of highly permeable zones of preferential groundwater flow. Based on the observed flow velocity, uneven nature of contaminant transport and discovered bifurcation of groundwater flow, I support the occurrence of these zones in the area and conclude that the existence of karstic porosity in aquifers formed by marlstones and calcitic sandstones in the environment of the Czech Cretaceous Basin is not unrealistic.

Keywords: chlorinated hydrocarbons, contamination, flow, fractures, highly permeable zones, karstic system

# 1. Úvod

Proudění podzemní vody v oblastech, kde se charakter propustnosti vymyká běžné praxi, patří v poslední době mezi poměrně často studované otázky. Jak přesně se tedy vyznačuje proudění podzemní vody v puklinových kolektorech pánevních oblastí a jak se liší od proudění v klasických krasových oblastech?

Ve své diplomové práci se zabývám charakteristikami proudění podzemní vody v oblasti Lité v blízkosti Nového Města nad Metují. Jedná se o oblast slínovců s puklinovou porozitou, u které nelze vyloučit rozšíření rozpouštěním (a tedy přítomnost krasové porozity), kde se naskytla možnost sledovat proudění podzemní vody v důsledku havárie v areálu firmy ELTON v osmdesátých letech a následné rozsáhlé kontaminaci chlorovanými uhlovodíky. Průběh sanace během dalších let tak poskytl řadu podkladů pro zhodnocení proudění podzemní vody a šíření kontaminace, které stále pokračuje. Znát charakter proudění podzemní vody v oblastech zasažených kontaminací je nezbytné pro další správný postup (Zanini *et al.* 2000).

Cílem diplomové práce bylo prozkoumat proudění v propustných zónách horninového podloží převážně slínovcového charakteru s proměnlivým petrografickým složením (detailní litologický rozbor níže, viz. kapitola 3.1.2.) v oblastech východočeských synklinál. Hlavní kladené otázky jsou tak následující.

1. Jaká je historie kontaminace oblasti chlorovanými uhlovodíky a její současný stav?
2. Jak se liší jednotlivé parametry podzemní vody v různých místech oblasti?
3. Jaká je souvislost mezi pozorovaným prouděním a zlomy v oblasti?
4. Vyskytují se v oblasti skutečně vysoce propustné zóny proudění podzemní vody?

Aby bylo možné zodpovědět dané otázky, věnuje se práce nejprve krátkému shrnutí historie kontaminace v oblasti. Dále se věnuji charakteru vod v oblasti Lité na základě dat ze vzorkovaných vrtů a hodnotím souvislost mezi prouděním a prostorovou strukturou zlomů nejen ve sledované oblasti, ale i v celém prostoru východočeských synklinál. Závěrem celé práce se pak ze získaných informací snažím odpovědět na otázku existence vysoce propustných zón.

## 2. Literární rešerše

### 2.1. Puklinová vs. krasová porozita

V monografii o vzniku jeskyní a krasových kolektorů (Klimchouk *et al.* 2000) je uvedena moderní definice krasového prostředí. Krasový systém je integrovaný systém přenosu hmoty v rozpustných horninách se strukturou propustnosti, kde dominují kanály vzniklé rozpouštěním horniny a organizované tak, aby usnadnily cirkulaci fluida. Z této definice nevyplývá požadavek, aby horniny měly nějakou specifickou litologii, ani není specifikován typ rozpouštění. Jedná se nicméně o definici z hydrogeologického hlediska poměrně jednoznačnou.

Zatímco v nekrasu je porozita předurčena (litologie, tektonika, zvětrání) a proudění se jí plně podřizuje, v krasu voda porozitu přetváří a postupně je proudění staženo do druhotně vzniklých krasových kanálů (Atkinson 1977). Krasové procesy ovlivňují charakter původních puklin (Muldoon *et al.* 2001), vliv původní porozity na regionální proudění je relativní a na její místo nastupuje porozita sekundární (Lee & Krothe 2003).

Z výše uvedeného je zřejmé, že zásadní odlišnost mezi krasovou porozitou a puklinovou porozitou spočívá v postupné reorganizaci proudové sítě a vznikem mnohem hůře predikovatelného systému proudění (Underwood 1999, Muldoon *et al.* 2001). Dále je zjevné, že mnohé jevy u nás označované za pseudokras (rozpuštění nečistých vápnatých hornin), lze podle této definice označit za krasové (Bruthans *et al.* 2001).

Je zřejmé, že v prostředích s velmi nízkou propustností horninové matrice má proudění puklinami zásadní význam (Rutqvist 1995), protože proudění v puklinách je rychlejší než v hornině (Hinds *et al.* 2003). Otázka, nakolik je proudění puklinami významné v prostředích s potenciálním krasovým charakterem, se stává předmětem řady studií (např. Novakowski & Lapcevic 1988, Michalski & Britton 1997, Muldoon *et al.* 2001, Cappa 2006, Lemieux *et al.* 2006, Weiss *et al.* 2006, Charmoille *et al.* 2009).

Většina studií se shoduje na tom, že různé poruchy mají zásadní vliv na proudění podzemní vody (Muldoon *et al.* 2001, Nastev *et al.* 2008, Charmoille *et al.* 2009), shodují se však také na tom, že ne všechny zlomy a diskontinuity jsou hydraulicky aktivní (Long & Billaux 1987, Cohen 1995, Nativ *et al.* 2003, Paillet 2003). Studie Weiss *et al.* (2006) ukázala, že z celkového počtu vymapovaných zlomů bylo pouze 13 % hydraulicky aktivních.

Dále je důraz kladen na rozdíl mezi vertikálními zlomy a horizontálními vrstevními rozhraními – právě vrstevní rozhraní jsou považována za hlavní hydraulické cesty (Sherrill 1978, Novakowski & Lapcevic 1988, Yager 1997, Zanini *et al.* 2000, Muldoon *et al.* 2001, Lemieux *et al.* 2009). Ve hře nicméně zůstává i jejich vhodné křížení, které může mít výrazný vliv (Nativ *et al.* 2003, Weiss *et al.* 2006). Zásadním faktorem je nicméně stále konektivita jednotlivých poruch (Muldoon *et al.* 2001, Paillet 2003, Cappa 2006, Lemieux *et al.* 2006).

Další věcí je pak množství obsažené vody v kolektoru, kdy hraje významnou roli porozita samotné horninové matrice (Maloszewski *et al.* 2002, Lee & Krothe 2003). Že je důležitá jak síť puklin, tak porozita matrice, poukazují již Warren & Root (1963). V pozdějších letech byl nicméně kladen velký důraz na DFN modely (discrete flow network), které se zabývaly především prouděním v puklinách (Andersson & Dverstorp 1987, Long & Billaux 1987, Cacas *et al.* 1990a, b). Kurtzman *et al.* (2007) sledovali pomocí čerpacích a stopovacích zkoušek na lokálním měřítku, nakolik DFN modely popisují pozorované proudění. Výsledných 66 %, kterými model skutečnosti odpovídá, však nepopisuje detailní prostorové charakteristiky proudění podzemní vody.

Jedním z klíčových faktorů při studiu vlivu heterogenit prostředí na proudění podzemní vody (ať už se jedná o primární či sekundární porozitu) je volba správného měřítka – je nutné vhodně zvolit oblast, na které bude proudění studováno (Muldoon *et al.* 2001).

Význam krasové porozity na lokálním měřítku (v rozsahu do desítek metrů) ukazuje studie Van Meir *et al.* (2007), kdy na jednom vrtu v puklinovém krasovém prostředí narazili na více než 120 nálezu poruch, zlomů, rozhraní a dutin, z nichž mnoho bylo ovlivněno krasovým rozpouštěním. Podařilo se identifikovat 3 hlavní přítoky do vrtu – ve všech případech se jednalo o průsečík zkrasovělých puklin.

Pro tuto práci byla zvolena měřítka dvě – nejprve výběr menšího počtu vrtů na lokálním měřítku oblasti Lité, poté výběr většího počtu vrtů na regionálním měřítku synklinál ústecké, novoměstské a kyšperské.

## 2.2. Charakter sledovaného území

Hlavní kolektor ve sledovaných synklinálách je tvořen silně propustnými slínovci a podobnými horninami (podrobněji viz níže, kap. 3.1.1). Jevy, které se zde vyskytují, je možné označit za krasové.

Jako první příklad je možné uvést vrt Lo 15/4 na prameništi Peklo, ležící na území Vysokomýtské synklinály, kde byl kamerou zjištěn oválný otvor o průměru 30 cm, ze kterého vyvěrala celá vydatnost vrtu (100 l/s – Žižka 1984).

Dále kolísání průtoku pramenů v synklinálách svým průběhem připomíná prameny krasové (velmi rychle reagují na srážky a mají v průběhu roku mnoho maxim). Co se dalších jevů týče, hydrogeologické průzkumy oblasti zjistily řadu ztrátových úseků vodních toků. Pauliš (1981) pak poukazuje na výskyt vrtů s anomální transmisivitou (např. vrt Cl 1 – Čistá s vydatností až 207 l/s) ve vysokomýtské synklinále.

Je také nutné zmínit práci Hynieho (1961), která na adresu slínovcových kolektorů uvádí, že největší prameny v křídě se vyskytují nikoli v oblastech budovaných kvádrovými pískovci, ale v takzvané „přechodní facii“ se zastoupením slínovců. Patří sem např. Petrovy prameny u Březové nad Svitavou v ústecké synklinále, kde v šesti soustředěných pramenech vyvěralo celkem 215 až 1000 l/s (Kříž 1968). Hynie (1961) považuje porozitu za krasovou; např. uvádí: „Z krasových dutin turonských vápnitých slínů u České Třebové vyvěrají prameny vaucluského typu.“

Vzhledem k tomu, že charakter porozity je velmi obtížně studovatelný (Berkowitz 2002, Pochon *et al.* 2008), stále existují dva krajní názory na proudění v této oblasti. Některé práce uvádějí (pseudo)krasovou propustnost (Panoš 1965, Pauliš 1981), jiné práce vysvětlují vysokou propustnost prostředí sítí otevřených trhlin v důsledku tektonického postižení slínovců (Herčík *et al.* 2003).

### 3. Vybrané území

Zájmové území, oblast Litá, se nachází v blízkosti Nového Města nad Metují. Mapa zájmového území se znázorněnými důležitými orientačními body, sledovanými vrty, odebíranými povrchovými toky a významnými zlomy je na obr. 1.

#### 3.1. Přírodní poměry

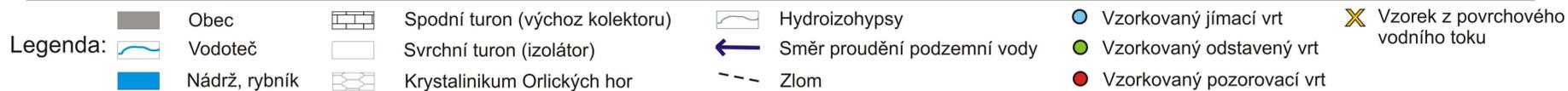
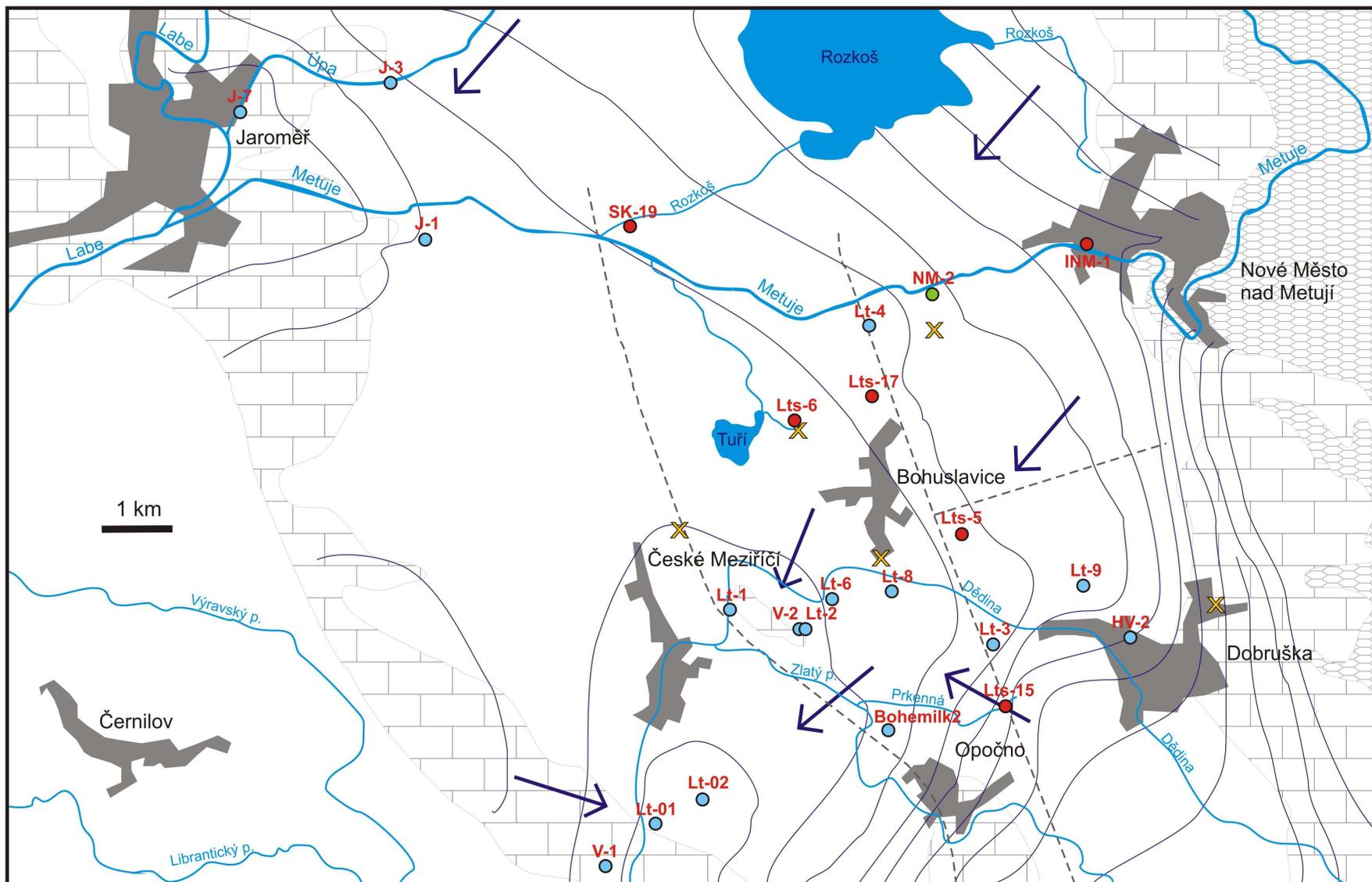
##### 3.1.1. Obecné poměry

Zájmové území se podle geomorfologického členění ČR nachází v provincii České vysočiny, soustavě České tabule a podsoustavě Východočeská tabule, na východním okraji celku Orlické tabule, podcelku Úpsko-Metujské tabule a okrsku Novoměstské tabule. Novoměstská tabule je plochá pahorkatina převážně v povodí Metuje, na jz. Labe a na jv. Dědiny. (Demek & Mackovčín 2006)

Klimaticky se řadí studované území do teplé klimatické oblasti, k okrsku A5 (dle atlasu Podnebí ČSSR, 1958), který je mírně teplý, vlhký, pahorkatinový a rovinový s mírnou zimou a poměrně krátkým trváním sněhové pokrývky. Průměrná roční teplota vzduchu v oblasti se pohybuje okolo 8,2°C, roční srážky dosahují cca 660 mm. Nadmořská výška se pohybuje okolo 300 m.n.m.

##### 3.1.2. Geologické poměry

Území, kterému se práce věnuje, patří do severovýchodního okraje české křídové pánve. V této oblasti došlo k porušení vrstevního sledu radiální tektonikou, projevující se vertikálními i horizontálními posuny dílčích bloků podél zlomových ploch, a tangenciální tektonikou, jejímž působením vznikl systém více méně souběžných synklinálních a antiklinálních struktur. Na místní geologické stavbě se podílí severní pokračování tzv. ústecké synklinály, jejíž osa pokračuje zhruba od Semechnice přes Bohuslavice k severozápadu. Její severovýchodní křídlo se zvedá do podhůří Orlických hor tvořených krystalickými břidlicemi a fylity náležícími do regionální jednotky novoměstských fylitů. Jihozápadní křídlo této synklinály se jen mírně zvedá do vyznívajících opočenské antiklinály, která strukturně odděluje ústeckou synklinálu od sousední synklinály jaroměřské. (Kněžek 1988a)



Obr. 1: Zájmové území. Přerušovanou čarou jsou vyznačeny zlomy (vlevo opočenská flexura, vpravo bohuslavický zlom).

Podloží celé oblasti tvoří paleozoické novoměstské fylity, které fungují jako izolátor spodního kolektoru zájmového území (Herčík & Herrmann 1987).

Sedimenty svrchní křídly jsou zde zastoupeny dvěma stratigrafickými členy, spodním a středním turonem. Spodní turon je představován bělohorským souvrstvím, jehož sedimentace byla v celém území souvislá (Herčík & Herrmann 1987). Je vyvinut jako jednotvárný komplex šedých písčitých slínovců, spongilitických slínovců a vápenců, slinitých pískovců, spongilitů a rohovců. Jeho sedimentace začíná měkkým písčitým slínovcem s podstatným podílem glaukonitu, pak nasedají písčité slínovce a spongility s rohovcovými polohami. Celý komplex je zakončen prachovitě písčitým spongilitickým slínovcem. (Kněžek 1969).

V povodí Dědiny nasedá bělohorské souvrství o celkové mocnosti 40-60 m přímo na krystalinický podklad, jelikož perucko-korycanské souvrství cenomanu chybí. Litologicky zastupuje bělohorské souvrství dva faciální typy (Soukup 1963). Východní typ tvoří inverzní sedimentační cyklus s pelity na bázi, které do nadloží s přibývajícím klastickým materiálem hrubnou a příležitostně kalcifikují. Měrný odpor vrstev stoupá z 20-30 ohmů na bázi souvrství na 150-250 ohmů v horní části. Bazální část souvrství tvoří prachovitě vápenité jílovce, horní část je složená z rigidních silicifikovaných vápnitých prachovců, případně jemnozrnných vápnito-jílovitých pískovců až spongilitů. Západní faciální typ bělohorského souvrství představuje monotónní sled vápnitých jílovců a slínovců. V nejsvrchnějších partiích se objevují spongilitické slínovce.

Výchozové partie spodního turonu jsou omezeny do cca 1-3 km širokého pruhu při východním vyzdviženém okraji pánve. Dále na západ se vrstvy spodního turonu zanořují pod střední turon a na povrchu se ve větší rozloze objevují až u Jaroměře v soutokové oblasti Labe, Metuje a Úpy. Posledním menším výchozem spodního turonu je oblast Zbytka podél meziříčské flexury. (Kněžek 1969, 1988b)

Střední turon (jizerské souvrství) pak tvoří hlavní povrchovou část celého území ústecké synklinály (Kněžek 1969). Jizerské souvrství je v západní části velmi blízké bělohorskému a jejich rozlišení je možné jen karotážně. Ve východní části je naopak hranice velmi ostrá, zde je jizerské souvrství tvořeno monotónním sledem slínovců (Herčík & Herrmann 1987). Střední turon je tedy představován komplexem slínovců a opuk s mírně proměnlivými obsahy jednotlivých složek (písku, jílu, karbonátu a spongilitu). Ve spodní části je tvořen střípkovitě rozpadavými slínovci, výše se pak nacházejí sedimenty tvrdší, převážně pak spongilitické

slínovce (Kněžek 1969). Jeho mocnost závisí na pozici v prostoru, kdy při zámku synklinály dosahuje až 80 m, naopak při okrajích vyklíňuje až k nule (Kněžek 1988b).

V nadloží křídly jsou uloženy kvartérní terasové říční sedimenty a závěje spraší. Nejvyšších mocností dosahují terasové uložení v náplavech Metuje cca do 10 m, ale spíše v místech, kde řeka protéká křídou. V těchto prostorách akumuluje (hlavně štěrkopísky, ale i balvanité materiály), při průtoku krystalinikem naopak ukládá málo nebo vůbec a údolí jsou v těchto místech užší (Kněžek 1988a).

### 3.1.3. Tektonické poměry

Celý spodnoturonský komplex je intenzivně rozpukán. V některých partiích jsou sedimenty spodního turonu výrazně podrceny, jako například u Dobrušky-Pulic. Jediný prostor spodního turonu uprostřed antiklinály se nachází v prostoru Zbytka severovýchodně od Českého Meziříčí o rozloze necelého 1 km<sup>2</sup>, protažením ve směru jv-jz. Další výskyt je pak zastižen vrty Lt-3 a Lts-3 v katastru obce Dobruška-Pulice, kde je skryt pouze kvartérními, převážně jílovitými horninami. (Kněžek 1969)

Střední turon je stejně jako spodní turon porušen sítí puklin, přesto byl několikrát při regionálních pracích shledán jako nepropustný. Příčinou bylo sepnutí jeho puklin nebo kolmatace jílovými deriváty matrice (Kněžek 1988b).

Poruchou zásadního významu je jílovická porucha. Od ní směrem na severozápad se pak vyčleňují dílčí tektonické jednotky, libřická antiklinála, jaroměřská synklinála, opočenská antiklinála a severní vyznění ústecké synklinály. V prostoru prameniště Litá a vodní rezervace Zbytka se pak nachází rameno vrásky spojující jaroměřskou synklinálu a libřickou antiklinálu, které má charakter prokazatelně přetržené flexury. (Kněžek 1969)

Západní rameno jílovické poruchy dislokuje tzv. opočenská flexura patrně v kombinaci s východnějším bohuslavickým zlomem (dříve též opařišťským) – ten porušuje východní křídlo této antiklinály (Halík 1992). Tím vznikla v okolí Úpy a Metuje výrazná deprese. Jedná se o pokračování brachysynklinály, jejíž osa se sklání od Žernova směrem k České Skalici – její nejhlubší doložená vrtná hloubka je cca 150 m n.m. (Halík 1992).

Podrobným geofyzikálním mapováním byl ověřen výrazný zlom severozápadně od Nového Města nad Metují (Kněžek *et al.* 1992, Herzig & Černý 1993, Herzig & Prášek 1994).

Jeho směr je přibližně sv – jz a křídové sedimenty jsou podle něho vertikálně pokleslé o cca 30 m (blok severně od zájmové oblasti).

Také během vrtných prací na vrtech HV-1 a HV-2 byla v hloubce cca 48 m p.t. zastižena výrazná porucha procházející vrty v pásmu až několika metrů (Polák & Musil 2006).

#### 3.1.4. Hydrogeologické poměry

Z hlediska hydrogeologického náleží lokalita do bilančního celku 9, rajónu 422 – podorlická křída (Herčík & Herrmann 1987, Herčík *et al.* 2003).

Bilanční celek 9 zahrnuje mělkou severovýchodní část východočeské křídové pánve. Zde je hlavním kolektorem spodní turon, též označovaný kolektor B. Kolektor A (cenomanský) v drtivé většině případů chybí. (Herčík & Herrmann 1987)

Rajón 422 vznikl sloučením tří dílčích oblastí, neboť všechny měly spojitou nádrž podzemní vody v kolektoru B. Plošné vymezení rajónu 422 je na severní a východní straně erozně-denudační. Rajón se přímo stýká na jihovýchodě s křídou kyšperské synklinály (BC 8 – rajón 426). Jižní hranici s ústeckou synklinálou (BC 7 – rajón 423) tvoří strukturně podmíněná rozvodnice podzemních vod, a hranice s vysokomýtskou synklinálou (BC 6 – rajón 427) je strukturně-tektonická. Jílovická porucha pak odděluje rajón od centrální části východočeské křídou (BC 10 – rajón 436) a hranici s rajónem 425 tvoří nepropustný výravský zlom. (Herčík & Herrmann 1987)

Kolektor B s průměrnou mocností kolem 30-40 m je tvořen rigidními prachovci a prachovitými spongilitickými slínovci až spongility. Průměrná hodnota transmisivity je 400 – 500 m<sup>2</sup>/den (Herrmann 2005). Mineralizace podzemních vod kolektoru dosahuje vyšších hodnot – 350-700 mg/l. Charakteristika je dána typem Ca-HCO<sub>3</sub>, což je dáno v generelu delší dobou zdržení v rozpustných vápnito-prachových horninách. Výjimečně se v bilančním celku 9 vyskytují i pramenné vývěry kyselých, ty se však v přímé souvislosti se zkoumaným územím nenalézají. (Herčík & Herrmann 1987)

Stropní izolátor kolektoru B tvoří nadložní jizerské souvrství. Proto má kolektor na značné části území napjatou hladinu (Kněžek 1969). Akumulační schopnost těchto hornin, jež je značná, je podmíněna zejména hustou sítí puklin, často široce rozevřených (Kněžek 1969). Při televizních prohlídkách vrtů (Lt-8a, Lt-9a, Lts-18) byly dokumentovány otevřené pukliny v kolektoru zejíjí přes průměr vrtu (0,3 m, Herrmann 2005).

Nejvýznamnějšími infiltračními oblastmi zmíněného rajónu jsou oblasti při jeho severním a východním okraji, jež jsou tektonicky vyzdviženy masívem Orlických hor. Hlavní drenážní

oblastí je okolí soutokové oblasti Labe, Úpy a Metuje u Jaroměře (Kněžek 1988c) a prostor jímacího území Litá na Dědině. Sběrná oblast jímacího území Litá vymezená okrajovými proudnicemi má plochu 250 km<sup>2</sup>, z čehož 39% tvoří výchozy kolektoru a 61% výchozy izolátoru jizerského souvrství (Herrmann 2005). Zvodnění kolektoru B tak lze rozdělit na: a) oblast stoku (východní okraj, strukturální elevace libřické a opočenské antiklinály), b) oblast nádrže podzemní vody s plochou hladinou o výšce 260-280 m n. m, která se přirozeně odvodňuje v soutokové oblasti Labe, Úpy a Metuje – tedy v oblasti Jaroměře – ve výšce 250 m n.m. (Halík 1992).

### 3.2. Využití podzemní vody v oblasti

Z vodárenského hlediska je (a byla) zkoumaná oblast významně využívána několika městy jako zdroj kvalitní pitné vody. Jedná se o oblasti Jaroměře, Nového Města nad Metují, Dobrušky a především Hradce Králové v jímacím území Litá, přičemž nejpoblematičtější historii prodělala právě oblast Lité, kde bylo především v osmdesátých letech dosaženo krajních možností lokality. Jímací území Litá bylo jako nejvýznamnější vodárenské území celé oblasti intenzivně využíváno již od konce šedesátých let. Na základě objednávky tehdejšího VaK Hradec Králové byl zahájen vrtný průzkum v letech 1967-8. Při vrtných pracech byl zastižen artézský obzor prakticky ihned po proražení kvartérní jílové vrstvy na vrtech Lt-2, Lt-3, Lt-4 a Lt-7 (Kliner & Novák 1987). Při dalším hloubení se přetok většinou zvyšoval, nejvyšší hodnoty dosáhl na vrtech Lt-6 52 l/s a Lt-7 49 l/s. Celkový přetok na lokalitě Litá před skupinovou čerpací zkouškou tak byl 118 l/s a to součtem vrtů Lt-1, Lt-2, Lt-3, Lt-6 a Lt-9. Přetékały i vrty V-1 a V-2, ty však nebyly čerpány ani měřeny (Kliner & Novák 1987).

Od roku 1978 se tedy začalo postupně rozšiřovat využití vodárenských vrtů, rostla exploatace a naplno se celá struktura začala využívat v roce 1985, kdy průměrné odběry na Lité narostly na 280-300 l/s (Kliner & Novák 1987). Dále zpráva Kliner & Novák (1987) uvádí, že při odběru 300 l/s dochází k indukci z povrchových toků cca 50 l/s a že návrh využitelných zásob dle Kněžka (1969) byl nadhodnocený cca o 200-250 l/s.

Kompletní suma odběrů podzemní vody z celého kolektoru B zkoumané oblasti v letech 1976-89 narostla ze 183 na 577 l/s (Herrmann 1990).

Herrmann (1990) dále uvádí, že soustředění nárůstu odběrů v povodí Dědiny se projevuje snížením příronu podzemních vod do toku Dědiny a okolních náhonů o cca 245 l/s, což

odpovídá 298 l/s v prameništi Litá v roce 1989. Vlivem čerpání vrtů Lt-2, Lt-6 a Lt-8 docházelo v přílehlém úseku vodoteče k indukci povrchové vody, a tedy negativnímu ovlivnění kvality vody podzemní v prameništi Litá (zvýšení dusičnanů a bakteriologického znečištění). To potvrzuje výsledky zprávy Kliner & Novák (1987), která konstatuje, že došlo k inverznímu charakteru proudění, kdy Dědina 50-ti l/s dotovala čerpací linii. Proto bylo navrženo snížení exploatace.

Nicméně zpráva Klír (1992) uvádí, že pokračující přečerpávání z vrtů Lt-01, Lt-02 a V-1 by při stávajícím čerpání vedlo nepochybně k zániků čerpání obou zdrojů v Opočně a pravděpodobně i v Dobrušce.

Důsledky těchto aktivit pak hodnotí zpráva Herrmann (1995), která se zabývá přírodní rezervací Zbytky. Uvádí, že během 40 let čerpání dochází ke změně druhů přítomných ve fytoocenologických společenstvech z rostlin vlhkomilných ve prospěch suchomilných, což svědčí o trendu postupného vysoušení mokřadu. K vysoušení mokřadu dále přispívají hluboká a upravená koryta Dědiny a Lité, která urychlují odtok vody z lokality, či zalesnění topoly a olšemi. Nicméně, ani tak nebyl periodický vývěr artézských vod potlačen.

### 3.3. Kontaminace chlorovanými uhlovodíky

Přečerpávání v jímacím území Litá však nebyl jediný problém, který se ve zkoumaném území vyskytl. V cca 10 kilometru vzdáleném Novém Městě nad Metují, respektive v jeho průmyslové oblasti, došlo v roce 1985 ke kontaminaci horninového prostředí chlorovanými uhlovodíky (Kněžek 1988b). Bohužel se následně v roce 1992 chlorované uhlovodíky objevily i na některých vrtech v jímacím území Litá, proto se začalo přemýšlet nad spojitostí těchto dvou událostí.

Později se však ukázalo, že kontaminace chlorovanými uhlovodíky se objevila v blízkém okolí také v areálu bývalého závodu Karosa v Jaroměři (VÚV 2009) a následně i na místě bývalé čerpací stanice pohonných hmot v Dobrušce (Řízek & Hocke 1999).

#### 3.3.1. Firma ELTON – Nové Město nad Metují

Kontaminace v areálu firmy ELTON byla zjištěna náhodně počátkem roku 1988 při výkopu základové rýhy pro plánovanou přístavbu nové haly. Během zmíněných prací se na hladině podzemí vody, pod jejíž úroveň byla rýha vyhloubena, objevila několikacentimetrová

vrstva ropných látek. Analytickými pracemi byla ověřena přítomnost řezných olejů, jež se v závodě používaly. Jednalo se o dlouhodobý únik z prostoru, jenž sloužil pro deponování kovových třísek (Kněžek & Debeřová 1988). Prakticky ihned se začal projednávat rámcový projekt sanačního opatření. Řešení kontaminace bylo přiděleno tehdy ještě státní firmě Vodní zdroje Praha, závod Bylany, která navrhla projekt řešení, podle něhož se vyhloubila první síť monitorovacích vrtů. Během vzorkování pro zjištění případné kontaminace deriváty z do té doby hlavního známého polutantu bylo ze vzorku z ověřovací čerpací zkoušky po vystrojení vrtu EL-1 dne 29. 9. 1988 zjištěno mnohem nebezpečnější a mnohem masivnější znečištění podzemních vod nepolárními odmašťovacími tetracloroethylenem (PCE) a trichlorethylenem (TCE) (Kněžek 1988b). Počáteční stav před spuštěním sanace byl cca 30 mg/l chlorovaných uhlovodíků, takže naměřené hodnoty překračovaly limit pro pitnou vodu 10 µg/l až o čtyři řády (Kněžek *et al.* 1990).

Jelikož na následné valné hromadě zástupci firmy ELTON popřeli, že by se v jejich závodě takové přípravky používaly, bylo proto okresním vodohospodářským orgánem rozhodnuto o povinnosti potenciálních znečišťovatelů doložit vliv svých provozů na kvalitu podzemí vody vlastními indikačními vrty. Kromě firmy ELTON byly tedy v podezření ještě provozovny firem Detecha, ČSAD, Stavostroj a čerpací stanice Benzina. V souvislosti s tímto opatřením se v rámci sanačního procesu navrhlo ověření případného znečištění nejbližších vodárenských zdrojů podzemní vody (Kněžek 1988a), ovzorkovány byly následně vrty J-1 Starý Ples, J-7 Jaroměř, NM-1 a NM-2 Šestajovice a Lt-4 Dolsko (Kněžek *et al.* 1989). Výsledky tohoto monitoringu byly poměrně nepříznivé. Jaroměřské vodní zdroje byly shledány jako neznečištěné, bohužel vrty v Šestajovicích a Dolsku jeví známky znečištění, z čehož NM-1 a NM-2 dokonce mírně překračovaly limity pro pitnou vodu (Kněžek *et al.* 1989). Dále tato zpráva uvádí významnou korelaci mezi dešťovými srážkami a obsahem polutantů v podzemní vodě. Pravděpodobnost vymývání z nenasycené zóny je tedy vysoká.

V té době byla dokončena základní síť monitorovacích vrtů okolo dotčené průmyslové zóny, respektive možných původců kontaminace. Celkem se vyhloubilo 14 monitorovacích vrtů (firma ELTON vrty EL 1-6, Detecha vrty DE 1-3, Stavostroj SS 1-2, ČSAD vrty AD 1-2 a Benzina vrt BE-1). Díky danému vrtnému monitoringu byla zjištěna nová tektonická linie, která probíhala mezi vrty EL-1, SS-2 a SS-3 na jedné straně a prostorem s ostatními vrty EL v blízkosti areálu firmy ELTON a vrtem SS-1 na straně druhé. Předpokládalo se její značný vliv na proudění podzemí vody v lokálním měřítku (Kněžek *et al.* 1989). Firma Vodní Zdroje pak během následujících prací vyvrtala další 4 monitorovací vrty. V roce 1991 byl pak v předpolí vodárenských vrtů NM-1 a NM-2 vyvrtán monitorovací vrt INM-1. Jeho pozice

byla navržena z předešlého geofyzikálního průzkumu do místa poklesového zlomu, v němž se předpokládal zvýšený průtok podzemní vody díky vodivému charakteru tektonické linie (Kněžek *et al.* 1992). Vrt ovšem nevykazoval nijak zvýšený průtok, ani nepřekračoval limity pro znečištění. Očekávání dané interpolací okolních vrtů se tedy nepotvrdilo (Kněžek *et al.* 1992).

Během roku 1989 se díky započaté sanaci snížily koncentrace chlorovaných uhlovodíků na jednotky až desetiny mg/l (Kněžek *et al.* 1990). Dotčená zpráva také nepřímo poprvé označila za nejpravděpodobnějšího viníka havárie firmu ELTON, když vyloučila ostatní podniky a lokalizovala ohnisko do areálu firmy ELTON. Vodní zdroje prováděly dekontaminaci sanačním čerpáním až do 31. 10. 1991, kdy dohled nad asanační převzala firma KAP s tím, že denně se odebíralo od 25 do 80 m<sup>3</sup> podzemní vody, v závislosti na kolísání hladin (Kněžek *et al.* 1992). Firma KAP měla v úmyslu zefektivnit celou sanaci a přesněji lokalizovat ohnisko kontaminace pomocí atmogeochemického polního výzkumu (Černý 1991). Projekt v tomto znění byl okresním vodohospodářským orgánem odsouhlasen, což přimělo firmu ELTON konečně přiznat používání perchlorethylenu (PCE) k odmašťování kovových součástí (Herzig & Černý 1993). Koncentrace PCE během prvního roku sanace firmou KAP kolísaly od 0,3 po 9,3 mg/l s průměrem pohybujícím se okolo 2,35 mg/l. Dle zprávy Herzig & Černý (1993) provedený atmogeochemický průzkum potvrdil domněnku o možném původci kontaminace, když lokalizoval ohnisko maximálních koncentrací do blízkosti skladu chemikálií firmy ELTON. Zde byl také na základě polního průzkumu odvrtán nový vrt EL-11. Koncentrace chlorovaných uhlovodíků v půdním vzduchu dosahovaly hodnot 1,87 g/m<sup>3</sup>, pro úplnost je třeba uvést, že hranice vysokého znečištění je již od 0,5 g/l. Dále bylo atmogeochemií zjištěno, že vysoký podíl na znečištění mají i TCE a DCE (dichlorethylen), které jsou produkty dechloračního cyklu hlavního kontaminantu, což poukazuje na dlouhodobé masivní znečištění (Herzig & Černý 1993). Ve zprávě Herzig & Černý (1993) je jako první poukázáno na nutnost kontroly hlavního vodárenského zdroje využívajícího zásoby podzemní vody, jmenovitě oblasti Litá u Českého Meziříčí.

Na základě jednání z konce roku 1991 začaly v roce 1992 probíhat u Šestajovic práce Aquatestu – Stavební geologie a.s., Praha na průzkumných vrtech SK-19 a SK-19A, které měly za cíl ověřit vydatnost a kvalitu vody vrtů pro jejich hospodářské využití (Halík 1992). Při dlouhodobé čerpací zkoušce, která byla na vrtech prováděna, byly pravidelně odebírány vzorky na zjištění kvality podzemní vody, z nichž vyplynulo, že i v těchto vrtech je zvýšený obsah chlorovaných uhlovodíků nad limit tehdejší normy pitné vody (cca 12 µg/l). V rozporu s tím se však na vrtu Lt-4 kvalita vody zlepšovala, v té době již zjištěné hodnoty byly pod 0,4

µg/l (Halík 1992). Díky nálezu ze Šestajovic bylo v roce 1992 nařízeno pravidelné sledování vodního zdroje Litá (Herzog 1993). Zpráva ze sledování Aquatestu za rok 1993 (Herzog 1994a) poukazuje na první nástup znečištění ve vrtu Lt-6 v oblasti Litá na začátku roku 1993, kdy limity pro PCE povolenou mez pro pitnou vodu překročily.

Firma KAP se během dekontaminace potýkala s nedostatečnou vydatností vrtů, proto se přešlo na systém přerušovaného čerpání (Herzig 1993a). Výkyvy v obsahu chlorovaných uhlovodíků v podzemní vodě byly vysvětleny zvýšenými sezónními přísunými srážek. Současně s tím na ostatních sledovaných vrtech Detechy, Stavostroje, ČSAD a Benziny prováděla firma Vodní zdroje monitoring jakosti podzemní vody (Kněžek & Polesná 1993). Během něho byly zjištěny vyšší koncentrace na vrtech Stavostroje, který s firmou ELTON sousedí; tyto zvýšené koncentrace byly přisouzeny výpadkům při sanačním čerpání firmy KAP.

Firma KAP (Herzig 1993b) provedla druhé kolo atmogeochemického průzkumu v druhé polovině roku 1993 vzhledem k tomu, že hodnoty vzorkované podzemní vody nadále překračovaly 10 mg/l PCE. Cílem tohoto průzkumu bylo zjistit výchozí podmínky a nejefektivnější lokalizaci pro následující ventingovou zkoušku, která byla následně umístěna do nejbližšího okolí ohniska znečištění. Při ventingové zkoušce provedené ve dnech 18.11.-1.12.1993 byly zjišťovány následující parametry: propustnost zeminy pro vzduch, vliv podtlaku horniny na vzednutí hladiny podzemní vody, objem čerpaného půdního vzduchu, koncentrace kontaminantu v odsávaném půdním vzduchu, teplota a vlhkost vzduchu a dosah deprese způsobený odsáváním půdního vzduchu. Počáteční hodnoty chlorovaných uhlovodíků v půdním vzduchu byly kolem 1,6-1,9 g/m<sup>3</sup>, přičemž za první den klesly na desetiny g/m<sup>3</sup> a po týdnu na úroveň, kdy je tato metoda neúčinná. Během tohoto období bylo zároveň rozšířeno čerpání na sanačních vrtech, čímž se zamezilo šíření kontaminantu do prostoru. Za týden se vyčerpalo 8,5 kg polutantu, což představuje třetinu množství, které bylo klasickou metodou vyčerpáno za rok. Na základě výsledků této zkoušky bylo navrženo pokračovat ve stávajícím čerpání podzemní vody kombinovaném s periodickým ventingem. Předpokládané ukončení sanace pak bylo stanoveno na rok 1995. (Herzig 1993b)

V roce 1994 provedeny na náklady firmy KAP dvě ventingové zkoušky v termínu 14.-25.3. a 11.-21.4. Během obou zkoušek bylo vytěženo celkem přes 4 kg polutantu a obsah polutantu v půdním vzduchu klesl až na 49 mg/l (Herzig & Prášek 1994). Venting se ukázal jako velmi dobré doplnění sanačního opatření.

Co se týče sledování prováděného firmou Vodní zdroje (Kněžek & Polesná 1994), ve všech sledovaných vrtech – u závodů Stavostroj, ČSAD, Benzina a Detecha – se koncentrace chlorovaných uhlovodíků stabilizovaly na nízkých hodnotách v průběhu roku 1994.

Maximální hodnoty dosáhl Stavostroj se 60 µg/l, průměrná hodnota při monitoringu byla 40 µg/l. Ve vrtech Stavostroje a ČSAD se však dominující znečišťující složkou stávaly aromatické uhlovodíky v řádech prvních µg/l. Dané výsledky dokazovaly, že kontaminační mrak v okolí firmy ELTON se dále nerozšiřuje a že je zde přítomno menší znečištění jiného typu ze Stavostroje a ČSAD (Kněžek & Polesná 1994).

Během vzorkování firmy Aquatest na prameništi Litá v roce 1994 se prokázaly vyšší obsahy chlorovaných uhlovodíků ve vrtech Lt-2, Lt-6, Lt-8 a V-2 (Herzog 1994b), které vytváří hlavní hydraulickou čerpací linii v jímacím území Litá (Herrmann 1995). Následně byla tedy společnosti VaK HK uložena povinnost týdenního sledování nejpostiženějších vrtů Lt-6 a V-2.

Dále byly v rámci sanačních opatření prováděných firmou KAP během roku 1994 pořízeny nové vrty (Fadrhons 1995). Pro sanační čerpání podzemní vody byly určeny vrty EL-12 a EL-13 (Fadrhons 1995). EL-12 byl umístěn do ohniska znečištění u firmy ELTON a EL-13 pro rozšíření monitorovací sítě jihozápadním směrem od závodu. Pro účely ventingu, který byl zkoušen na stávajících vrtech E-1 a E-2, byly vyvrtány nové vrty E-3 až E-7. Úroveň kontaminace čerpané vody opětovně kolísala dle sezónních výkyvů hladiny podzemní vody. Při jednom ze vzorků na vrtu EL-11 dne 24. 5. 1995 dosáhla koncentrace PCE neuvěřitelných 140 mg/l!!!. Průměr na všech monitorovacích EL vrtech se stále držel v jednotkách až prvních desítkách mg/l. V půdním vzduchu se před každým počátkem ventingového cyklu hodnoty pohybovaly v rozmezí 0,1-1,8 mg/l.

Podle výsledků monitoringu firmy Vodní zdroje na vrtech okolních závodů bylo v roce 1995 dosaženo limitů pro pitnou vodu. Počínaje rokem 1996 byl tedy monitoring zredukován na jedno pozorovací vzorkování ročně (Kněžek 1995).

Sledování firmy KAP nepřineslo v letech 1995 a 1996 výraznější změny. I nadále nejvyšší hodnoty koncentrací v podzemní vodě dosahovaly 140 mg/l, většina naměřených hodnot se však pohybovala v rozmezí jednotek až prvních desítek mg/l. Obsah polutantu v půdním vzduchu se díky ventingu snížil až na 170 mg/m<sup>3</sup>, výtěžnost periodického ventingu pak byla srovnatelná s celoroční sanací ochranným čerpáním. (Herzig 1996)

Jak vyplývá z další průběžné zprávy Herzig (1998) dosáhly za rok 1997 nejvyšší hodnoty koncentrace polutantu v podzemní vodě 86 mg/l, hodnoty koncentrací v půdním vzduchu opět mírně vzrostly a před začátkem každého nového cyklu se pohybovaly okolo 3 g/m<sup>3</sup>. Pro lepší výtěžnost se začal venting kombinovat se vsakováním do vybraných ventingových vrtů. Díky vsakování vzrůstaly koncentrace v půdním vzduchu až na 42 g/m<sup>3</sup> a poprvé byla těžba

polutantů efektivnější pomocí ventingové části sanace. Za rok nepřetržitého čerpání z čerpaných vrtů bylo exploatováno 90,7 kg polutantu, zatímco ventingem 160,8 kg. (Herzig 1998)

Výsledky sanačních opatření z roku 1998 ukazují, že v nejpostiženějších vrtech průmyslové zóny dosáhly koncentrace polutantu v podzemní vodě 42 mg/l. Hodnoty v půdním vzduchu obecně poklesly, proto se nadále používala kombinovaná technika ventingu se zasakováním vody do nesaturované zóny. (Prášek & Herzig 1999)

V roce 1998 firma ELTON zkrachovala. Sanační opatření tak neměl dále kdo financovat, proto firma KAP s pracemi přestala (Musil, ústní sdělení).

V listopadu 2004 byly na základě žádosti Nového Města nad Metují znovu ovzorkovány vybrané vrty. Ve své zprávě Svoboda (2005) potvrdil, že znečištění přetrvává a hlavní ohnisko je v západní části průmyslového areálu firmy ELTON a západně od něj. Dominantní složkou znečištění se namísto PCE stává jeho produkt rozkladu DCE.

V květnu 2006 pak Nové Město nad Metují uzavírá smlouvu o dílo s firmou DEKONTA, která na základě následně provedených prací předložila v říjnu 2006 zpracovanou rizikovou analýzu (Polák & Musil 2006). Provedeny tak byly následující práce, jejichž cílem bylo zjistit míru a rozsah kontaminace podzemní vody chlorovanými uhlovodíky a směr jejího proudění. Všechny stávající vrty, včetně monitorovacích vrtů podniků Detecha, ČSAD a Stavostroj, byly ovzorkovány. Dále byly vyhloubeny 3 nové vrty na bázi turonu – jedná se o vrty HV-1, HV-2 a HV-3. Následně byly odebrány vzorky z okolních povrchových toků (Rozkoš, Metuje), mělkou, nevystrojenou sondáží byla zjišťována kontaminace půd v oblasti, a v hloubce 3 m p.t. byly atmogeochemií odebírány vzorky podzemního vzduchu. V přilehlé vilové čtvrti byly odebírány vzorky vody ze studní a biologického materiálu.

Dále výsledky studie Polák & Musil (2006) ukázaly, že koncentrace v půdním vzduchu byly především na území průmyslového areálu, mimo něj byly pod mezí detekce, a dále že plošný rozsah kontaminace zemin odpovídal rozsahu kontaminace půdního vzduchu. Ačkoli z odebraných vodotečí bylo patrné, že kontaminace ovlivnila i je, přesto byly koncentrace stále velmi nízké.

Vzorkované studny v kvartérním kolektoru z přilehlé vilové čtvrti byly kontaminací nedotčeny. Drtivá většina hodnot byla pod mezí detekce, přičemž nejvyšší zjištěnou kontaminací byla suma CIU v hodnotě 1,82 µg/l. Stejně tak i vzorky biologické matrice z této čtvrti byly bez kontaminace (Polák & Musil 2006).

Koncentrace CIU v podzemní vodě spodního turonu stále dosahovaly desítek mg/l a indikovaly přítomnost volné fáze CIU na bázi kolektoru. Oproti roku 2004 výrazně narostl

podíl DCE na úkor PCE; proti původním mapám (Kněžek 1990) se kontaminace výrazně nerozšířila do prostoru. V některých vrtech pak byla zjištěna přítomnost nejnebezpečnějšího člena rozpadové řady CIU, vinylchloridu, v koncentracích několika set  $\mu\text{g/l}$  (Polák & Musil 2006).

### 3.3.2. *Bývalá čerpací stanice pohonných hmot – Dobruška*

Na této lokalitě na jihozápadním okraji Dobrušky byla kontaminace chlorovanými uhlovodíky zjištěna v roce 1999, kdy byla dne 29. 4. na jednom z pěti vrtů v oblasti, vrtu HD-2, naměřena koncentrace PCE 486  $\mu\text{g/l}$ . O měsíc později, 20. 5., byla přítomnost chlorovaných uhlovodíků ve vrtu potvrzena, i když již v menší koncentraci – PCE dosahovaly hodnot 95  $\mu\text{g/l}$ , TCE dosahovaly prvních jednotek či desetin  $\mu\text{g/l}$ , hodnoty DCE se pohybovaly v desetinách  $\mu\text{g/l}$  a koncentrace vinylchloridu byly pod mezí detekce (Řízek & Hocke 1999).

Jak se ukázalo při kontrolním odběru o rok později, 7. 6. 2000, kdy nebyly koncentrace PCE ani jiných látek detekovány, jednalo se na vrtu HD-2 o jednorázový výskyt chlorovaných uhlovodíků (Řízek & Hocke 2000).

Řízek & Hocke (2000) hodnotí možné příčiny tohoto náhlého a krátkého výskytu. Je pravděpodobné, že chlorované uhlovodíky nepocházejí z areálu čerpací stanice, ale z některého z průmyslových objektů. Také se objevila hypotéza, že se jednalo o chybu stanovení při analýze. Nejpravděpodobnější ale je, že se jednalo o reálný únik chlorovaných uhlovodíků v blízkosti vrtu HD-2, a to vzhledem k tomu, že na vrtu HV-2 v Dobrušce, který leží ve směru proudění pod vrtem HD-2, došlo v roce 2001 ke zvýšení koncentrací TCE a PCE.

Vrt HD-2 byl chlorovanými uhlovodíky zasažen jako jediný na lokalitě – za zmínku stojí, že je to také jediný vrt, který sahá až do křídových slínovců. Ostatní vrty končí ve štěrkopískách nad zónou špatně propustného eluvia, které na lokalitě odděluje kvartérní kolektor od křídových slínovců (Řízek & Hocke 1999).

V roce 2003 byla zemina obsahující ropné látky na lokalitě odtěžena.

### 3.3.3. *Bývalý závod Karosa – Jaroměř*

V areálu bývalého závodu byla zjištěna přítomnost chlorovaných uhlovodíků v roce 1994, a to až v desítkách  $\text{mg/l}$ . Jednalo se o TCE, PCE, dále DCE a vinylchlorid (MŽP ČR 2005).

Kontaminace je vázána na kvartérní sedimenty a sleduje ze vzdálenosti mnoha set metrů tok Labe. Pod kvartérními sedimenty však leží slínovce kolektoru B. Při zjištění kontaminace byla vyslovena hypotéza o možném ohrožení křídové zvodně, to však nebylo prokázáno. (MŽP ČR 2005)

#### *3.3.4. Další zdroje znečištění*

Ve zkoumané oblasti se vyskytly ještě další minoritní zdroje znečištění chlorovanými uhlovodíky, jejich vliv však bylo možné zanedbat. Chlorované uhlovodíky byly zjištěny ve vodách pod skládkou Jaroměř - Brdce (VÚV 2009). Dále byla jednorázově v roce 1994 indikována přítomnost relativně malého množství DCE i v areálu DUO s. r. o. Opočno (MŽP ČR 2005).

#### *3.3.5. Kontaminace na jímacím území Litá*

Poprvé se chlorované uhlovodíky v jímacím území Litá v nadpozaďové hodnotě objevily v roce 1992 na vrtu Lt-6 v koncentraci 2,9 µg/l pro PCE a 1,5 µg/l pro TCE. Následně hodnoty při pravidelných odběrech vzrůstaly a chlorované uhlovodíky se začaly vyskytovat i na dalších vrtech v nadpozaďových hodnotách, a to na vrtech Lt-2, Lt-8 a V-2. Krajský vodohospodářský orgán tedy firmě VaK a.s. Hradec Králové uložil povinnost pravidelného monitorování koncentrací chlorovaných uhlovodíků na zasažených vrtech (Kameníková, ústní sdělení). Hodnoty kulminovaly na vrtu Lt-6 mezi lety 2002-3, kdy se koncentrace pohybovaly mezi 12-13 µg/l PCE. Od té doby se hodnoty lehce snížily a drží se v hodnotách mezi 8-9 µg/l. Během doby, kdy překračovaly limit pro pitnou vodu, nebyl vrt využíván (Kameníková, ústní sdělení). Ostatní vrty, které vykazovaly nadpozaďové hodnoty, ale nepřesahovaly koncentrace 3 µg/l PCE (viz vrt V-2), byly dále v provozu a voda z nich byla upravována (Kameníková, ústní sdělení). Tato stručná historie byla zpracována na základě archivních dat z odběrů na zasažených vrtech, jež s laskavým svolením poskytla společnost Veolia – Královéhradecká Provozní.

## 4. Metodika

### 4.1. Výběr sledovaných vrtů

Aby bylo možné zhodnotit charakter vod v oblasti, jejich proudění, střední dobu zdržení a šíření kontaminace chlorovanými uhlovodíky, bylo rozhodnuto provést na vybraných objektech sledování základních fyzikálních a chemických parametrů vod, obsahy přirozených stopovačů a koncentrace chlorovaných uhlovodíků.

Cílem bylo srovnat vrty, které byly kontaminovány chlorovanými uhlovodíky, a vrty, které mohly vykazovat zajímavou hydraulickou souvislost. Vzhledem k finanční náročnosti řady analýz nebylo možné ovzorkovat všechny vrty v oblasti, proto bylo nutné vybrat ty nejreprezentativnější. Vybraných 23 vrtů je znázorněno na obr. 1 (viz. kapitola 3).

Odběry jsem provedl v létě 2008 ve spolupráci s firmou DEKONTA a.s.

### 4.2. Odběr a zpracování vzorků

#### 4.2.1. Základní chemické a fyzikální parametry

Na analýzy základního chemismu jsem v terénu odebral vzorky na celkem 26 místech – jedná se o 23 vrtů a 3 povrchové toky. Vzorkované vrty byly před odběrem čerpány pro výměnu 3 objemů vrtu. Přímo v terénu jsem pak měřil pět následujících parametrů: pH, teplota vody, konduktivita, obsah rozpuštěného kyslíku a redoxní potenciál. Použil jsem přístroj Multi 340i se sondami od firmy WTW (Německo). Konduktivita je uváděna pro jednotnou teplotní hladinu 25°C. Pro další analýzy jsem odebral vzorky o objemu 100 ml z každého objektu. Vzorky na kationty jsem při odběru filtroval filtrační aparaturou Nalgene s filtry Milipore 0,45 μm a acidifikoval kyselinou dusičnou. Vzorky byly před analýzou provedenou O. Šebkem v chemických laboratořích PŘF UK udržovány v chladu. Použitými metodami byly: FAAS, HPLC a titrace (alkalita). Byly zjišťovány hodnoty koncentrací následujících parametrů:  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{F}^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Li}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Sr}^{2+}$ ,  $\text{SiO}_2$ . Naměřené hodnoty jsem použil jako vstupní data do modelování v programu PHREEQC a do zobrazení PCA analýzou v programu Canoco for Windows 4,5. Primární data jsou uvedena v příloze 1.

#### 4.2.2. Chlorované uhlovodíky

Informace o koncentracích chlorovaných uhlovodíků byly v létě 2008 zjišťovány pro vzorky z 23 vrtů a 2 povrchových toků. Společně s pracovníkem firmy DEKONTA a.s. jsem odebral vzorky o objemu 1 l na zjišťování obsahu PCE, TCE, 1,1-DCEen, 1,2-DCEan a 1,2-(c+t)-DCEen a stanovení CHSK-Mn. Na sledování obsahu vinylchloridu byly odebírány vzorky o objemu 0,1 l. Vzorky byly zpracovány v Analytických laboratořích, Plzeň a.s. za použití titrační metody a plynové chromatografie.

Aby bylo možné zhodnotit vývoj koncentrací chlorovaných uhlovodíků od počátku kontaminace, vybral jsem z dostupných záznamů údaje o koncentracích PCE a TCE na 12, respektive 9 vrtech. K dispozici byly hodnoty z pravidelných týdenních odběrů firmy VaK Hradec Králové a z pravidelných sledování firem KAP a Vodní zdroje.

#### 4.2.3. Střední doba zdržení

Pro určení střední doby zdržení vod byly sledovány obsahy tritia, freonů, SF<sub>6</sub> a <sup>14</sup>C.

Odběry na stanovení tritia jsem provedl na 23 vrtech. Jednalo se o vzorky o objemu 1 l z každého objektu, které byly následně zpracovány v laboratořích PřF UK Mgr. Zdeňkou Churáčkovou. Na měření aktivity tritia byl použit nízkopozadový kapalinový scintilační spektrometr Tri Carb 3170Tr/Sl (Canberra-Packard Company). V izotopové laboratoři se vzorky elektrolyticky nabohatily v poměru 1:10. Měření o délce 700 minut bylo u každého vzorku čtyřikrát opakováno. Výsledky byly korigovány na rozpad k datu odběru.

Dalšími sledovanými stopovači byly obsahy freonu 11, 12, 113 a SF<sub>6</sub> v 17 vzorcích vod z vrtů. Vzorky jsem odebral podle metodiky popsané Osterem *et al.* (1996). H. Oster poskytl na vzorkování skleněné odběrné nádoby o objemu 500 ml. Ty byly po proplachování vodou z vrtu a protečení 15 l vody uzavřeny. Celá manipulace probíhala pod vodní hladinou. Vzorkovnice byla následně vložena do ochranného kovového kontejneru, aby byl vzorek chráněn před kontaminací atmosferickými freony. Takto připravené vzorky byly odeslány do Spurenstofflabor v Německu, kde analýzu na obsah freonů a SF<sub>6</sub> provedl H. Oster pomocí plynové chromatografie s detektorem elektronů (GC-ECD). Podrobnou metodiku stanovení je možné nalézt v pracích Busenberg & Plummer (1992), Dunkle *et al.* (1993) a Oster *et al.* (1996).

Dále jsem na 12 místech (10 vrtů a 2 povrchové toky) odebral vzorky na hodnocení obsahu <sup>14</sup>C. Odebíral jsem cca 120 litrů vody z každého vzorkovaného místa, do kterých jsem

přidal NaOH, FeSO<sub>4</sub> a koagulant. Po vysrážení jsem odebral přebytečnou vodu. Analýzy byly následně provedeny v laboratoři Přírodovědecké fakulty UK Mgr. Zdeňkou Churáčkovou. Výsledné hodnoty aktivity <sup>14</sup>C jsou uváděny v hodnotách procent moderního uhlíku (pmc).

### 4.3. Stopovací zkouška

Stopovací zkoušku jsem provedl ve dnech 26.9.-3.11.2008 s cílem získat více informací o lokálním proudění a přiblížit jasněji charakter území. Jako nejideálnější se jevil vrt V-2 v blízkosti pramene Jezírko. Jeho využití bohužel nebylo možné, jelikož se jedná o strategický vrt pro odběr vody pro Hradec Králové, který představuje téměř polovinu celkového odběru z jímacího území. Proto jsme se školitelem vybrali alternativní vrt Lt-3 v blízkém okolí pramene Zlatý Crk. Zde bylo nutné vyřešit problém se sezónním výkyvem. V době, kdy se z vrtu aktivně čerpalo, byl pramen neaktivní. Proto bylo rozhodnuto o týdenní odstavce čerpání z vrtu (od 26. 9.) a jeho dotaci pomocí přemostění z vodojemu, aby se podpořilo obnovení pramene. Během této doby jsem ve spolupráci se školitelem instaloval do vrtu datalogger na průběžný záznam teploty a tlaku vody ve vrtu. Po obnovení pramene bylo přistoupeno dne 2.10 v 15:50 k vlastní zkoušce; přívod vody do vrtu byl ustálen na 0,5 l/s.

Do vrtu Lt-3 byl během čtyřiadvacetihodinového cyklu přes peristaltickou pumpu postupně injektován roztok Na-fluoresceinu. Celkovém množství použitého stopovače bylo 10 g. Se začátkem injektáže byl zapnut samočinný vzorkovač ZKZ1 v přístavku vrtu u pramene Zlatý Crk. Odběr vzorků probíhal nejprve v intervalu jedna hodina, dále byl interval prodlužován až na pět hodin Tyto intervaly byly zvoleny proto, aby bylo možné následně zkonstruovat podrobnou křivku průtoku stopovače (Field 2002). Celý odběr trval 28 dní platného povolení od Vodohospodářského orgánu Hradce Králové. Odebral jsem celkem 187 vzorků, z nichž bylo na analýzy použito 96. Odběrný přístroj po daném intervalu vždy naplnil vzorkovnici 250 ml, ze které jsem následně odebral vzorek 30-50 ml pro analýzy. Ten byl až do zpracování v laboratoři uchováván v temnu. Na potoku Zlatý Crk jsem po celou dobu měření v souladu s metodikou např. dle Field (2002) sledoval průtok.

Vzorky byly následně zpracovány Jiřím Kamasem v Laboratořích geologických ústavů UK na fluorescenčním spektrofotometru Perkin-Elmer 650-10S. Použita byla metoda synchronous scan. Mez detekce je přitom závislá na zakalení vody látkami, které rozptylují světlo (Käss 1998). Při velmi nízkých koncentracích fluoresceinu a vysoké intenzitě zákalu tak může být signál fluoresceinu překryt odrazem světla od dalších látek (Smart a kol. 1998).

#### 4.4. Zobrazení a analýza dat

Základní zobrazení naměřených dat o obsahu látek ve vrtech jsem provedl v programu Microsoft Excel. Pro vynesení dat do map jsem použil gisový program ArcMap 9.3 (ESRI 2007). Názorné mapy jsem zpracoval v programu CorelDraw 9.

##### 4.4.1. Střední doba zdržení

S modelováním střední doby zdržení na základě naměřených koncentrací tritia a SF<sub>6</sub> ve mnou vzorkovaných vrtech v programu FLOWPC (Maloszewski 1996) jsem se obrátil na svého školitele. Na základě jeho předchozích zkušeností byly při modelování střední doby zdržení uvažovány dvě krajní varianty distribuce doby zdržení:

- 1) Binární míšení, kdy je uvažováno míšení vody s dobou zdržení 5 nebo 15 let s vodou infiltrovanou před rokem 1970 (ta neobsahuje SF<sub>6</sub>).
- 2) Disperzní model s relativně nízkým koeficientem disperze (D 0.05).

##### 4.4.2. Charakter a příbuznost vod

Pro zpracování v programu PHREEQC jsem vybral data o následujících parametrech z 23 vrtů a 3 povrchových toků:

- Teplota, pH, koncentrace HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, F<sup>-</sup>, Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, K<sup>+</sup>, Li<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Mn<sup>2+</sup>, Fe<sup>2+</sup>, Sr<sup>2+</sup>, SiO<sub>2</sub>

Pro každý objekt jsem sestavil vstupní soubor obsahující informace o výše uvedených parametrech. Na základě těchto dat je pak výstupem programu zhodnocení chemických a termodynamických charakteristik zadaného vzorku (Parkhurst & Appelo 1999). Z výstupních parametrů je možné určit, k jakým minerálům je voda přesycena a které bude naopak rozpouštět.

##### 4.4.3. Mnohorozměrná analýza

Aby bylo možné výše uvedená data vizualizovat, přistoupil jsem k mnohorozměrným technikám, které umožňují zobrazit data s takovou strukturou (řada objektů, z nichž na

každém je měřeno více proměnných, které jsou spolu navzájem korelované). Jedná se o techniky, které promítnou data z mnohorozměrného prostoru do prostoru dvourozměrného tak, aby hlavní osa (zpravidla zobrazována jako osa x) odpovídala směru největší variability v datech. Druhá hlavní osa, kolmá na první a zobrazovaná jako osa y, je pak natočena tak, aby pokryla co nejvíce ze zbývající variability. Hodnoty vysvětlené variability jsou tedy odvislé od charakteru zobrazovaných dat a první osa vysvětluje více než druhá již z definice. (Ter Braak & Šmilauer 2002)

Zvolil jsem metodu PCA (principal komponent analysis), kdy je předpokládána lineární závislost proměnných na změnách prostředí (vyjádřených změnami sledovaných proměnných). Pro mnohorozměrnou analýzu v programu Canoco for Windows 4.5 (Ter Braak & Šmilauer 2002) jsem vybral data dostupná pro 23 odebíraných vrtů. Jedná se o následující parametry:

- Základní fyzikální a chemické parametry vrtů (teplota, pH, množství rozpuštěného kyslíku, konduktivita, CHSK-Mn, koncentrace  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{F}^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Li}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Sr}^{2+}$ ,  $\text{SiO}_2$ )
- Obsahy chlorovaných uhlovodíků (PCE, TCE) v létě 2008
- Střední doba zdržení odvozená z aktivity tritia

Při analýze byly použity souřadnice vrtů, jejichž vliv byl odečten jako kovariáta (tedy proměnná prostředí, jejíž vliv na sledované proměnné chceme zahrnout do zobrazení). Cílem bylo zhodnotit podobnost vod vrtů bez ohledu na prostorové rozmístění vrtů.

Výstupem je tedy vizualizace skupin vrtů na základě korelací zadaných parametrů. Jedná se o podobný výstup jako z programu PHREEQC, výsledku je však dosaženo použitím jiných metod a zároveň byla k vizualizaci využita i data PHREEQCem nevyužitelná (střední doba zdržení, koncentrace PCE a TCE a prostorové souřadnice vrtů). Mnohorozměrné metody jsou způsobem zobrazení, který pomáhá snadnější interpretaci velkého množství vzájemně korelovaných proměnných na skupině objektů. Je tak možné usuzovat na to, které vrty si jsou podobnější a mezi kterými parametry je souvislost. Z toho je pak možné činit úvahy o příčinách pozorovaných struktur.

#### 4.5. Vztah mezi vrty a zlomy

Pro tuto část práce jsem vybral vrty hlubší než 30 metrů z ústecké, kyšperské a novoměstské synklinály, pro něž jsem měl k dispozici údaje o specifické vydatnosti. Celkem jsem vybral 643 vrtů, ke každému pak byla v programu ArcGis 9.2 (Esri 2007) vypočítána vzdálenost k nejbližšímu zlomu v oblasti.

V programu S-Plus 2000 jsem následně testoval vztah mezi specifickou vydatností a vzdáleností od zlomu. Vzdálenost vrtu od zlomu jsem uvažoval jednak jako kategoriální proměnnou (pro analýzu variance), jednak jako spojitou proměnnou (pro lineární regresi). Tuto druhou analýzu jsem kromě kompletního souboru vrtů provedl i pro výběr 27 vrtů se specifickou vydatností vyšší než 10 l/s/m.

Pro analýzu variance jsem vzdálenost od zlomu (která celkově nabývala hodnot od cca 4 metrů do cca 6,5 km) rozdělil do následujících kategorií:

1. do 100 m (18 vrtů)
2. do 250 m (43 vrtů)
3. do 500 m (56 vrtů)
4. do 1 km (122 vrtů)
5. do 1,5 km (102 vrtů)
6. do 2 km (108 vrtů)
7. do 3 km (123 vrtů)
8. do 5 km (65 vrtů)
9. nad 5 km (6 vrtů)

Data o vrtech poskytla Česká geologická služba – Geofond, z hydrogeologické databáze Hydrofond. Data o zlomech laskavě zapůjčil a k jejich využití svolil RNDr. David Uličný, CSc (Uličný & Špičáková 2009).

## 5. Výsledky

### 5.1. Primární data

Tabulky shrnující naměřené hodnoty sledovaných parametrů (základní chemické a fyzikální parametry, koncentrace chlorovaných uhlovodíků a obsahy přirozených stopovačů) jsou uvedeny v příloze 1.

#### 5.1.1. Základní chemické a fyzikální parametry vod

Naměřené hodnoty jsou uvedeny v tabulce v příloze 1. Zde jsem vybral některé zajímavé proměnné, na nichž byly patrné výrazné rozdíly mezi vrty.

Hodnoty konduktivity se výrazně lišily mezi staršími vrty za poklesovou linií (vrty Lt-01, Lt-02 a V-1, které měly i výrazně vyšší hodnoty hydrogenuhličitanů), kde dosahovaly hodnot 1000  $\mu\text{S/cm}$ , přičemž průměrné hodnoty se pohybovaly mezi 600-800  $\mu\text{S/cm}$ . Nejmenších hodnot dosáhly vrty Lts-17, NM-2 a Lts-6.

Také hodnoty redoxního potenciálu se pohybovaly ve velkém rozmezí. Výrazně nejnižší hodnoty měly vrty Lts-6, Lts-15, Lts-17 a NM-2, oproti tomu zvýšené hodnoty byly nalezeny u vrtů Lt-8, Lt-9, Lt-6, Lt-2, V-2 a HV-2.

Vrt Lts-6 se také výrazně odlišil teplotně (o 2 stupně nižší teplota), hodnotou pH, které je vyšší než u ostatních vrtů (hodnota 8,3), či nižším obsahem chloridů. Podobný případ představuje vrt Lts-17, který se od ostatních vrtů liší výrazně nižšími hydrogenuhličitanů a zvýšenými chloridy. Tyto dva vrty pak společně s vrtem NM-2 mají nejnižší obsahy síranů, což je výrazně odlišuje od skupinky vrtů V-1, Lt-01 a Lt-02, které mají koncentrace síranů ve vyšších hodnotách.

Skupina vrtů HV-2, Lt-4 a Lt-9 měla výrazně zvýšený podíl rozpuštěného kyslíku, skupina vrtů v prameništi Zbytka (V-2, Lt-2 a Lt-6) pak vyšší hodnoty dusičnanů.

Zajímavé bylo také nasycení vápníkem, které skoro odpovídalo měřítku vzdálenosti od infiltrace – čím byla větší, tím byly koncentrace vápníku vyšší. Výrazně nízké hodnoty koncentrací vápníku se pak ukázaly u vrtů NM-2, Lts-6 a Lts-17.

### 5.1.2. Obsahy přirozených stopovačů

#### **Tritium**

Výsledky ukázaly přítomnost tritia na všech odebíraných vrtech, což dokládá poměrně rychlé proudění vody v zájmovém slínovcovém kolektoru. Dále byly rozděleny získané hodnoty do tří zájmových skupin: pod 6 TU, mezi 6-9 TU a nad 9 TU dle Bruthans & Kadlecová (2005).

Nejnižší aktivity mají čerpané vrty J-1, J-3 a J-7 v severozápadní části oblasti a pozorovací vrty Lts-6, Lts-5 a Lts-17 ležící v elevaci oddělující toky Metuje a Dědiny. V těchto případech se tedy voda z vrtů částečně infiltrovala již před rokem 1950.

Naopak nejvyšší aktivity tritia byly zaznamenány v jihovýchodní části oblasti (vrty Bohemilk 2 a Lts-15, dále vrty Lt-3 a Lt-6). Voda čerpaná z těchto vrtů tak obsahuje nejméně 5-10 % infiltrace z 60. a 70. let minulého století.

Ostatní vrty mají aktivity tritia ve středních hodnotách (6-9 TU).

#### **Freony 11, 12, 113 a SF<sub>6</sub>**

Výrazně vysoké koncentrace freonů a tedy výrazný podíl mladší vody byly zaznamenány zejména na vrtech Lt-2, Lt-3, Lt-6, Lt-8, INM-1, Sk-19, V-1 a V-2. Hodnoceny byly koncentrace freonu 11 a 12, pro hodnocení střední doby zdržení byly použity koncentrace freonu 113 a SF<sub>6</sub>.

#### **Uhlík <sup>14</sup>C**

Vzorky s aktivitou <sup>14</sup>C pod úrovní 50 %, které zřejmě obsahují zčásti vodu se střední dobou zdržení v řádu stovek až prvních tisíců let, pocházejí z vrtů Lt-1, Lt-4, Lt-01, V-1, J-1, J-3 a INM-1. Ostatní vrty mají hodnoty o něco vyšší než 50 %, přesto však nedosahují hodnot naměřených v povrchových tocích, které se pohybují okolo 85 %. Je zde tedy patrný rozdíl mezi podzemními vodami kolektoru bělohorského souvrství a povrchovými toky izolátoru jizerského souvrství.

### 5.1.3. Koncentrace chlorovaných uhlovodíků

Výraznější koncentrace PCE a TCE se objevily jen na několika vrtech. PCE vyšší než 1 µg/l byly nalezeny především na vrtech jímacího území Litá (Lt-2, Lt-6, Lt-8 a V-2), dále na

dvou vrtech mimo tuto lokalitu, Sk-19 a HV-2. Koncentrace TCE pak překročily hodnotu 0,1 µg/l na vrtech na Lité (Lt-6 a V-2) a již zmíněných vrtech Sk-19 a HV-2.

Ačkoliv hodnoty na vrtu Lt-3 nebyly vysoké, přesto byla na tomto vrtu nalezena zajímavá hodnota poměru TCE/PCE, který se rovnal téměř 1. Nutno podotknout, že vrt, na rozdíl od ostatních zasažených vrtů na lokalitě Litá, byl během 90. let a i po roce 2000 prakticky čistý.

V žádném ze vzorků se neobjevily další členy dehalogenační řady PCE (sledované koncentrace DCE a vinylchloridu nikde nepřekročily požadovou hodnotu), tudíž se pravděpodobně jedná o čela kontaminačního mraku z počátku případných úniků.

## 5.2. Střední doba zdržení

Výsledky pro model binárního míšení na základě naměřených koncentrací SF<sub>6</sub> jsou uvedeny v tab. 1. V tomto modelu vychází nejvyšší zastoupení mladé vody pro vrty NM-2, Lt-2, Lts-6, Lt-6, V-2, Sk-19 a Lt-8. Vysoká hodnota zastoupení mladé vody vychází i pro vrt INM-1, koliduje však se stářím vody podle hodnot aktivity <sup>14</sup>C (kap. 5.1.2.).

Ostatní vrty pak podle tohoto modelu obsahují pouze malé procento zastoupení mladé vody.

Tab. 1. Podíl vody se stářím 5 nebo 15 let za předpokladu binárního míšení s vodou infiltrovanou před rokem 1970 na základě SF<sub>6</sub> (uvažována střední hodnota ± směrodatná odchylka).

objekt	zastoupení složky A (složka A = stáří 15 let, složka B = infiltrace před rokem 1970)	zastoupení složky A (složka A = stáří 5 let, složka B = infiltrace před rokem 1970)
INM-1		56 - 73 %
J-1	0 - 8 %	0 - 4 %
J-3	0 - 8 %	0 - 4 %
Lt-01	0 - 16 %	0 - 9 %
Lt-02	0 - 16 %	0 - 9 %
Lt-1	0 - 8 %	0 - 4 %
Lt-2	63 - 78 %	34 - 43 %
Lt-3	16 - 31 %	9 - 17 %
Lt-4	0 - 16 %	0 - 9 %
Lt-6	47 - 63 %	26 - 34 %
Lt-8	16 - 31 %	9 - 17 %
Lt-9	0 - 8 %	0 - 4 %
Lts-6	63 - 78 %	34 - 43 %
NM-2		> 86 %
Sk-19	23 - 39 %	13 - 21 %
V-1	0 - 16 %	0 - 9 %
V-2	31 - 47 %	17 - 26 %

Jak bylo řečeno výše (kap. 5.1.2.), aktivity tritia jsou u všech vrtů nad mezí detekce. Hodnoty SF<sub>6</sub> jsou však u řady vrtů velmi nízké či na hranici detekce (J-1, J-3, Lt-1, Lt-4, Lt-9, Lt-01, Lt-02 a V-1). Z toho vyplývá, že množství vody infiltrované po roce 1985 je poměrně menší než množství vody infiltrované mezi lety 1960-80. Na základě těchto skutečností byl pro další zpracování zvolen disperzní model s relativně nízkou disperzí (tab. 2).

Tab. 2: Střední doba zdržení na základě naměřených hodnot koncentrací tritia a SF<sub>6</sub> za předpokladu disperzního modelu s nízkou disperzí (0,05). Hodnoty jsou uvedeny v letech.

objekt	tritium - disperzní model (D 0,05)	SF <sub>6</sub> - disperzní model (D 0,05)
Bohemilk 2	25 nebo 70	
HV-2	<30 nebo 70-80	
INM-1	<30	14
J-1	90	>40
J-3	90	>40
J-7	80	
Lt-01	70-80	>40
Lt-02	70	>40
Lt-1	80	>40
Lt-2	22	20
Lt-3	<30	35
Lt-4	70-80	>40
Lt-6	23	25
Lt-8	<30	35
Lt-9	70	>40
Lts-15	25 nebo 70	
Lts-17	90	
Lts-5	80	
Lts-6	90	20
NM-2	<30	6
Sk-19	<30	30
V-1	70-80	>40
V-2	<30	30

Disperzní modely založené na hodnotách tritia a SF<sub>6</sub> podávají u většiny studovaných objektů podobné hodnoty (resp. hodnoty, které spolu nejsou v nesouladu). Spolehlivější údaje podává disperzní model založený na SF<sub>6</sub>, který však nepodává přesnou informaci o střední době zdržení vrtů s vyšším obsahem starší složky vody. Oproti tomu tritium neudává přesnou hodnotu pro vody s dominantní mladší složkou.

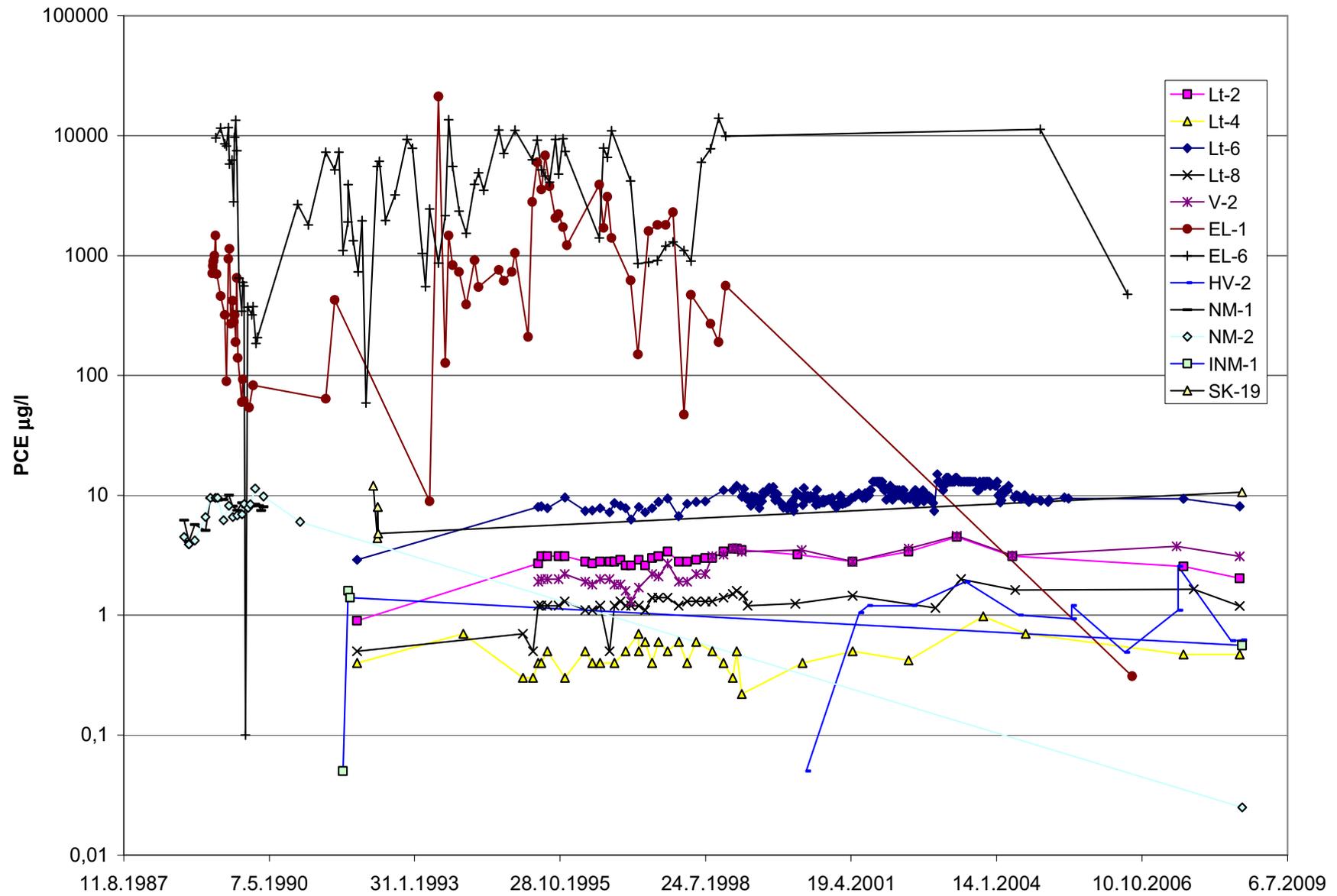
Jedinou nesrovnalost tak představuje vrt Lts-6, kde tritium ukazuje na 90 let, zatímco SF<sub>6</sub> na 20. Celkově by se vrty daly rozdělit do dvou hlavních skupin: na vody prvního typu, se střední dobou zdržení do 35 let, a vody druhého typu, se střední dobou zdržení mezi 70 a 90 lety. Výrazně nejmladší je ovšem vrt NM-2, kde střední doba zdržení vychází na 6 let.

### 5.3. Koncentrace CIU v čase

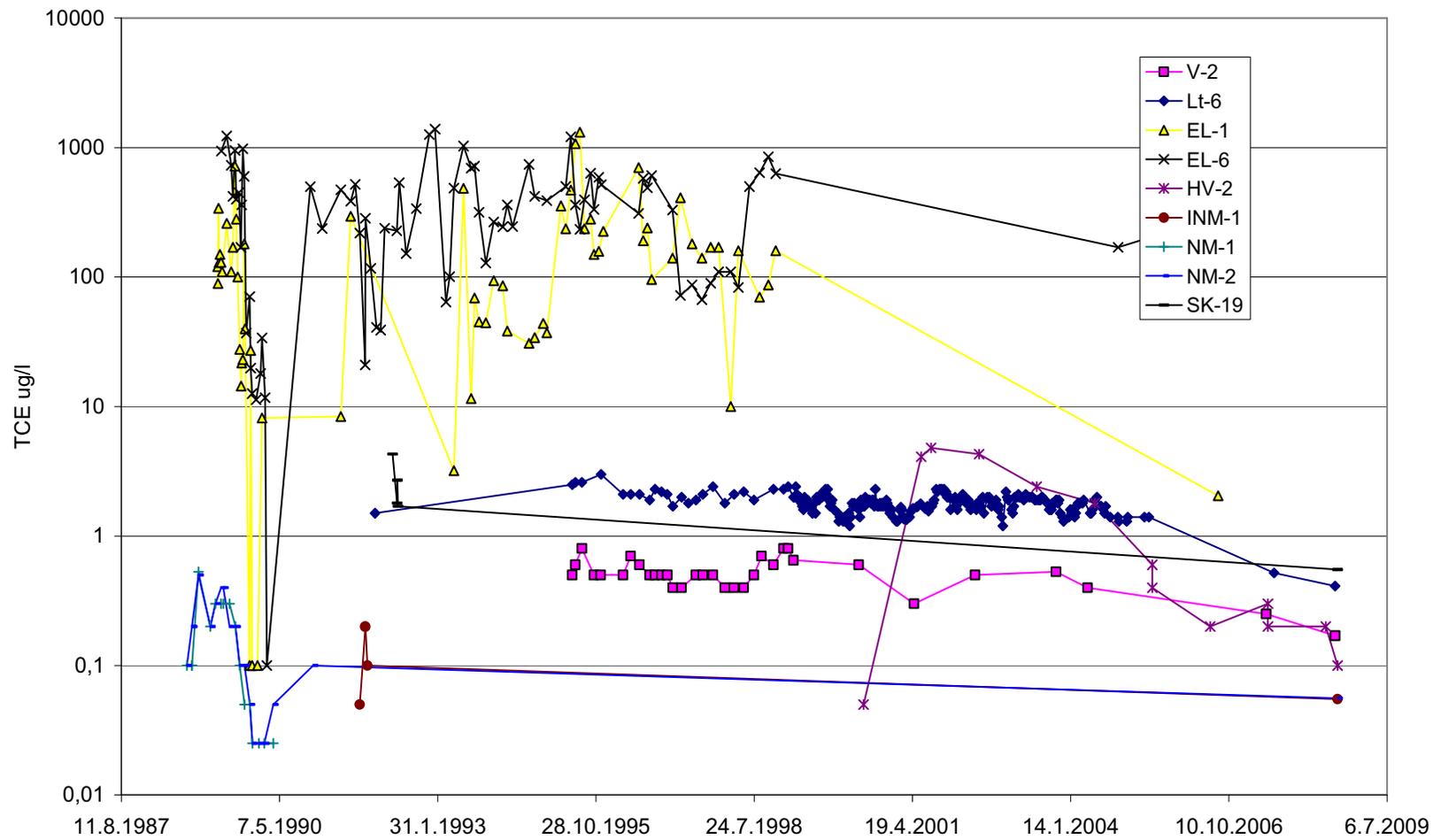
Průběhy koncentrací PCE, TCE a poměru TCE/PCE mezi lety 1987 a 2009 na 12ti (pro PCE), resp. 9ti (pro TCE a poměr TCE/PCE) vrtech jsou na obr. 2, 3 a 4. Průběh koncentrací chlorovaných uhlovodíků na jednotlivých vrtech výrazně kolísá, za celé zobrazené období však kromě vrtu HV-2 nedošlo k přesvědčivému poklesu koncentrací.

Ve vrtech v oblasti ELTON se hodnoty PCE se pohybují zhruba mezi 100-10000 µg/l, koncentrace TCE pak v rozmezí 10-1000 µg/l. Na postižených vrtech v oblasti Lité Lt-2, Lt-6, Lt-8 a V-2 jsou hodnoty setrvaly v jednotkách polutantu pro PCE i TCE. Ve vrtech NM-1 a NM-2 se hodnoty PCE držely v rozmezí jednotek až prvních desítek µg/l, TCE pak kolem desetin µg/l. Naprosto odlišný je pak průběh koncentrací na vrtu HV-2, kde koncentrace obou polutantů nejprve rostly, po aktivním sanačním zásahu začaly opětovně klesat.

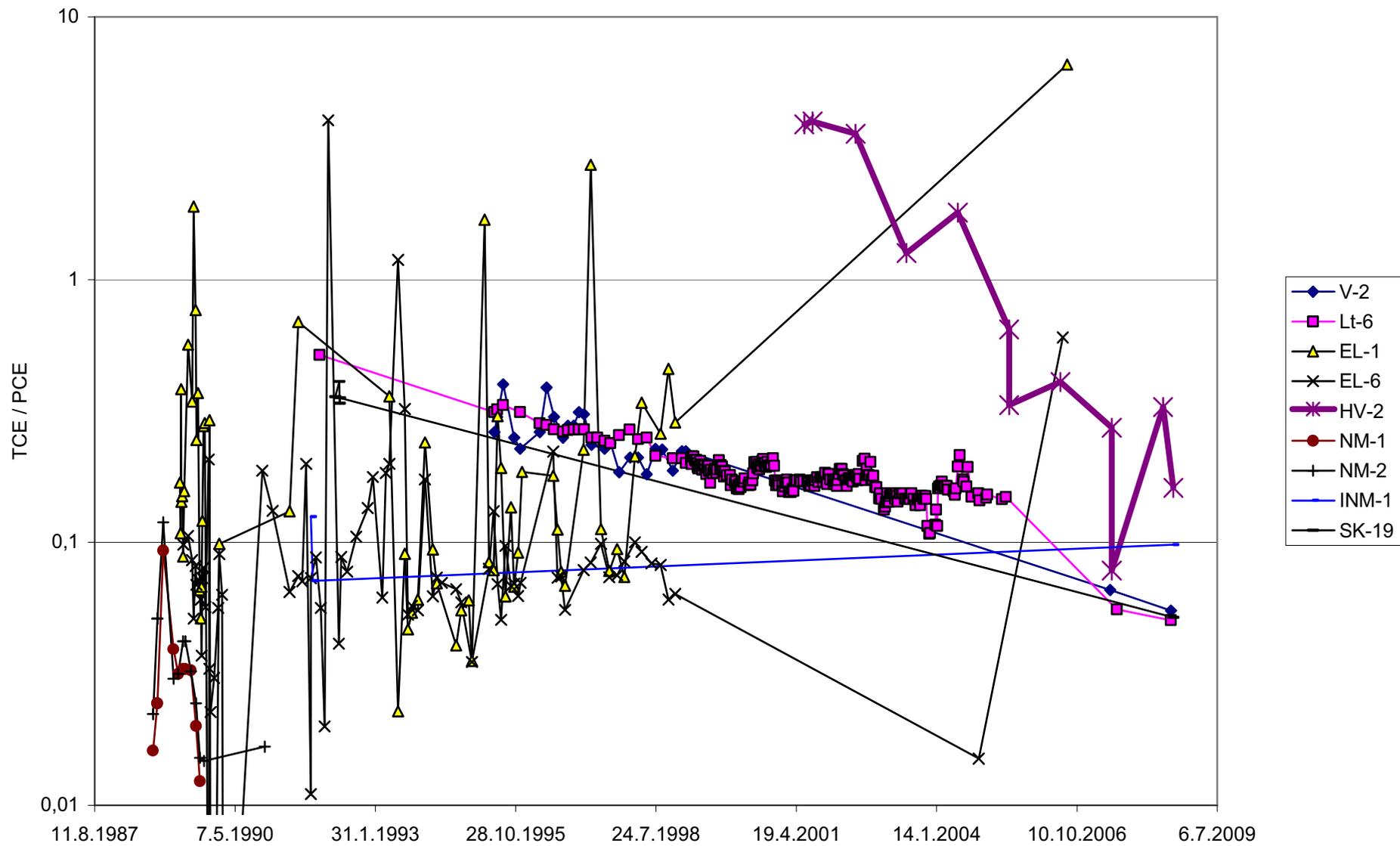
Koncentrace chlorovaných uhlovodíků dosáhly maxim na jednotlivých vrtech v různých obdobích. V případě PCE na vrtech NM1 a NM2 v letech 1989 až 1990, na vrtech Lt2 a Lt6 v letech 2002 až 2004 a na vrtu HV2 v letech 2003 až 2007. Koncentrace TCE dosahují maxim dříve – na vrtech NM1 a NM2 v roce 1988, na vrtu Lt6 v roce 1995, na vrtu Lt2 v letech 1995-1999 a na vrtu HV2 v roce 2001. Je tedy možné říci, že koncentrace PCE vrcholily cca se zpožděním 1-10 let za vrcholem koncentrací TCE.



Obr. 2. Průběh PCE na sledovaných vrtech v čase.



Obr. 3. Průběh TCE na sledovaných vrtech v čase. Z grafu je zřejmý výrazně odlišný průběh TCE ve vrtu HV2 oproti ostatním vrtům.



Obr. 4. Poměr obsahu TCE/PCE ve vrtech během času (hmotnostní koncentrace). Z obrázku je zřejmý odlišný průběh HV2 od ostatních vrťů.

## 5.4. Geochemické modelování

Jak vyplývá z geochemického modelování v programu PHREEQC, voda ve vzorkovaných vrtech je vzhledem ke kalcitu nasycená. Výjimku tvoří vrty Sk-19 a V-2, které jsou přesycené (SI +0,7 a +0,4). Dále pak voda ve vrtu Lts-17 byla vzhledem ke kalcitu výrazně nenasyčená (SI -1,8). Hlavním rysem všech vod pak je, že jsou nasycené vzhledem ke křemenu.

## 5.5. Charakter a příbuznost vod

Sledované vrty jsem pak na základě výsledků chemických analýz s přihlédnutím k jejich lokalizaci a na základě konzultací se školitelem s důrazem na jeho předchozí zkušenosti předběžně (a do jisté míry subjektivně) rozdělil do několika skupin.

### 1) Vrty Lt-2, Lt-6 a V-2

- nejvyšší redoxní potenciál
- vyšší obsah rozpuštěného kyslíku
- nejnižší obsah hydrogenkarbonátů, litia, sodíku, stroncia, hořčíku a fluoridů
- výrazně vyšší obsah dusičnanů, PCE a TCE, freonu 11, 12 a SF<sub>6</sub>
- mírně vyšší obsah chloridů
- nejnižší doba zdržení (20-30 let)
- podobného složení jsou vrty Lt-8, Sk-19 a Lt-9

### 2) Vrty V-1, Lt-01, Lt-02

- výrazně vyšší konduktivita
- vyšší obsah hydrogenkarbonátů, síranů, CHSK, fluoridů, vápníku, hořčíku, sodíku, stroncia a železa
- vyšší střední doba zdržení

### 3) Vrty Lt-4 a Lt-9

- nejvyšší obsahy rozpuštěného kyslíku
- nejnižší obsah chloridů
- nízký obsah dusičnanů

- poměrně vysoká doba zdržení
- Lt-4 nízké zastoupení PCE a TCE

#### **4) Vrt Lt-1**

- nejnižší redoxní potenciál a obsah dusičnanů
- prakticky bez rozpuštěného kyslíku
- leží mezi složením okolních vrtů a složení vrtů skupiny 2
- relativně vysoká doba zdržení

#### **5) Vrt Lt-8**

- blíží se složení vrtu Lt-6
- nižší redoxní potenciál
- neobsahuje rozpuštěný kyslík
- menší množství dusičnanů
- výrazně nižší obsahy PCE, TCE a freonů než skupina 1

#### **6) Vrt Lt-3**

- nejvyšší obsah tritia (podobně jako vrty Lts-15, Bohemilk 2 a HV-2)
- zcela jiný poměr TCE/PCE než u ostatních vrtů
- vyšší obsahy hořčíku, sodíku a síranů

#### **7) Vrty J-1 a J-3**

- velmi nízké obsahy tritia
- nízká radiouhlíková aktivita
- značná doba zdržení
- nízká vodivost
- nejnižší obsahy chloridů
- nízké obsahy síranů, dusičnanů, vápníku a hořčíku
- vyšší obsah hydrogenuhličitanů, chloridů, sodíku, draslíku, hořčíku, stroncia a tritia

#### **8) Vrty Lts-6 a Lts-17**

- naprosto odlišné od ostatních typů vod
- nízká mineralizace
- vyšší pH

- výrazně záporný redoxní potenciál
- neobsahují rozpuštěný kyslík, dusičnany ani sírany
- výrazně vyšší koncentrace sodíku a draslíku
- velmi nízké obsahy kalcia a hořčíku
- nízký obsah tritia

### 9) Vrt NM-2

- nízká vodivost
- výrazně záporný redoxní potenciál
- neobsahuje rozpuštěný kyslík, dusičnany a téměř ani sírany
- velmi nízký obsah vápníku a sodíku
- výrazně nižší obsah stroncia
- velmi nízká doba zdržení
- obsahuje TCE, zatímco PCE nebyl zaznamenán

### 10) Povrchové toky

- vysoký obsah rozpuštěného kyslíku, dusičnanů a draslíku

Vzorkované vrty, které v tomto výčtu nejsou zmíněny, jevíly soliterní charakter a od ostatních se lišily. Výsadní postavení měl kontroverzní vrt INM-1. Příčiny tohoto uspořádání budou dále diskutovány.

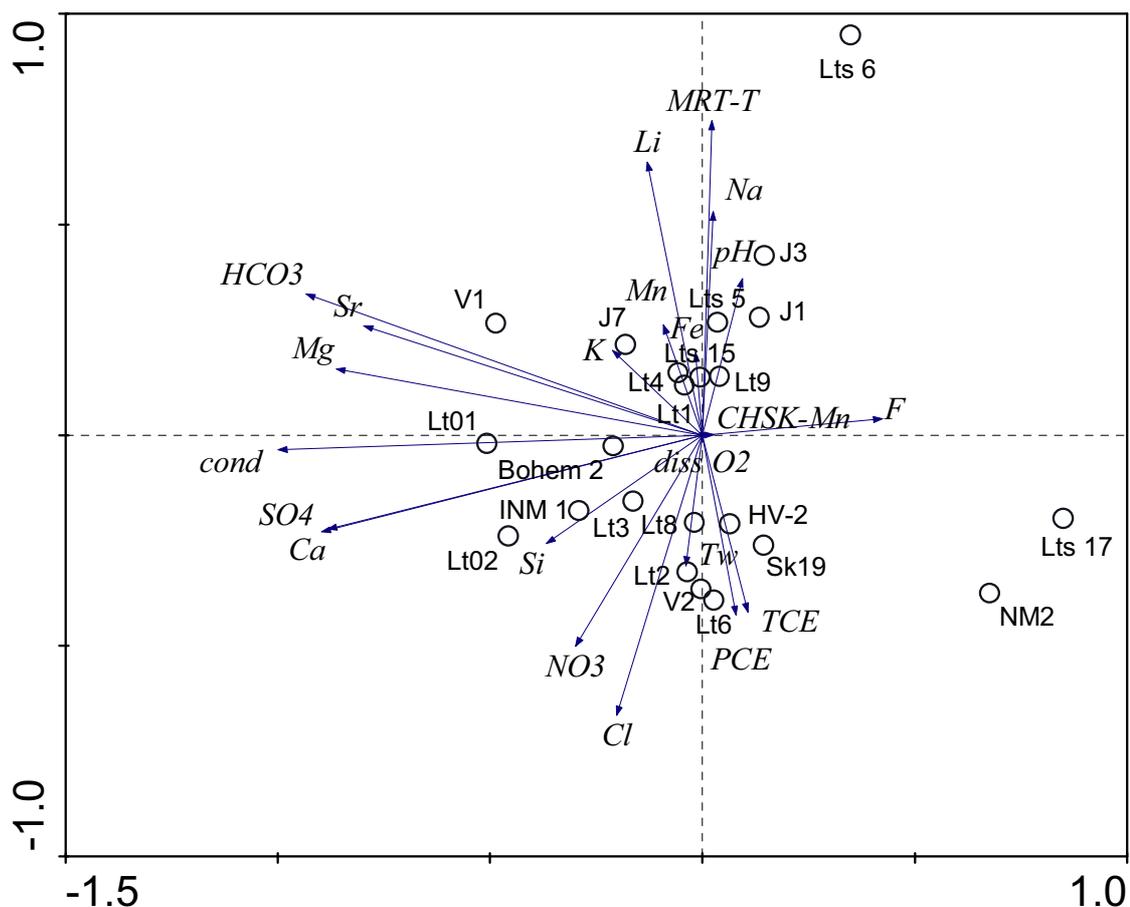
## 5.6. Mnohorozměrná analýza

Na obr. 5 a 6 jsou výsledky PCA analýz – nejprve bez zohlednění souřadnic jednotlivých vrtů, poté s odečtením vlivu prostorového rozmístění vrtů na jejich podobnost. Hlavní charakteristické skupiny, subjektivně odlišené v předchozí kapitole, jsou objektivně rozlišeny i na tomto zobrazení. Hlavní osa, na kterou je promítnut směr největší variability souboru dat, představuje gradient vzrůstající konduktivity a postupného nabývání koncentrací  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{HCO}_3^-$  a  $\text{SO}_4$ . Tato osa vysvětluje v obou případech přes 90 % variability souboru. Osa druhá je pak gradient od vyšších koncentrací chlorovaných uhlovodíků na jedné straně, po vyšší hodnoty střední doby zdržení na straně druhé. Dohromady vysvětlují přes 96 % variability v datech, jedná se tedy o velmi dobré promítnutí dat do dvourozměrného prostoru.

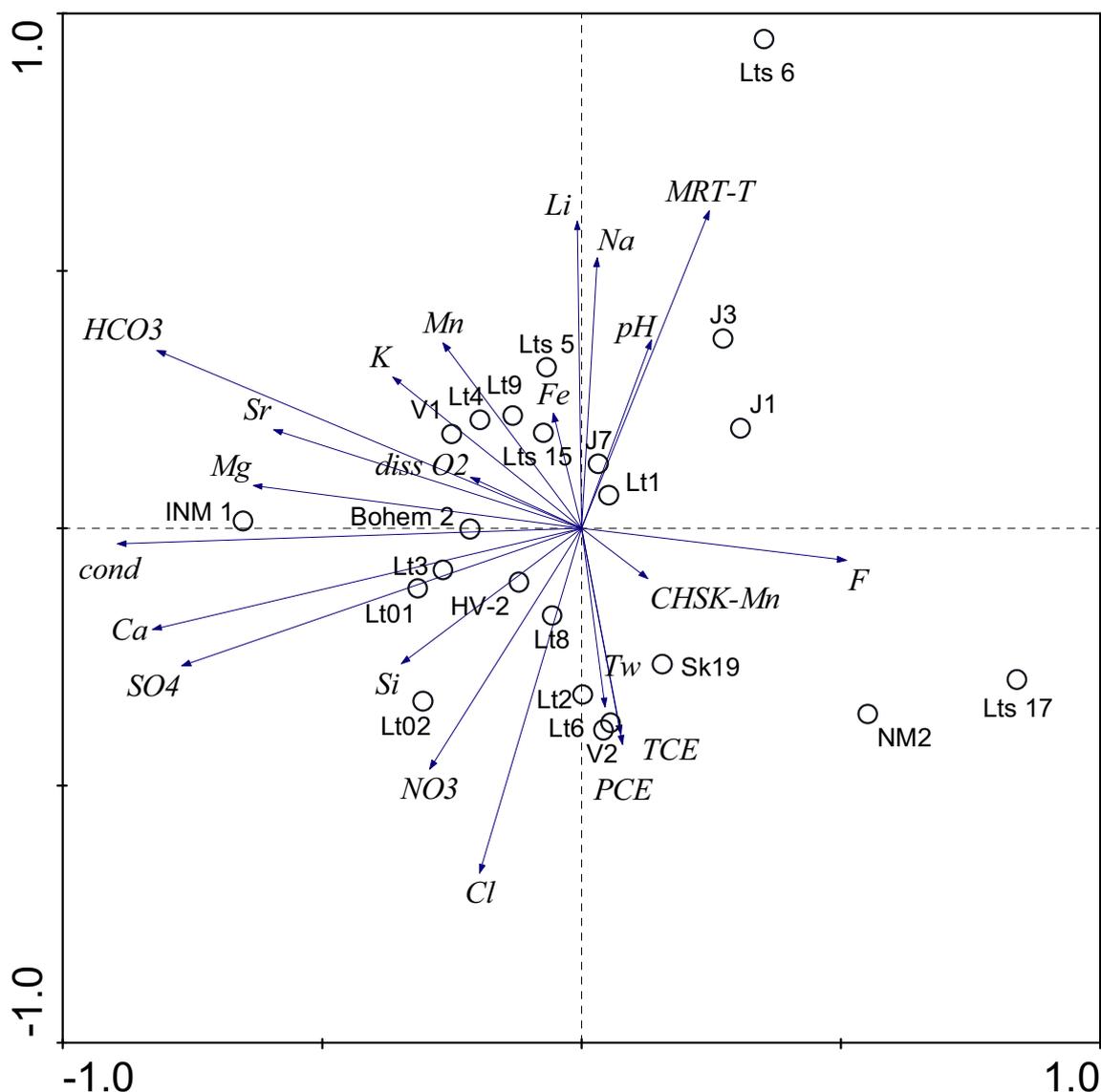
Ukazuje se, že i analýza, která nezohlednila vliv prostorového uspořádání na podobnost vrtů, poskytuje velmi podobné výsledky jako analýza, která tento vliv započítává. Analýza první zobrazuje vrty jen na základě jejich chemického složení, analýza druhá již zohledňuje i prostorové vztahy mezi nimi (vyjádřené polohou vrtu v souřadnicovém systému). Rozdíly mezi nimi se ukázaly jen pro některé vrty, například HV-2.

Tento vrt se na analýze první výrazně připojil do skupiny znečištěných vrtů Lt-2, Lt-6, V-2 a Sk-19, na analýze druhé se již posunul blíže k vrtům Lt-3, Bohemilk 2.

Na výstupu se výrazně odlišily vrty Lts-6, Lts-17 a NM-2, dále je zde možné pozorovat tři výrazné skupiny vrtů. Jedna silně koreluje s hodnotami PCE a TCE – jedná se o vrty Lt-2, Lt-6, V-2 a Sk-19. Druhou, již méně semknutou skupinu pak tvoří vrty Lt-1, Lt-4, Lt-9, Lts-5, Lts-15, J-7 – nejlépe korelovanými parametry jsou obsahy K, Li, Mn a Na a současně se také zvyšuje střední doba zdržení vod. Třetí skupinu tvoří vrty Bohemilk 2, Lt-3, Lt-01 a HV-2, které sledují zejména obsahy Ca a SO<sub>4</sub>.



Obr. 5: Výsledky PCA analýzy. Hlavní osa vysvětlila 93,4 % variability souboru.

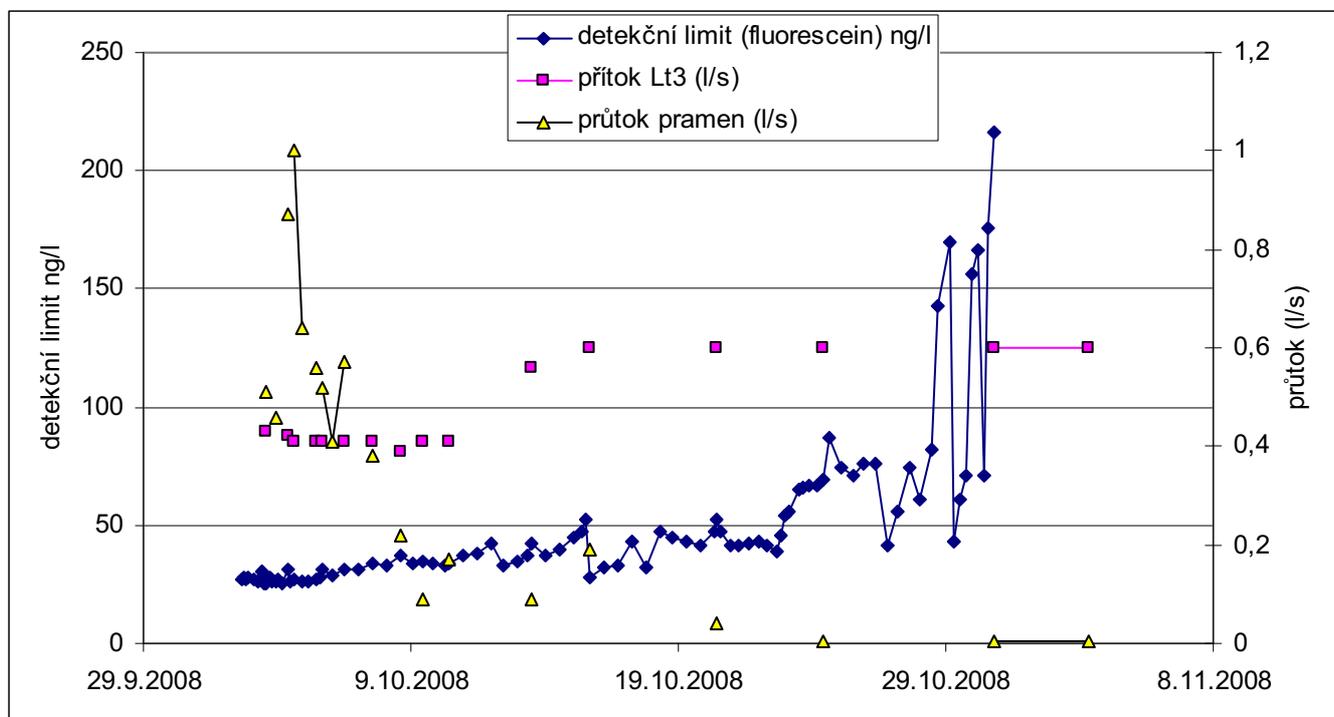


Obr. 6: Výsledky PCA analýzy, kde byl odečten vliv souřadnic na podobnost vrtů. Hlavní osa vysvětlila 92,9 % variability souboru.

## 5.7. Stopovací zkouška

Analyzované vzorky podzemních vod odebírané během stopovací zkoušky na prameni Zlatý Crk nebyly ani v jednom případě pozitivní na obsah fluoresceinu. Pokles vydatnosti pramene přes injektáž téměř konstantního množství vody do vrtu Lt-3 ukázal, že voda z vrtu proudila během stopovací zkoušky jinak než ve směru k prameni, zřejmě směrem k jímacím vrtům Lt-6, Lt-8 nebo Lt-9. Navíc lze poukázat na skutečnost, že pramen Zlatý Crk vykazoval vzhledem k injektované vodě do vrtu Lt-3 odlišnou konduktivitu. Zřejmě tedy byl

dotován vodou od jihovýchodu. Voda směřující do pramene byla zřejmě z výrazné části odváděna k jiným čerpaným vrtům, což vedlo k postupnému zapadnutí pramene. Průběh stopovací zkoušky je pak znázorněn na obr. 7.



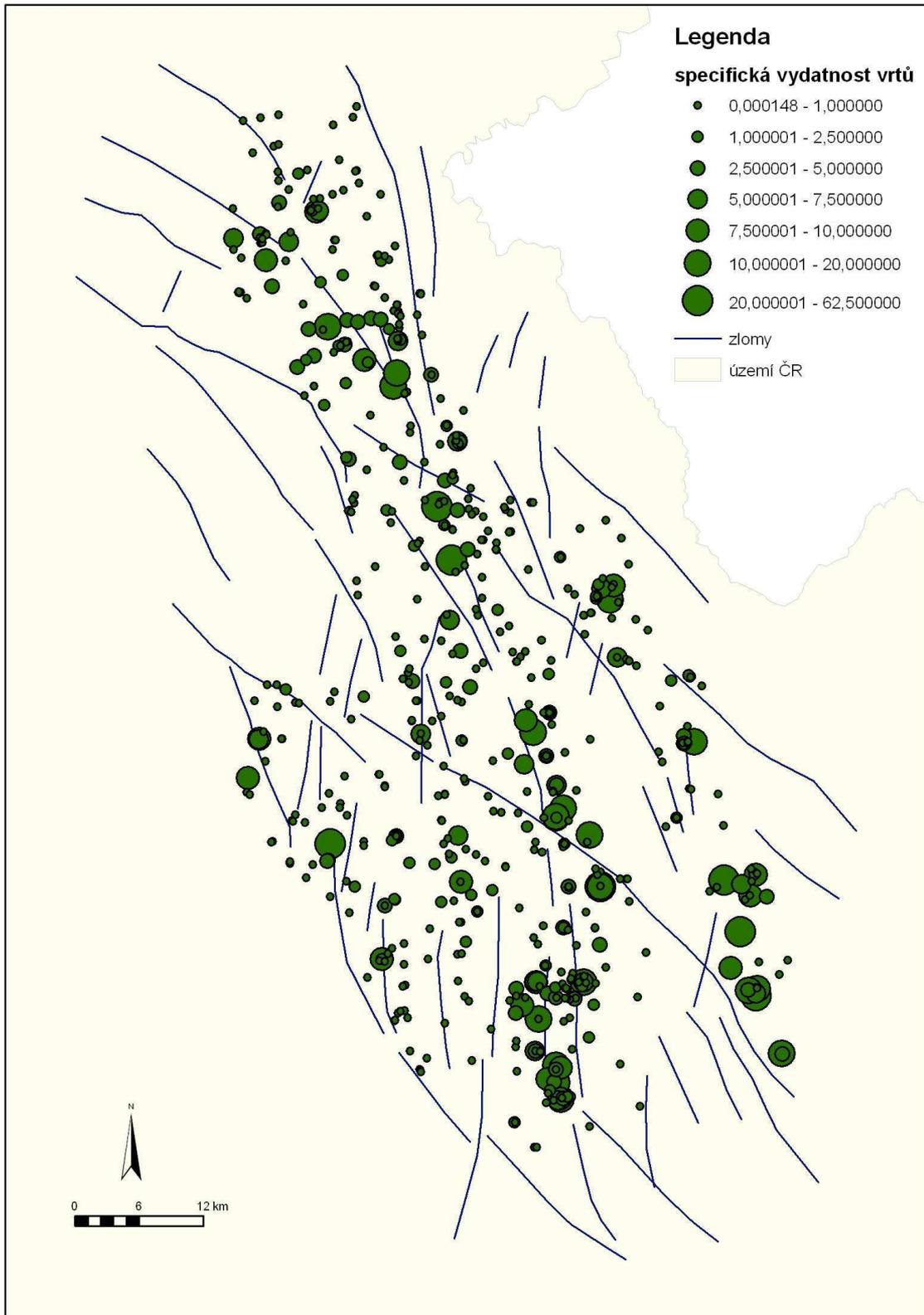
Obr. 7: Průběh stopovací zkoušky na mezi vrtem Lt-3 a pramenem Zlatý Crk.

## 5.8. Vztah mezi vrty a zlomy

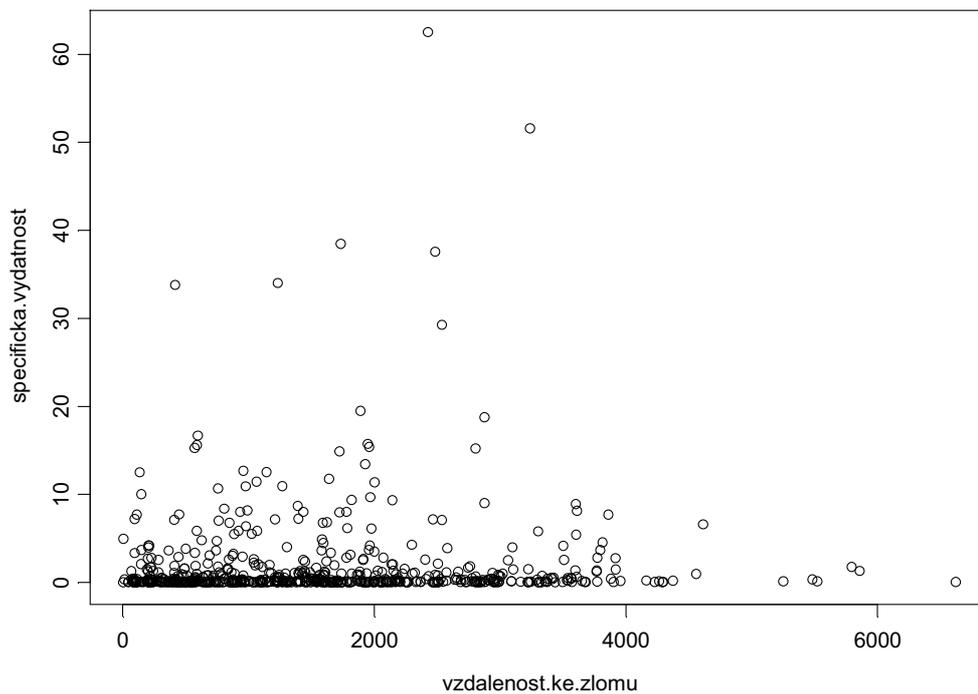
Na obr. 8 jsou znázorněny jednotlivé vrty, rozlišené do kategorií podle specifické vydatnosti, a zlomy v oblasti. Výsledky analýzy, testující závislost specifické vydatnosti na vzdálenosti od zlomu, jsou pak uvedeny v tab. 3. Primární data jsou uvedena v příloze 4. Analýzy kompletního souboru vrtů neprokázaly závislost specifické vydatnosti na vzdálenosti od zlomu, a to ani pro kategoriální, ani spojitou proměnnou vzdálenosti (obr. 9 a 10). Pouze soubor vrtů s větší vydatností než 10 l/s/m (obr. 11) ukázal průkaznou závislost vydatnosti na vzdálenosti, kdy specifická vydatnost roste se vzdáleností od vrtu (obr. 12).

Tab. 3: Výsledky analýz testujících závislost specifické vydatnosti na vzdálenosti vrtu od zlomu. Průkazné p-hodnoty (menší než 0,05) jsou zvýrazněny tučně.

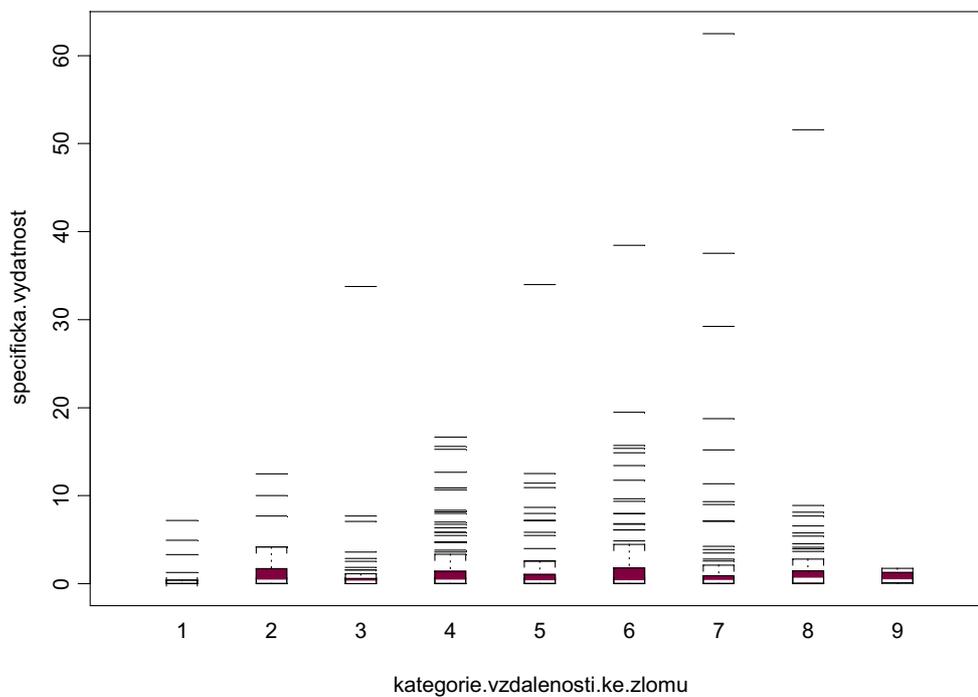
vrty	vzdálenost	p-hodnota	počet stupňů volnosti
všechny	kategoriální	0,176	641
všechny	spojitá	0,266	641
spec. vydatnost > 10 l/s/m	spojitá	<b>0,014</b>	25



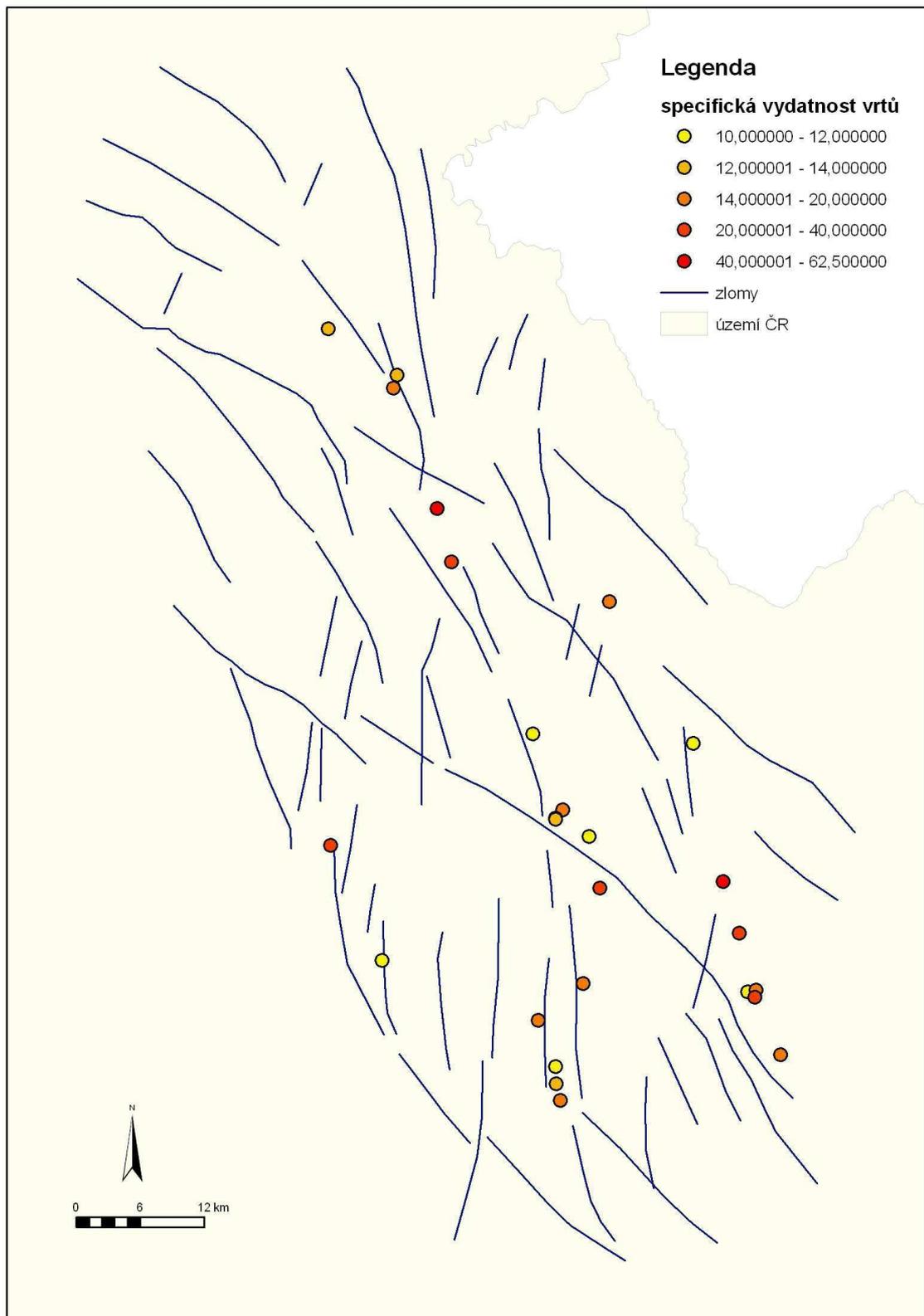
Obr. 8: 643 vrtů z ústecké, kyšperské a novoměstské synklinály, rozděleno podle specifické vydatnosti, na pozadí hlavních zlomů v oblasti.



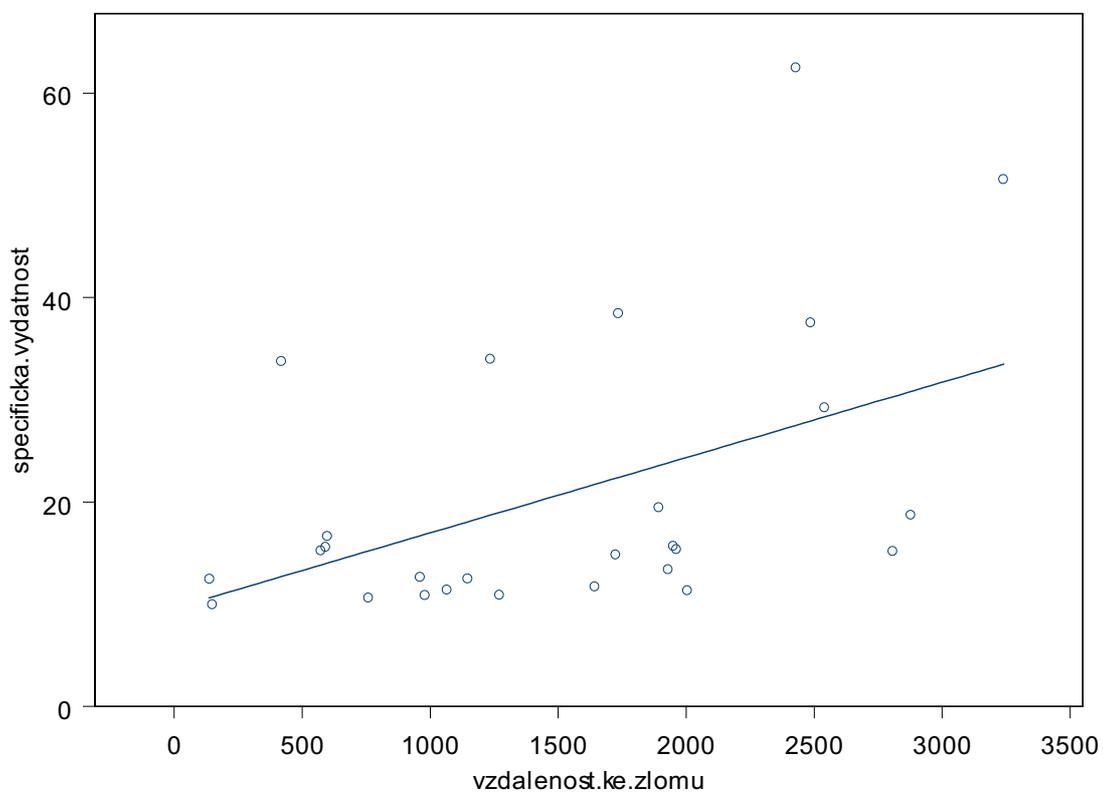
Obr. 9: Specifická vydatnost vrtů s rostoucí spojitou vzdáleností od zlomu – závislost nebyla prokázána.



Obr. 10: Specifická vydatnost vrtů v jednotlivých kategoriích vzdálenosti od zlomu – závislost nebyla prokázána.



Obr. 11: 27 vybraných vrtů z ústecké, kyšperské a novoměstské synklinály se specifickou vydatností  $> 10$  l/s/m, na pozadí hlavních zlomů v oblasti.



Obr. 12: Specifická vydatnost vrtů v závislosti na rostoucí vzdálenosti od zlomu. Podsoubor 27 vrtů se specifickou vydatností > 10 l/s/m. P-hodnota 0,014.

## 6. Diskuze

### 6.1. Zhodnocení stopovací zkoušky

Negativní výsledek stopovací zkoušky nevyvrátil nulovou hypotézu, že voda proudí v oblasti generelním směrem vyznačeným na obr. 1 (kapitola 3.1.). Jedná se o směr severozápadní na obec Pohoří a tedy drenující do toku Dědiny. Tento směr proudění kolem pramene Zlatý Crk podporuje i studie Kněžka (1969).

Injektovaný vrt Lt-3 je situován přímo do velmi drcené zóny téměř horizontálně uložených spodnoturonských sedimentů. V jeho případě se tedy jedná o homogenní prostředí s velkým přtlakem podzemní vody, které odpovídá generelnímu směru proudění (viz obr. 1, kap. 3.1.). Pramen Zlatý Crk, kde byly odebrány vzorky podzemní vody na přítomnost fluoresceinu, je sice od vrtu Lt-3 vzdálen pouhých 100 m (tedy dost blízko na hydraulickou spojitost), avšak směrem jihovýchodním.

Další komplikace stopovací zkoušky poukázaly i na následující skutečnosti. Voda z pramene Zlatý Crk z podstatné části dotuje zvětralinový kvartérní pokryv, a přirozený vývěr pramene byl podstatným způsobem podchycen melioracemi (Kněžek 1969). Ani dotace vody přímo do vrtu Lt-3 během stopovací zkoušky pak neměla pozitivní vliv.

### 6.2. Vztahy mezi vrty a vliv zlomů na proudění v oblasti

Cílem bylo zhodnotit, jak proudění v oblasti souvisí s její zlomovou strukturou. Tato otázka byla zkoumána dvěma způsoby – za prvé na menším počtu vrtů detailním hodnocením charakteru vody v nich obsažených a jejich vzájemné propojenosti, za druhé na větším počtu vrtů analýzou vztahu mezi jejich specifickou vydatností a vzdáleností od nejbližšího zlomu.

#### 6.2.1. *Hodnocení charakteru vod ve vrtech*

Program Canoco obsahuje nástroje na vizualizaci mnohorozměrných dat a jejich promítnutí do dvourozměrného prostoru na základě korelací mezi jednotlivými proměnnými. Na základě statistického hodnocení promítá podobnost zadaných proměnných do prostorového zobrazení objektů.

Výstup PCA analýzy se ve značné části shoduje s rozdělením vrtů na základě podobnosti fyzikálních a chemických parametrů z kapitoly 5.5. V obou rozděleních je patrné několik základních skupin vrtů i to, že některé vrty se výrazně odlišují od všech ostatních. Rozdíly ve výstupech byly většinou minoritní, projevíly se na následujících dvou příkladech.

### **Vrty Lts-6 a Lts-17**

Při subjektivní předběžné klasifikaci (viz kapitola 5.5.) byly tyto dva vrty intuitivně sloučeny do skupiny, která je výrazně odlišná od ostatních vod. PCA analýza je však zobrazila jako dva různé solitérní vrty. Vrt Lts-6 se vyznačuje extrémně vysokým obsahem sodíku, Lts-17 zase extrémně nízkým obsahem hydrogenuhličitanů. Je třeba nicméně hodnoty z těchto vrtů brát s rezervou. Jak poukazuje Kněžek (1991), vrty Lts vlivem konstrukčních problémů při zastížení větší mocnosti jizerského souvrství trpí přetékáním vody z kolektoru B právě do jizerského souvrství.

### **Skupina vrtů V-1, Lt-01 a Lt-02**

Jedná se o blízké vrty jižně od Českého Meziříčí, které byly nejvíce vzdáleny ohniskům znečištění. Vymezují se výrazně vyšší konduktivitou, velmi podobným zastoupením řady chemických prvků a vzájemně shodnou vyšší střední dobou zdržení. Přes tyto velmi výrazné shody je PCA analýza dále rozlišila podle menšího obsahu síranů a vyššího obsahu draslíku ve vrtu V-1 oproti zbylým dvěma. Zachovala jejich pozici na jedné linii, což při vyhodnocování potvrzuje jejich vysokou podobnost. Jejich rozlišení na výstupu PCA analýzy je pouze odrazem menších rozdílů v koncentracích – vzhledem k obecné homogenitě hodnot některých prvků v datech se i malé rozdíly promítají na větší vzdálenost. Tento rozdíl je tak ve skutečnosti zdánlivý, statistické vyhodnocení tak potvrdilo předběžné předpoklady o jejich podobnosti.

#### *6.2.2. Funkce poruchových linií*

Analýzy z kapitoly 5.8. ukázaly, že v celkovém počtu 643 sledovaných vrtů není statisticky průkazná závislost specifické vydatnosti na vzdálenosti od zlomu. Celkově tedy není možné z těchto dat prokázat, že blízkost zlomu ovlivňuje vydatnost vrtu. Pro vrty s větší specifickou vydatností než 10 l/s/m analýza ukázala průkaznou závislost na vzdálenosti od zlomu – konkrétně specifická vydatnost roste se stoupající vzdáleností od zlomu. Nejvydatnější vrty se tak nacházejí v oblastech mezi zlomy.

Z tohoto lze usuzovat, že nejspíše hlavní hydraulická funkce zlomů v oblasti bude mít charakter nepropustné linie. Výsledky mého statistického hodnocení tak potvrzují i nedokončený geofyzikální průzkum z oblasti, prováděný souběžně s vrtnými pracemi Kněžkem (1969). Ten již tehdy upozornil, že hlavní pramenní linie v oblasti Zbytka, u níž je celkové odvodnění uváděno v hodnotách 100-120 l/s, není vázána na zlomovou linii.

Kněžek (1969) dále uvádí zásadní hydrogeologický význam jílovické poruchy, která dle jeho studie tvoří podzemní vodě nepropustnou bariéru. Naopak nejvyšší propustnosti se projevíly denudací svrchního turonu a rozevřením puklin, čili zvýšením propustnosti, v prostoru opočenské synklinály, v prostoru Zbytka a libřické antiklinály u Mokrého (Kněžek 1969). V údolí nivy Dědiny u Mokrého se navíc neprojevuje žádná koncentrovaná pramenní linie, nýbrž dochází k indukci artézského obzoru do kvartéru (Kněžek 1969). Hynie (1949) odhaduje místní hodnoty kolem 30 l/s.

Tyto výsledky z oblasti souhlasí například s výsledky studie Lemieux *et al.* (2006), provedené v puklinovém prostředí dolomitů s mezipolohami dolomitických pískovců. Autoři této studie konstatují, že zásadní vliv pro vedení podzemní vody mají až horizontální vrstevní rozhraní, ne však vertikální zlomy. Aby mohly vertikální poruchy hrát významnější roli ve vedení podzemní vody, považují za nutné jejich rozšíření vlivem například tlakových podmínek či krasového rozpouštění. Tyto závěry o významu horizontálních a vertikálních poruch nejsou ojedinělé (např. Novakowski & Lapcevic 1988, Michalski & Britton 1997 a Muldoon *et al.* 2001). Studie Zanini *et al.* (2000) dochází k těmto závěrům také, a to po dvouletém sledování a vzorkování vrtů v puklinovém prostředí dolomitů na základě podrobných rozborů chemického složení vod a jejich vztahů. Lemieux *et al.* (2006) dále jako hlavní důvod, proč vertikální poruchy nefungují jako vodivé hydraulické linie, uvádějí jejich malou propojenost a rozsah, díky kterým i sama o sobě potenciálně vysoce propustná porucha nefunguje jako vodivá linie pro své okolí.

### **Případ vrtu INM-1**

Vrt INM-1 leží na přímé spojnici mezi vrty zasaženými kontaminací v okolí firmy ELTON a bývalými vodárenskými vrty NM-1 a NM-2. Jedná se o průměrně až podprůměrně vydatný vrt, který se od ostatních charakterem svých vod odlišuje (viz výsledky kapitol 5.4. a 5.5.) Kněžek (1992) uvádí, že po jeho vystrojení nebyly ve spodnoturonské zvodni nalezeny zvýšené koncentrace chlorovaných uhlovodíků, čímž se vrt výrazně lišil od vrtů NM-1 a NM-2. Tyto skutečnosti poukazují na to, že hlavní proud v oblasti byl pravděpodobně ovlivněn

puklinovou zónou, která tyto blízké vrty oddělila. Z toho plyne, že při odhadování proudění v oblasti není na místě jednoduchá interpolace na základě sousedství vrtů. Vzhledem k tomu, že vrt INM-1 byl plánovitě situován do tektonické linie, tento konkrétní příklad by tak potvrzoval výsledky z prostorové analýzy v programu ArcGis 9.2. o snížené propustnosti tektonických linií.

### 6.2.3. Šíření kontaminace

První dílčí otázkou, která má však velmi podstatný vliv na závěry této práce, byl zdroj kontaminace vrtů v jímacím území Litá, jelikož se kromě okolí firmy ELTON v oblasti objevila dvě další ohniska znečištění se zvýšenými koncentracemi chlorovaných uhlovodíků.

První z nich, bývalý závod Karosy v Jaroměři, se nejeví jako pravděpodobný zdroj kontaminace, jelikož zasáhl pouze kvartérní pokryv (VÚV 2005). Také během vzorkování v roce 2008 žádný z okolních vrtů nevykázal zvýšené koncentrace chlorovaných uhlovodíků. Za těchto předpokladů zbývalo rozřešit otázku, s jakou pravděpodobností pochází znečištění na území Lité z bývalého závodu ELTON nebo z okolí bývalé čerpací stanice pohonných hmot v Dobrušce, případně jaká je pravděpodobnost kombinovaného znečištění. Hlavním podpůrným prostředkem v tomto šetření bylo kompletní ovzorkování vrtů celého území, stanovení širokého spektra chemických a fyzikálně-chemických parametrů a následná interpretace a korelace výsledků. Hlavní roli zde sehrály informace o střední době zdržení v jednotlivých vrtech, modelované pomocí programu FlowPC, informace o chemickém složení vod ve vrtech a výsledky PCA analýzy v programu Canoco. Kromě interpretace vlastních měření z roku 2008 bylo možné opřít se i o historická data o průběhu koncentrací sledovaných polutantů na dotčených vrtech Lt-2, Lt-6, Lt-8, V-2, HV-2 v konfrontaci s vrty El-1 a El-6.

Analýzy vzájemných vztahů mezi vrty na základě korelací sledovaných parametrů jednoznačně vyčlenily skupinu kontaminovaných vrtů na jímacím území Litá (Lt-2, Lt-6 a V-2). Další skupinu pak vytvořily vrty Lt-3 a HV-2. Tyto dvě skupiny se kromě množství přítomných chlorovaných uhlovodíků podstatně liší také časem nástupu znečištění.

Ve vrtech první skupiny bylo prokázáno znečištění již na začátku 90. let. Ze mnou provedeného vzorkování v roce 2008 vyplývá, že mají také výrazně vyšší obsahy dusičnanů, výrazně vyšší obsahy PCE a TCE i koncentrace freonů. Významným indikátorem zdroje znečištění je pak poměr obsahů TCE/PCE v monitorovaných vrtech oblasti a možných zdrojích znečištění. Poměr TCE/PCE se ve vrtech ve skupině 1 drží na konstantní hodnotě

(kolem 0,25), která při shlazení průběhů téměř odpovídá poměru TCE/PCE ve vrtech v okolí firmy ELTONu. Na druhou stranu průběh poměru TCE/PCE na vrtu HV-2 v období mezi lety 2000 až 2008 je značně dynamický a v počátcích nabýval hodnot 1 a více. Z toho lze usuzovat, že poměrně nedávný výskyt polutantů v mírně nadpožad'ových hodnotách (PCE 0,075 µg/l, TCE 0,066 µg/l) na vrtu Lt-3, kde byl zjištěn poměr TCE/PCE roven 1, je svým charakterem mnohem bližší znečištění z oblasti Dobrušky. Z celé této mozaiky lze tedy poměrně jednoznačně usuzovat, že za znečištěním vrtů Lt-3 a HV-2 je jiný zdroj než za znečištěním vrtů v oblasti Zbytky.

Vzhledem k uvedeným skutečnostem a prostorové situaci je tak možné usuzovat, že znečištění v oblasti Lité je spojeno se znečištěním v oblasti Nového Města nad Metují a že znečištění vrtů Lt-3 a HV-2 souvisí se znečištěním v okolí Dobrušky.

#### *6.2.4. Proudění vysoce propustnými zónami*

Jestliže jsem se v předešlých úvahách zabýval šířením kontaminace v oblasti mezi Novým Městem nad Metují a jímacím územím Litá, mohu se nyní přesunout k hlavní otázce mé práce, kterou je přítomnost a význam vysoce propustných zón v kolektoru B.

Prvním vodítkem k prokázání takovýchto zón jsou zjištěné vysoké rychlosti proudění podzemní vody mezi Novým Městem nad Metují a vrty na jímacím území Litá. Ke kontaminaci v oblasti došlo pravděpodobně v roce 1985 a zvýšené koncentrace PCE ve vrtech Lité se objevily poprvé v průběhu roku 1992. Vrty v oblasti Lité jsou od vrtů, na nichž byla kontaminace objevena nejdříve, vzdáleny cca 10 kilometrů – tuto vzdálenost pak čelo kontaminačního mraku urazilo za cca 7 let. Tato rychlost je již taková, že minimálně část vzdálenosti se musela kontaminace šířit nějakou vysoce propustnou preferovanou zónou.

Druhým velmi silným argumentem pro přítomnost preferenčních zón s vysokou rychlostí proudění je i směrový charakter šíření kontaminace. Kontaminace se nešířila rovnoměrně v generálním směru proudění, jak by odpovídalo šíření homogenně rozpukáním prostředím, nýbrž je její výskyt špatně předvídatelný. Pakliže by se kontaminace šířila prostředím rovnoměrně, měla by postupovat od Nového Města nad Metují na následující vrty:

INM-1, NM-1, NM-2, Lt-4, Lts-6, Lts-5, Lt-8, Lt-6, Lt-2 a V-2.

Zasaženy by přitom byly pravděpodobně přibližně v uvedeném pořadí. Ve skutečnosti na některých z nich nebyla kontaminace nalezena zdaleka v takové míře či časovém období, jak by homogennímu šíření odpovídalo.

Ze zmíněných vrtů se vrt INM-1 nachází v nejbližším předpolí kontaminace. Jak již bylo řečeno, byl odvrtný z důvodů pozice na zlomu, o němž se předpokládalo, že by měl být hlavní vodivou linií oblasti. Nízké zjištěné koncentrace chlorovaných uhlovodíků ve vodě vrtu spolu s jeho nižší vydatností však prokázaly, že nejenže zlomová linie není vysoce propustná, nýbrž i to, že lineární interpolace prostorového šíření kontaminace nebyla na místě.

Poměrně zajímavá se ukázala být situace pro jímací vrty NM-1, NM-2 a Lt-4. Zde časové řady znečištění poukázaly na velmi zajímavý fenomén. Tyto vrty zřejmě totiž jako první zareagovaly na šíření kontaminace chlorovanými uhlovodíky. Vrty řady NM vykazovaly značné znečištění, tudíž byl jejich provoz omezen a nakonec byly definitivně odstaveny. Zároveň s tím se ovšem začal vrt Lt-4 (jehož hodnoty znečištění byly vždy nižší než u vrtů NM) samovolně čistit a po definitivním odstavení začaly i vrty NM postupně během roku 1991 vykazovat snižující se hodnoty znečištění, a to navzdory skutečnosti, že počátkem roku 1999 musela být sanace na lokalitě ELTON z finančních důvodů ukončena. Z mého šetření lze tedy předpokládat, že vrty NM mohly principem spojitých nádob díky dosahu svých depresních kuželů stahovat k sobě část znečištění z vysoce propustné zóny. Šíření kontaminace do vrtu Lt-4 v určitém časovém období nelze vysvětlit jiným způsobem.

V případě vrtů Lts-5 a Lts-6 by se za předpokladu spojitého homogenně rozpukaného prostředí dalo předpokládat doputování kontaminace vlivem hydrodynamické disperze i do těchto vrtů. Vody z těchto vrtů však nikdy znečištění nevykazovaly. Z hlediska interpretace podporující vytyčenou hypotézu se nicméně zmíněné vrty potýkají s několika problémy. Oba vrty se pozičně nacházejí za zlomovou linií, u níž nelze s dostatečnou přesností zhodnotit její hydraulický vliv. V případě vrtu Lts-6 je známa skutečnost, že není proveden dostatečně kvalitně. Vrt není úplný a navíc zastihuje kolektor B pouze v jeho nejmělejší partii, tedy pouze cca 10 m. Dále na něm dochází k přetékání a míšení vod kolektoru B s vodami středního turonu. Z těchto důvodů byl vyřazen z regionální pozorovací sítě (Kněžek 1991). V případě vrtu Lts-5 je situace poněkud odlišná. Vrt se nachází v předpolí vrtu Lt-8 na přímé spojnici k ohnisku znečištění. Leží však ve špičce zlomově ohraničené kry, přičemž u východní větve bohuslavického zlomu se dá předpokládat spíše nepropustný charakter. Vrt se totiž svými vlastnostmi, ale především střední dobou zdržení, mnohem více podobá vrtu Lt-9, jenž je od něj vzdálen cca 2 kilometry jihovýchodním směrem.

Nejzajímavější rozbor situace tak spadá na hlavní zasažené vrty v oblasti Litá, tedy V-2, Lt-2, Lt-6 a Lt-8. Tyto vrty tvoří hlavní hydraulickou linii exploatace podzemní vody v jímacím území Litá.

Vrty Lt-2, Lt-6 a V-2 tvoří těsnou skupinu, jasně patrnou na všech výstupech analýz hodnotících podobnost vrtů, diskutovat lze tedy především vrt této skupině příbuzný, Lt-8. Domnívám se, že vrty Lt-2, Lt-6 a V-2 jsou nejbližší situované ke mnou předpokládané hlavní propustné zóně, jež vyvěrá prameny Litá 1 a Litá 2. Zvláštností pak je, že vrt Lt-2 nevykazuje dlouhodobě tak stabilní znečištění jako vrty Lt-6 a V-2. Dle výstupu PCA analýzy lze dokumentovat, že z této skupiny je vrt Lt-2 nejpodobnější vrtu Lt-8.

Vrt Lt-8 také vykazoval v minulosti mírně nadpozařové hodnoty znečištění chlorovanými uhlovodíky, hodnoty však byly vždy nižší než u ostatních vrtů na Litě. Dále je na výstupu PCA analýzy vidět, že vrt Lt-8 se svým charakterem blíží i vrtu Lt-3.

Lze tedy ze zmíněných šetření předpokládat, že hlavní pramenní oblast Litá by mohla být vyústěním a tedy míšením dvou vysoce propustných zón: jedna z nich, ve směru od Nového Města nad Metují, kontaminaci obsahuje, druhá ve směru pozice vrtu Lt-9 kontaminována není. Vrt Lt-8 by pak pozičně ležel na pomezí těchto dvou hlavních propustných zón. Odpovídá tomu podobnost se skupinou vrtů Lt-2, Lt-6 a V-2 na straně jedné a vrty Lt-3 a Lt-9 na straně druhé.

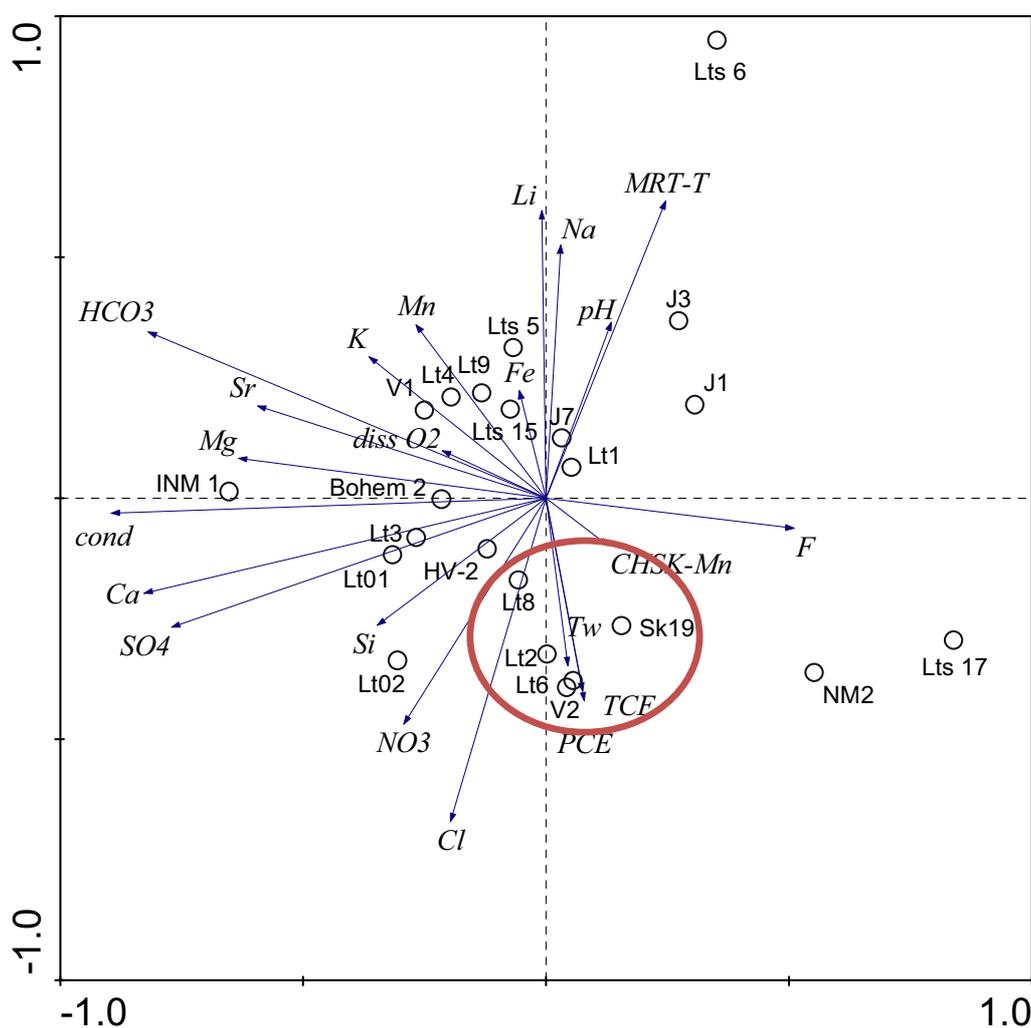
Toto tvrzení je možné podpořit především odlišnou střední dobou zdržení těchto skupin. Skupina vrtů Lt-2, Lt-6 a V-2 vykazuje nižší hodnoty než vrt Lt-8, na druhé straně vrt Lt-9 vykazuje vyšší střední dobu zdržení. Dále i jednotlivé chemické parametry ukazují na hraniční pozici vrtu Lt-8 mezi vrty Lt-6 a Lt-9 – výrazné jsou zejména stoupající obsahy chloridů a dusičnanů a klesající obsah sodíku ve směru Lt-9 – Lt-8 – Lt-6. Je tedy pravděpodobné, že vrt Lt-8 svým depresním kuželem stahuje vody z obou propustných zón a ve vrtu pak dochází k jejich míšení.

Navíc lze zdůraznit, že při vrtných pracích v roce 1969 byla ve vrtu Lt-2 zastižena průtokem vody rozšířená a ohlazená puklina se severojižním průběhem o šířce patnácti centimetrů (Kněžek 1969).

Posledním a nejkontroverznějším objektem mé práce se stal vrt Sk-19 v Šestajovicích. Vrt se totiž svými vlastnostmi velmi výrazně blíží skupince hlavních kontaminovaných vrtů z prameniště Litá (vrty Lt-2, Lt-6 a V-2). Naznačují to výsledky srovnání chemického a fyzikálních složení vody a doby zdržení (kap. 5.5), a tuto domněnku potvrdily výsledky PCA

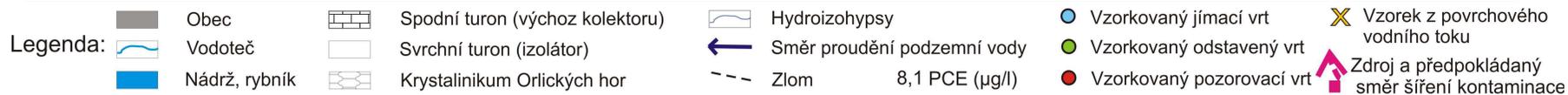
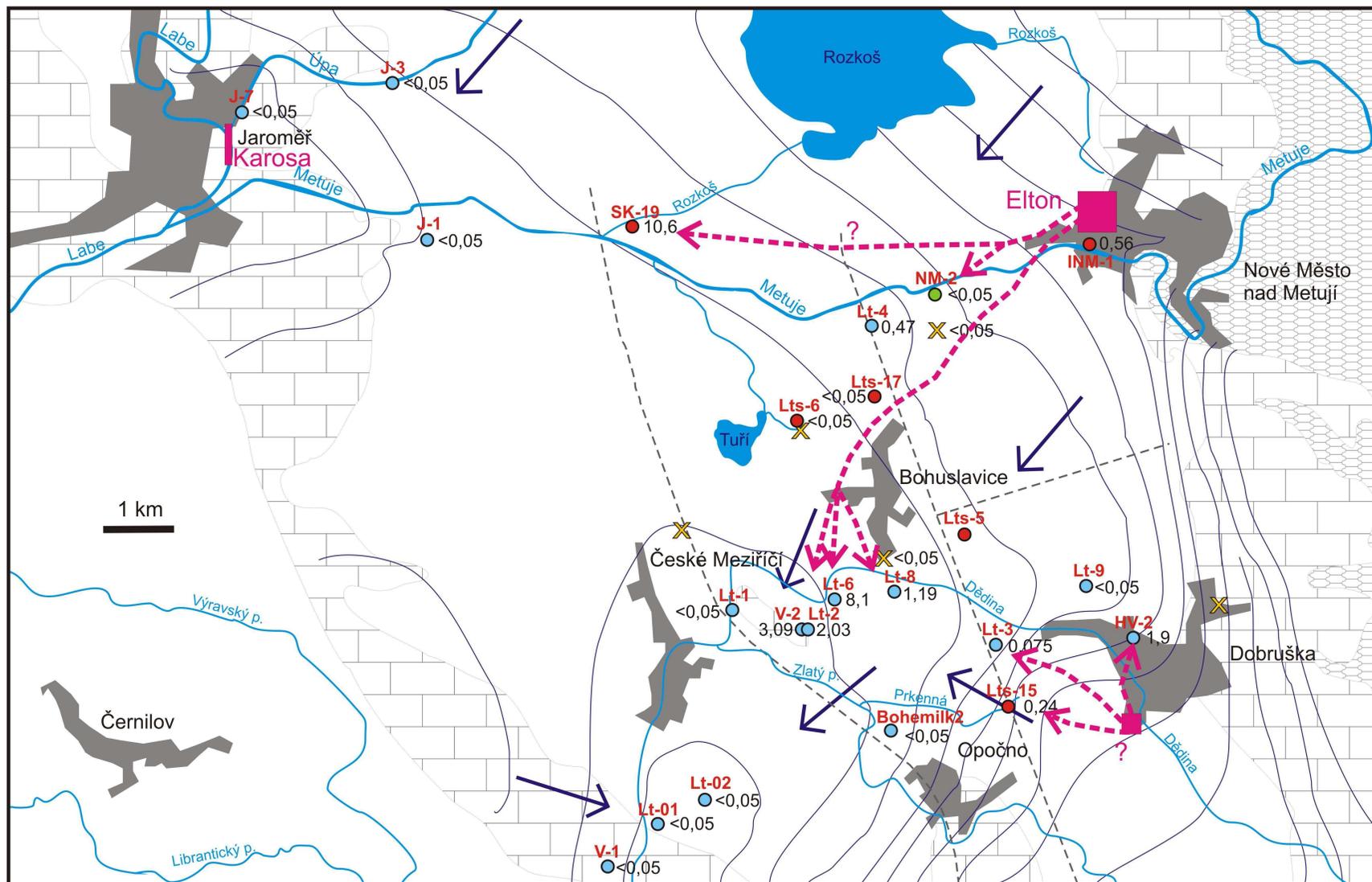
analýzy navzdory tomu, že prostorová pozice vrtu Sk-19 je úplně jiná než skupiny hlavních kontaminovaných vrtů (obr. 13).

To, že vrt Sk-19 je příbuzný s hlavní skupinou vrtů na Lité (vrty Lt-2, Lt-6 a V-2), naznačuje řada znaků. Především má vrt téměř stejnou střední dobu zdržení (20-30 let), která naznačuje velkou rychlost proudění k tomuto vrtu. Má téměř identické hodnoty většiny sledovaných chemických parametrů, namátkou obsahu hydrogenkarbonátů, síranů, hořčíku... Nejzřetelnějším důkazem příbuznosti vod jsou však stejné charakteristiky znečištění jako na vrtech Lt-2, Lt-6 a V-2. Je patrná shoda se všemi těmito vrty v časových průbězích koncentrací TCE, PCE i jejich poměru, ačkoli datová řada z jeho odběrů není tak hustá.



Obr. 13.: Výstup PCA analýzy, kde je jasně patrná podobnost vrtu Sk-19 se zasaženými vrty v jímacím území Litá.

Důkazy podporující příbuznost vrtu Sk-19 s postiženými vrty na Lité naznačují existenci jevu zvaného bifurkace, kdy se hlavní vodivá zóna rozdělí do dvou „kanálů“, z nichž každý vede vodu jiným směrem. Graficky je předpokládané proudění znázorněno na obr. 14. Právě největší kontroverzí zmíněného vrtu a jeho pozorovaných charakteristik je jeho velmi výrazný nesoulad s mapou generelního proudění podzemní vody ve struktuře. Na druhé straně tím podává jeden z nejsilnějších důkazů mé práce na potvrzení výskytu vysoce propustných zón v oblasti a tedy možnost aplikace krasového pojetí proudění na daný region.



Obr. 14: Obsahy PCE v µg/l ve studovaných vrtech v létě 2008. Fialové čtverce jsou zdroje znečištění CIU v zájmovém území a přerušovanou čarou jsou vyznačeny předpokládané směry šíření kontaminace.

## 7. Závěr

V předkládané práci jsem se zabýval charakterem proudění podzemní vody a propustných zón ve slínovcových horninách východočeských synklinál české křídové pánve. Vybrané území jihozápadně od Nového Města nad Metují poskytovalo díky dvacetileté historii kontaminace chlorovanými uhlovodíky a široké paletě zpráv o jímacím území Litá, které představuje velmi významný zdroj podzemní vody pro oblast krajského města Hradce Králové, vhodné typové území pro tuto studii.

Na základě literárních údajů o kontaminacích bylo vybráno 23 vrtů a 4 lokality povrchových toků, na kterých jsem v roce 2008 pod vedením školitele a ve spolupráci s firmou DEKONTA a.s. provedl rozsáhlé vzorkování podzemních a povrchových vod za účelem stanovení základních chemických a fyzikálních parametrů, stanovení obsahů přirozených stopovačů, určení střední doby zdržení a zjištění aktuálních koncentrací chlorovaných uhlovodíků v podzemních vodách vytěčené oblasti. Stanovení parametrů proběhlo v laboratořích PřF UK (O. Šebek, Z. Churáčková) a v Analytických laboratořích Plzeň a.s. (na stanovení chlorovaných uhlovodíků).

Z těchto dat pak ve své práci hodnotím charakter a příbuznost vod v jednotlivých vrtech. Dále jsem shromáždil a vyhodnotil veškerá dostupná archivní data o průbězích koncentrací chlorovaných uhlovodíků na sledovaných vrtech v blízkosti Nového Města nad Metují a v jímacím území Litá. Výsledky umožnily rozdělit vrty a studované území na několik rozdílných oblastí, kdy se výrazně liší vrty v oblasti Jaroměře, dále vrty v oblasti jižně od Českého Meziříčí (V-1, Lt-01, Lt-02), skupina tvořená vrty Lt-3, Bohemilk 2 a HV-2, jim blízká skupina vrtů Lt-9, Lts-15 a Lt-1 a nakonec skupina vrtů v oblasti Zbytka (Lt-2, Lt-6, V-2). K posledně uvedeným se pak řadí svým charakterem i vrt Sk-19.

V létě 2008 jsem provedl stopovací zkoušku na lokalitě vrtu Lt-3 v blízkosti pramene Zlatý Crk. Ta bohužel nepřinesla průkazné výsledky, nicméně poukázala na složitost systému puklinové porozity a jeho nesnadnou předvídatelnost.

Ve druhé části práce jsem se věnoval analýze vztahu mezi propustností slínovcových kolektorů a přítomností zlomových linií v širší oblasti východočeských synklinál pomocí GIS a statistických metod. Na to jsem použil data o rozmístění zlomů a data o specifické vydatnosti 643 vrtů hlubších než 30 metrů. Analýzy prokázaly, že pro vrty s větší specifickou vydatností než je 10 l/s/m roste specifická vydatnost se vzdáleností od zlomu. Výsledky ukazují, že nejvydatnější vrty se nacházejí v prostorech mezi zlomy, což naznačuje v generelu spíše nepropustnou nebo jen velmi omezeně propustnou funkci zlomů.

Na základě výsledků vzorkování, analýz, terénních měření a archivních dat o znečištění struktury kolektoru B jsem provedl rozsáhlé šetření, jež mělo potvrdit či vyvrátit přítomnost

vysoce propustných zón preferenčního proudění podzemní vody. Předkládané výsledky ukazují velkou rychlost proudění podzemní vody po preferenčních zónách a výrazně nerovnoměrné šíření kontaminantu v čase a prostoru (dokládáno případy vrtů INM-1, Lt-4 a situací kolem vrtů Lt-2, Lt-8 a Lt-9). Tyto údaje představují velké množství silných, nicméně nepřímých důkazů, které existenci zmíněného systému propustnějších zón potvrzují. Navíc poznatky z vrtu Sk-19 poukazují na skutečnost, že aplikace krasového typu proudění podzemních vod na slínovcové prostředí české křídové pánve není neopodstatněná, ba je spíše vhodná s ohledem na získané výsledky. Charakter vod ve vrtu Sk-19 totiž dokládá přítomnost bifurkace toku podzemní vody, tak typické pro vyvinutá krasová prostředí.

Výsledky práce byly využity firmou DEKONTA a.s. k doplnění rizikové analýzy jímacího území Litá v roce 2009 a budou dále využívány při pokračujících prováděných sanačních opatřeních v oblasti Nového Města nad Metují a prameniště Litá.

## 8. Literatura

- Andersson J. & Dverstorp B. (1987): Conditional simulations of fluid flow in three-dimensional networks of discrete fractures. *Water Resources Research* 23: 1876-1886. In Kurtzman D., Nativ R. & Adar E.M. (2007): Flow and transport predictions during multi-borehole tests in fractured chalk using discrete fracture network models. *Hydrogeology Journal* 15: 1629-1642
- Atkinson T.C. (1977): Diffuse flow and conduit flow in limestone terrain in the Mendip Hills, Somerset (Great Britain). *Journal of Hydrology*, 35: 93-110
- Berkowitz B. (2002): Characterizing flow and transport in fractured geological media: a review. *Advances in Water Resources* 25: 861-884
- Bruthans J. & Kadlecová R. (2005): Využití freonů (CFC 11, 12, 113), SF6 a tritia pro určení zastoupení recentních vod kontaminovaných dusičnany v české křídové pánvi (jímací území Litá a Řepínský důl). *Zprávy o výzkumech v roce 2004*: 161-163, ČGS, Praha
- Bruthans J., Zeman O. & Vysoká H (2001): Geologie a hydrogeologie Bartošovy pece a okolí. In: Bosák P. & Novotná J. (eds.): *Speleofórum 2001, ČSS a Zlatý kůň*, 20: 39-44, Praha
- Busenberg E. & Plummer L. N. (1992): Use of chlorofluorocarbons (CCl<sub>3</sub>F and CCl<sub>2</sub>F<sub>2</sub>) as hydrologic tracers and age-dating tools: Example-The alluvium and terrace system of central Oklahoma. *Water Resources Research* 28: 2257-2284.
- Cacas M.C., Ledoux G., de Marsily G., Tillie B., Barbreau A., Durand E., Feuga B. & Peaudecerf P. (1990a): Modeling fracture flow with a stochastic discrete calibration fracture network and validation. 1. The flow model. *Water Resources Research* 26: 479-489
- Cacas M.C., Ledoux G., de Marsily G., Tillie B., Barbreau A., Durand E., Feuga B. & Peaudecerf P. (1990b): Modeling fracture flow with a stochastic discrete calibration fracture network and validation. 2. The transport model. *Water Resources Research* 26: 491-500
- Cappa F. (2006): Role des fluides dans le comportement hydromécanique des roches fracturées hétérogènes: Caractérisation in situ et modélisation numérique. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment* 65: 321-337
- Cohen A.J.B. (1995): Hydrogeologic characterization of fractured rock formations: a guide for groundwater remediators. Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory Rep LBL- 38142/UC-800, 144 pp. In Muldoon M.A., Simo J.A. (Toni) &

- Bradbury K.R. (2001): Correlation of hydraulic conductivity with stratigraphy in a fractured-dolomite aquifer, northeastern Wisconsin, USA. *Hydrogeology Journal* 9: 570-583
- Černý J. (1991): Projekt průzkumu znečištění v areálu závodu. KAP Liberec, pp. 10
  - Demek J. & Mackovčín P. (2006): *Zeměpisný lexikon ČR: Hory a nížiny*. Brno : Agentura ochrany přírody a krajiny ČR, pp. 582
  - Dunkle S. A., Plummer L. N., Busenberg E., Phillips P. J., Denver J. M., Hamilton P. A., Michel R. L. & Coplen T. B. (1993): Chlorofluorocarbons (CCl<sub>3</sub>F and CCl<sub>2</sub>F<sub>2</sub>) as dating tools and hydrologic tracers in shallow ground water of the Delmarva Peninsula, Atlantic Coastal Plain, United States. *Water Resources Research* 29: 3837-3860.
  - ESRI (2007): ArcGIS Desktop Help 9.2, <http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.2>
  - Fadrhons A. (1995): Zpráva o monitoringu kontaminace podzemních vod chlorovanými uhlovodíky v území jižně od závodu ELTON a.s. Nové Město nad Metují (prosinec 1995). KAP Liberec, pp. 27
  - Field M. (2002): The QTRACER2 program for Tracer Breakthrough Curve Analysis for Tracer Tests in Karstic Aquifers and Other hydrologic Systems. – U.S. Environmental protection agency hypertext multimedia publication in the Internet at <http://cfpub.epa.gov/ncea/cfm/recordisplay.cfm?deid=54930>
  - Halík O. (1992): Šestajovice – čerpací zkouška – zpráva. Aquatest Stavební geologie a.s., Praha, pp. 34
  - Herčík F. & Herrmann Z. (1987): Hydrogeologická syntéza české křídové pánve, bilanční celek 9 (křída severně od Jílovické poruchy – hydrogeologické rajóny 422, 424, 425), Stavební geologie n.p., Praha, pp. 147
  - Herčík F., Herrmann Z. & Valečka J. (2003): Hydrogeology of the Bohemian Cretaceous Basin. Czech Geological Survey, Prague, pp. 91
  - Herrmann Z. (1990): Zpráva o výsledcích průzkumných geologických prací – Litá, Stavební geologie, sp. Praha – Závod Aquatest, pp. 63
  - Herrmann Z. (1991): Zpráva o výsledcích geologicko-průzkumných prací. Litá režim 1969-1990. Aquatest – Stavební geologie a.s. Praha, pp. 37
  - Herrmann Z. (1995): Litá – Zbytka, přírodní rezervace, hydrogeologické a biologické hodnocení. Aquatest – Stavební geologie a.s. Praha, Hradec Králové, pp. 59
  - Herrmann Z. (2005): Litá – ochranná pásma. Aquatest. Praha P114081
  - Herzig J. & Černý J. (1993): Zpráva – ELTON a.s. Nové Město nad Metují – Sanace podzemní vody kontaminované chlorovanými uhlovodíky. KAP Liberec, pp. 77

- Herzig J. & Prášek A. (1994): Zpráva o sanaci kontaminace chlorovanými uhlovodíky v závodě ELTON a.s. Nové Město nad Metují za období leden-říjen 1994. KAP Liberec, pp. 61
- Herzig J. (1993a): ELTON a.s. Nové Město nad Metují – Zpráva o sanaci podzemní vody kontaminované chlorovanými uhlovodíky za období leden-červenec 1993. KAP Liberec, pp.29
- Herzig J. (1993b): Etapová zpráva o sanaci podzemní vody kontaminované chlorovanými uhlovodíky v závodě ELTON a.s. Nové Město nad Metují za období červenec-listopad 1993. KAP Liberec, pp.46
- Herzig J. (1996): Zpráva o sanaci podzemních vod kontaminovaných chlorovanými uhlovodíky v závodě ELTON a.s. Nové Město nad Metují za období listopad 1995 – říjen 1996. KAP Liberec, pp. 59
- Herzig J. (1998): Zpráva o monitoringu sanace kontaminace chlorovanými uhlovodíky v závodě ITEC group a.s. Nové Město nad Metují za rok 1997. KAP Liberec, pp. 29
- Herzog F. (1993): Prameniště Litá: Monitoring podzemní vody – Projekt prací. Aquatest Stavební geologie a.s., Praha, pp. 8
- Herzog F. (1994a): Nové Město nad Metují – Jaroměř: Monitoring podzemní vody – Roční etapa 1993-1994. Aquatest Stavební geologie a.s., Praha, pp. 9
- Herzog F. (1994b): Prameniště Litá: Monitoring podzemní vody – Roční etapa 1993-1994. Aquatest Stavební geologie a.s., Praha, pp.14
- Hinds J.J., Bodvarsson G.S. & Nieder-Westermann G.H. (2003): Conceptual evaluation of the potential role of fractures in unsaturated processes at Yucca Mountain. *Journal of Contaminant Hydrology* 62-63: 111-132
- Hynie O. (1949): Vodárensky využitelné vydatné nádrže podzemních vod v Čechách. *Geotechnica* 8, Praha, pp.115
- Hynie O. (1961): *Hydrogeologie ČSSR I.*, Praha
- Charmoille A., Binet S., Bertrand C., Guglielmi Y. & Mudry J. (2009): Hydraulic interactions between fractures and bedding planes in a carbonate aquifer studied by means of experimentally induced water-table fluctuations (Coaraze experimental site, southeastern France). *Hydrogeology Journal* 17: 1607-1616
- Kameníková B. (2008): Informace o vzorkování chlorovaných uhlovodíků na zasažených vrtech na prameništi Litá. Blanka Kameníková, Královéhradecká Provozní a.s., Víta Nejedlého 893, Hradec Králové, 500 03

- Käss W., Behrens H., Himmelsbach Th., Hötzl H., Hunkeler D., Leibundgut C. H., Moser H., Rossi P., Schultz H. D., Stober I. & Werner A. (1998): Tracer technique in geohydrology. Balkema, Rotterdam, pp. 581
- Klimchouk A.B., Ford D.C., Palmer A.N. & Dreybrodt W. (2000): Speleogenesis, Evolution of Karst Aquifers. NSS, Huntsville, USA, pp 521
- Kliner K. & Novák J. (1987): Litá – prostorový režim (hydrologické hodnocení), Vodní zdroje, n.p., Praha, pp. 41
- Klír S. (1992): Zprávy o výsledcích geologicko-průzkumných prací. Název úkolu: posouzení těžby podzemních vod z hydrogeologické struktury Litá ve vazbě na skupinový vodovod Dobruška. Artezia, Praha, pp. 7
- Kněžek V. & Debeřová A. (1988): Projekt sledování šíření kontaminace po havarijním úniku ropných látek – hydrogeologická část. Vodní zdroje n.p., Praha, pp. 9
- Kněžek V. & Polesná J. (1993): Nové Město nad Metují – havarijní znečištění podzemní vody. Vodní zdroje GLS, Praha, pp. 28
- Kněžek V. & Polesná J. (1994): Nové Město nad Metují – monitorování jakosti podzemní vody. Vodní zdroje GLS, Praha, pp. 8
- Kněžek V. (1969): Závěrečné zhodnocení hydrogeologického průzkumu v prameništi Litá. Vodní zdroje, Praha, pp. 96
- Kněžek V. (1988a): Projekt sledování šíření kontaminace po havarijním úniku ropných látek – Hydrogeologická část, Praha 1988, Vodní zdroje n.p. Praha – pro ELTON (koncernový podnik Nové Město nad Metují), 9 pp
- Kněžek V. (1988b): Nové Město nad Metují – Rámcový návrh prací pro odstranění následků havarijního úniku ropných látek a nepolárních organických látek. Vodní zdroje, Praha, pp. 13
- Kněžek V. (1992): Nové Město nad Metují – Havarijní znečištění podzemní vody, Praha 1992, Vodní zdroje GLS Praha, s.p., 13 pp
- Kněžek V. (1995): Nové Město nad Metují – monitorování jakosti podzemní vody. Vodní zdroje GLS, Praha, pp. 11
- Kněžek V., Chrástka F. & Debeřová A. (1989): Nové Město nad Metují – Havárie. Vodní zdroje, Praha, pp. 13
- Kněžek V., Chrástka F., Debeřová A. & Grepl V. (1990): Nové Město nad Metují – Havárie. Vodní zdroje, Praha, pp. 8
- Kněžek V., Jerie R. & Debeřová A. (1992): Nové Město nad Metují – Havarijní znečištění podzemní vody. Vodní zdroje GLS, Praha, pp. 13

- Kříž H. (1968): Závěrečná zpráva o výsledcích hydrogeologického průzkumu pro II brněnský vodovod. MS Geofond P21 318
- Kurtzman D., Nativ R. & Adar E.M. (2007): Flow and transport predictions during multi-borehole tests in fractured chalk using discrete fracture network models. *Hydrogeology Journal* 15: 1629-1642
- Lee E.S. & Krothe N.C. (2003): Delineating the karstic flow system in the upper Lost River drainage basin south central Indiana: using sulphate and  $\delta^{34}\text{S}$   $\text{SO}_4$  as tracers. *Applied Geochemistry* 18: 145-153
- Lemieux J.M., Kirkwood D. & Therrien R. (2009): Fracture network analysis of the St-Eustache quarry, Quebec, Canada, for groundwater resources management more options. *Canadian Geotechnical Journal* 46: 828-841
- Lemieux J.M., Therrien R. & Kirkwood D. (2006): Small scale study of groundwater flow in a fractured carbonate-rock aquifer at the St-Eustache quarry, Quebec, Canada. *Hydrogeology Journal* 14: 603-612
- Long J.C.S. & Billaux D.M. (1987): From field data to fracture network modeling: an example incorporating spatial structure. *Water Resources Research* 23: 1201-1216
- Maloszewski P., Stichler W., Zuber A. & Rank D. (2002): Identifying the flow systems in a karstic-fissured-porous aquifer the Schneealpe Austria by modelling of environmental  $^{18}\text{O}$  and  $^3\text{H}$  isotopes. *Journal of Hydrology* 256: 48-59
- Michalski A, Britton R (1997) The role of bedding fractures in the hydrogeology of sedimentary bedrock – Evidence from the Newark basin, New Jersey. *Groundwater* 35: 318-327
- Muldoon M.A., Simo J.A. (Toni) & Bradbury K.R. (2001): Correlation of hydraulic conductivity with stratigraphy in a fractured-dolomite aquifer, northeastern Wisconsin, USA. *Hydrogeology Journal* 9: 570-583
- Musil V. (2008): Informace o krachu firmy ELTON. Mgr. Vojtěch Musil, DEKONTA a.s. Praha, Volutova 2523/14, Praha 5, Stodůlky, 158 00
- MŽP ČR (2005): Systém evidence kontaminovaných míst. (navštíveno 14.2.2009) <http://sekm.cenia.cz/portal/>
- Nastev M., Morin R., Godin R. & Rouleau A. (2008): Developing conceptual hydrogeological model for Potsdam sandstones in southwestern Quebec, Canada. *Hydrogeology Journal* 16: 373-388
- Nativ R., Adar E., Assaf L. & Nygaard E. (2003): Characterization of the hydraulic properties of fractured chalk. *Ground Water* 41: 532-543

- Novakowski KS, Lapcevic PA (1988) Regional hydrogeology of the Silurian and Ordovician sedimentary rock underlying Niagara Falls, Ontario, Canada. *Journal of Hydrology* 104: 211-236
- Oster H., Sonntag C. a Münnich K. O. (1996): Groundwater dating with chlorofluorocarbons. – *Water Resour. Res.* 32 (10), 2989-3001.
- Paillet F.L. (1993): Using borehole geophysics and cross-borehole flow testing to define hydraulic connections between fracture zones in bedrock aquifers. *Journal of Applied Geophysics* 30: 261-279
- Panoš V. (1965): Problém krasovění nekarbonátových hornin. *Časopis pro mineralogii a geologii* 10,1: 105-109
- Parkhurst D.L. & Appelo C.A.J. (1999): User's guide to PHREEQC (version 2) - A computer program for speciation, batch-reaction, one-dimensional transport, and inverse geochemical calculations. U.S. Geological Survey, Water-Resources Investigations Report 99-4259, pp. 312
- Pauliš R. (1981): Zhodnocení HG průzkumu na lokalitě Čistá u Litomyšle I a II etapa. Chrudim, Vodní zdroje. MS Geofond. pp.101
- Pochon A., Tripet J.P., Kozel R., Meylan B., Sinreich M. & Zwahlen F. (2008): Groundwater protection in fractured media: a vulnerability-based approach for delineating protection zones in Switzerland. *Hydrogeology Journal* 16: 1267-1281
- Polák M. & Musil V. (2006): Analýza rizik, Nové Město nad Metují – ELTON, DEKONTA a.s., Praha, pp. 49
- Prášek A. & Herzig J. (1999): Zpráva o sanaci kontaminované zeminy chlorovanými uhlovodíky ventingem v areálu ITEC group a.s. za období duben až listopad 1998, SEPA Liberec, pp 22
- Rutqvist J. (1995): Determination of hydraulic normal stiffness of fractures in hard rock from well testing. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Science & Geomechanics Abstracts* 32: 513-523
- Řízek J & Hocke J. (1999): ČSPH Dobruška – analýza rizik plynoucích ze zjištění ekologické zátěže. G-servis Praha s.r.o., Bechyně, pp. 35
- Řízek J & Hocke J. (2000): Analýza rizik plynoucích ze zjištění ekologické zátěže – Doplněk. G-servis Praha s.r.o., Bechyně, pp. 5
- Sherrill M.G. (1978): Geology and ground water in Door County, Wisconsin, with emphasis on contamination potential in the Silurian dolomite. US Geol Surv Water-Supply Pap 2047, 38 pp. In Muldoon M.A., Simo J.A. (Toni) & Bradbury K.R. (2001):

- Correlation of hydraulic conductivity with stratigraphy in a fractured-dolomite aquifer, northeastern Wisconsin, USA. *Hydrogeology Journal* 9: 570-583
- Smart C.C. (1988): Quantitative tracing of the malignant karst system Alberta, Canada
  - Soukup J. (1963): Křída. In Čepěk L. *et al.*: Vysvětlivky k přehledné geologické mapě ČSR 1 : 200 000. List Hradec Králové. Ústřední ústav geologický v NČSAV, Praha
  - Svoboda J. (2005): Vyhodnocení kontrolních rozborů podzemních vod. Nové Město nad Metují – ELTON, Hydrogeologická společnost s.r.o. Praha, pp. 11
  - ter Braak C. J. F. & Šmilauer P. (2002): CANOCO Reference Manual and CanoDraw for Windows User's Guide: Software for Canonical Community Ordination (version 4.5). Microcomputer Power, Ithaca NY, USA, pp. 500
  - Uličný D. & Špičáková L. (2009): Dílčí zpráva za pracoviště spoluřešitele. In: Kadlecová R. *et al.* (2009): Etapová zpráva projektu SP/2e1/153/07 Zákonitosti interakce systému voda-hornina-krajina a jejich využití při ochraně podzemních vod v České republice. ČGS, Praha
  - Underwood C.A. (1999) Stratigraphic controls on vertical fracture patterns within the Silurian dolomite of Door County, Wisconsin, and implications for groundwater flow. MS Thesis, University of Wisconsin-Madison. In Muldoon M.A., Simo J.A. (Toni) & Bradbury K.R. (2001): Correlation of hydraulic conductivity with stratigraphy in a fractured-dolomite aquifer, northeastern Wisconsin, USA. *Hydrogeology Journal* 9: 570-583
  - Van Meir N., Jaeggi D., Herfort M., Loew S., Pezard P.A. & Lods G. (2007): Characterizing flow zones in a fractured and karstified limestone aquifer through integrated interpretation of geophysical and hydraulic data. *Hydrogeology Journal* 15: 225-240
  - VÚV (2009): Zátěže životního prostředí. (navštíveno 14.2.2009)  
<http://mestra.cenia.cz/sez/default2.asp?klic=5733002&tab=zatez>
  - Warren J.E. & Root P.J. (1963): The behavior of naturally fractured reservoirs. *Society of Petroleum Engineers Journal*, September: 245-255
  - Weiss M., Rubin Y., Adar E. & Nativ R. (2006): Fracture and bedding plane control on groundwater flow in a chalk aquitard. *Hydrogeology Journal* 14: 1081-1093
  - Yager R.M. (1997): Simulated three-dimensional ground-water flow in the Lockport Group, a fractured-dolomite aquifer Nera Niagara Falls, New York. US Geol Surv Water-Supply Pap 2487, 42 pp. In Muldoon M.A., Simo J.A. (Toni) & Bradbury K.R. (2001): Correlation of hydraulic conductivity with stratigraphy in a fractured-dolomite aquifer, northeastern Wisconsin, USA. *Hydrogeology Journal* 9: 570-583

- Zanini L., Novakowski K.S., Lapcevic P., Bickerton G.S., Voralek J. & Talbot C. (2000): Ground water flow in a fractured carbonate aquifer inferred from combined hydrogeological and geochemical measurements. *Ground Water* 38: 350-360
- Žižka V. (1984): Závěrečné zhodnocení vrtů Lo 15/4 v Peklech a Lo 5/3 v Chocni – Pelinách. *Vodní zdroje Praha*. Geofond P45 435

## 9. Seznam příloh

- 1) Chemické a fyzikálně-chemické parametry vzorkovaných objektů ze srpna a září 2008
- 2) Protokoly z měření chlorovaných uhlovodíků v Analytických laboratořích Plzeň a.s.
- 3) Přehledné mapy hodnotící střední dobu zdržení na vzorkovaných vrtech
- 4) Specifická vydatnost vrtů a vzdálenost od nejbližšího zlomu

Příloha 1 - Chemické a fyzikálně-chemické parametry vzorkovaných objektů ze srpna a září 2008

objekt	datum odběru vzorků	konduktivita (uS/cm) na 25°C	teplota vody (°C)	pH	rozpuštěný kyslík (% z plného nasycení)	redoxní potenciál (mV)	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	F <sup>-</sup> (mg/l)	Cl <sup>-</sup> (mg/l)
Bohemilk 2	2.9.2008	888	11,3	6,8	6,5%	-17	383	0,15	37
HV-2 Dobruška	29.8.2008	705	11	7,1	34,4%	208	302	0,12	27
INM 1	29.8.2008	956	10,4	7,2	9,3%	-66	384	0,18	32
J1	28.8.2008	645	12,7	7,2	13,4%	95	319	0,2	18
J3	27.8.2008	630	11,1	7,1	2,1%	5	339	0,16	15
J7	28.8.2008	880	10,6	7,2	1,5%	-17	377	0,69	42
Lt01	13.8.2008	1078	10,1	7,0	2,5%	35	456	0,29	24
Lt02	13.8.2008	1052	10,4	7,1	1,3%	29	411	0,24	32
Lt1	12.8.2008	767	12,4	7,0	0,8%	-70	348	0,17	25
Lt2	12.8.2008	775	11,1	7,1	12,2%	257	313	0,08	34
Lt3	12.8.2008	848	11	7,0	1,2%	72	377	0,09	28
Lt4	13.8.2008	769	11,3	7,1	26,2%	98	364	0,09	20
Lt6	12.8.2008	735	11,4	7,2	9,5%	203	286	0,09	32
Lt8	13.8.2008	754	11,6	7,1	0,0%	125	331	0,1	26
Lt9	13.8.2008	703	10,7	7,1	43,0%	164	340	0,12	20
Lts 15	27.8.2008	740	10,5	6,9	11,1%	-146	355	0,21	22
Lts 17	29.8.2008	188	10,9	7,3	1,0%	-548	48	1,99	25
Lts 5	27.8.2008	707	10,3	7,2	0,9%	-59	351	0,2	19
Lts 6	27.8.2008	494	8,7	8,3	2,2%	-224	332	0,29	9
NM2	2.9.2008	307	10,4	6,2	1,4%	-285	107	0,05	38
Sk19	28.8.2008	645	10,9	7,6	1,5%	-46	279	0,12	21
V1	13.8.2008	1060	10,9	6,9	1,3%	54	489	0,44	26
V2	12.8.2008	752	11,2	7,8	5,5%	236	303	0,07	31
potok Černčice	2.9.2008	812	16,2	6,3	97,4%	257	302	0,1	40
potok Křovice Doly	2.9.2008	626	17,5	6,5	68,4%	147	239	0,11	31
potok Tuří	27.8.2008	875	11,8	6,7			337	0,1	23
potok Bohuslavice	2.9.2008								

objekt	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/l)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	K <sup>+</sup> (mg/l)	Li <sup>+</sup> (mg/l)	Na <sup>+</sup> (mg/l)	Ca <sup>2+</sup> (mg/l)	Mg <sup>2+</sup> (mg/l)	Mn <sup>2+</sup> (mg/l)	Fe <sup>2+</sup> (mg/l)	Sr <sup>2+</sup> (mg/l)	SiO <sub>2</sub> (mg/l)
Bohemilk 2	109,5	23,3	5,6	0,011	18	162	19	0,013	0,021	0,84	3,27
HV-2 Dobruška	76	17,3	2,8	<0,003	11	126	9	0,015	0,018	0,50	3,40
INM 1	126	15	16,5	0,032	41	140	17	0,156	0,091	1,31	3,57
J1	60	2,1	1,9	0,011	6	118	13	0,049	0,021	0,81	3,36
J3	49	2,2	1,6	0,006	7	116	11	0,056	0,708	0,63	3,15
J7	92	12,5	6,9	0,055	33	112	29	0,049	0,089	1,73	3,17
Lt01	228	9,1	2,9	0,028	26	170	29,5	0,042	0,686	1,52	3,15
Lt02	238	3,7	2,9	0,032	33	168	23,9	0,032	0,630	1,51	3,17
Lt1	107	2	2,1	0,013	11	136	16,5	0,033	1,002	0,95	3,47
Lt2	94	36,5	1,5	<0,003	5	152	10,7	<0,003	<0,009	0,55	3,39
Lt3	121	11,9	1,5	0,007	11	163	14,3	0,025	0,127	0,64	3,42
Lt4	110	3,6	1,6	0,008	11	150	13,5	0,063	0,025	0,71	3,26
Lt6	94	35,8	1,5	<0,003	5	143	9,6	0,007	<0,009	0,52	3,58
Lt8	98	16,6	1,5	0,004	7	146	11,6	0,005	<0,009	0,61	3,12
Lt9	93	2,4	1,4	0,008	10	140	11,4	0,091	0,018	0,62	3,35
Lts 15	79	2,2	1,4	0,007	10	134	14	0,236	9,321	0,58	3,11
Lts 17	4	0,1	1,4	0,019	27	7	1	0,011	0,020	<0,3	4,03
Lts 5	78	2,4	1,7	0,013	10	135	13	0,094	2,998	0,74	3,15
Lts 6	1	1,1	8,7	0,088	86	12	6	0,048	0,539	0,78	1,10
NM2	6,8	2	2,4	0,003	14	18	3	0,040	0,487	<0,3	0,75
Sk19	89	1,8	1,6	0,004	7	121	10	0,069	0,094	0,65	2,55
V1	169	14,3	3,1	0,039	21	176	34,2	0,035	0,379	1,58	3,26
V2	99	29,7	1,5	<0,003	6	147	10,2	0,012	0,011	0,56	3,20
potok Černčice	85,8	43,2	7,3	<0,003	11	117	6	0,008	0,040	0,65	3,38
potok Křovice Doly	47,3	37,1	5,2	<0,003	30	124	4	0,046	0,011	0,30	2,58
potok Tuří	77	72	1,1	<0,003	6	177	5	0,005	0,021	0,69	4,28
potok Bohuslavice											

objekt	CHSK-Mn (mg/l)	PCE (µg/l)	TCE (µg/l)	1,1-DCEen (µg/l)	1,2-DCEan (µg/l)	1,2-(c+t)- DCEen (µg/l)	Vinyl chlorid (µg/l)
Bohemilk 2	0,6	< 0,05	< 0,05	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
HV-2 Dobruška	0,46	1,09	0,2	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
INM 1	0,74	0,56	0,055	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
J1	0,35	< 0,05	< 0,05	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
J3	0,35	< 0,05	< 0,05	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
J7	0,81	< 0,05	< 0,05	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Lt01	1,4	< 0,05	< 0,05	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Lt02	1,26	< 0,05	< 0,05	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Lt1	0,46	< 0,05	< 0,05	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Lt2	0,39	2,03	< 0,05	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Lt3	0,39	0,075	0,066	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Lt4	0,28	0,47	< 0,05	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Lt6	0,28	8,1	0,41	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Lt8	0,25	1,19	< 0,05	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Lt9	0,28	< 0,05	< 0,05	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Lts 15	0,95	0,24	< 0,05	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Lts 17	1,54	< 0,05	< 0,05	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Lts 5	0,63	< 0,05	< 0,05	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Lts 6	0,7	< 0,05	< 0,05	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
NM2	0,91	< 0,05	0,056	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Sk19	0,32	10,6	0,55	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
V1	0,84	< 0,05	< 0,05	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
V2	0,25	3,09	0,17	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
potok Černčice	2,63	< 0,05	< 0,05	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
potok Křovice Doly							
potok Tuří							
potok Bohuslavice	8,05	< 0,05	< 0,05	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1

objekt	tritium (TU)	2s (TU)	freon 12 (pmol/l)	freon 11 (pmol/l)	freon 113 (pmol/l)	SF6 (fmol/l)	d13C PDB	14C (pmc)	radiouhlíkové stáří (roky) za počáteční aktivity 50 % pmc
Bohemilk 2	11,1	0,1							
HV-2 Dobruška	7,7	0,1							
INM 1	6,9	0,1	3,5 ± 0,2	1,2 ± 0,2	0,07 ± 0,05	1,5 ± 0,2	-11	49%	
J1	3,4	0,2	0,6 ± 0,1	0,08 ± 0,05	0,01 ± 0,05	< 0,1	-11	36%	2700
J3	2,9	0,2	0,08 ± 0,05	0,02 ± 0,05	< 0,01	< 0,1	-11,8	39%	2100
J7	5,7	0,1							
Lt01	7,5	0,2	1,8 ± 0,1	0,15 ± 0,05	< 0,01	0,1 ± 0,1	-9,7	48%	400
Lt02	7,8	0,2	0,48 ± 0,05	0,09 ± 0,05	< 0,01	0,1 ± 0,1			
Lt1	6,1	0,1	0,79 ± 0,05	0,01 ± 0,05	< 0,01	< 0,1	-10,7	43%	1200
Lt2	8,6	0,1	41 ± 9	6,3 ± 0,7	n.a.	0,9 ± 0,1			
Lt3	9,1	0,2	4,9 ± 0,5	2,6 ± 0,3	0,04 ± 0,05	0,3 ± 0,1			
Lt4	7,2	0,1	0,76 ± 0,5	0,24 ± 0,05	n.a.	0,1 ± 0,1	-10,9	47%	400
Lt6	9,5	0,1	38 ± 8	11 ± 3	n.a.	0,7 ± 0,1	-12	54%	
Lt8	8,2	0,1	12 ± 2	2 ± 0,2	n.a.	0,3 ± 0,1			
Lt9	7,9	0,1	0,25 ± 0,05	0,05 ± 0,05	< 0,01	< 0,1	-11,1	50%	
Lts 15	10,3	0,1							
Lts 17	4,3	0,1							
Lts 5	4,5	0,1							
Lts 6	2,8	0,2	≈ 1,2	≈ 0,07	n.a.	0,9 ± 0,1			
NM2	7,6	0,1	2,9 ± 0,2	1 ± 0,1	0,31 ± 0,1	2,3 ± 0,3			
Sk19	6,8	0,3	24 ± 5	≈ 6,1	n.a.	0,4 ± 0,1			
V1	7,2	0,1	5,4 ± 0,6	0,54 ± 0,05	< 0,01	0,1 ± 0,1	-9,1	39%	2100
V2	8,4	0,1	32 ± 7	6,9 ± 0,7	n.a.	0,5 ± 0,1	-12,4	55%	
potok Černčice							-10,9	83%	
potok Křovice Doly									
potok Tuří							-11,8	88%	
potok Bohuslavice									

## Příloha 2

Protokoly z měření koncentrací chlorovaných uhlovodíků a CHSK-Mn  
v Analytických laboratořích Plzeň a.s. z roku 2008

# ANALYTICKÉ LABORATOŘE PLZEŇ, A.S.

analytické, diagnostické a expertní centrum

Laboratoře autorizované ÚNMZ dle zákona č. 505/90Sb.,  
o metrologii, ve znění zákona č. 119/2000Sb.; č.j. 979/06/02,  
vydáno 21.4.2006.

Dekonta a.s.  
Vojtěch Musil  
Volutova 2523  
155 00 Praha 5

ZAK. ČÍSLO	A 1899 / 08		
OBJ. ČÍSLO		ZE DNE	

## PROTOKOL O ZKOUŠKÁCH Č. A 1899 / 08

PŘEDMĚT A ÚČEL ZKOUŠEK	Rozbor vzorků vody	ZAHÁJENÍ ZKOUŠEK	14.8. 2008
		UKONČENÍ ZKOUŠEK	25.8. 2008
ODBĚR VZORKŮ	proveden zákazníkem (12. 13. 8 2008)	VZORKY PŘEVZATY DNE	14.8 2008
ČÍSLA VZORKŮ	EČ 2342 (11 vzorků, lokalita Litá)		
POUŽITÉ ZKUŠEBNÍ METODY	Titrační metoda (CHSK-Mn) Plynová chromatografie (chlorované ethyleny, vinylchlorid)		

PROVEDLI	Ing. Švarc, Ing. Polívková, Ing. Mautnerová			STRAN CELKEM	2
SCHVÁLIL	Ing. Prošková	DNE	25.8. 2008	PODPIS RAŽÍTKO	

Tento Protokol může být reprodukován pouze celý, s písemným souhlasem zkušební laboratoře Analytické laboratoře Plzeň, a.s. Výsledky zkoušek se týkají jenom předmětu zkoušky.

**Adresa laboratoří:**  
Pod Vrchem 51, 312 80 Plzeň

tel : 377 260 251-3 (ústředna)  
fax : 377 264 027  
tel./fax: 377 260 254 (příjem vzorků)  
e-mail : opl@alplzen.cz  
[www.alplzen.cz](http://www.alplzen.cz)

Ing. Dagmar Prošková  
zást.ved. útvaru Analytika

## Výsledky analýz

<i>Parametr</i>	<i>Jednotka</i>	<i>LT-1</i>	<i>LT-01</i>	<i>LT-2</i>	<i>LT-02</i>	<i>LT-3</i>	<i>LT-4</i>
CHSK-Mn	<i>mg/l</i>	0,46	1,40	0,39	1,26	0,39	0,28
PCE	<i>µg/l</i>	< 0,05	< 0,05	2,03	< 0,05	0,075	0,47
TCE	<i>µg/l</i>	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	0,066	< 0,05
1,1-DCEen	<i>µg/l</i>	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
1,2-DCEan	<i>µg/l</i>	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
1,2-(c+t)-DCEen	<i>µg/l</i>	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Vinylchlorid	<i>µg/l</i>	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1

<i>Parametr</i>	<i>Jednotka</i>	<i>LT-6</i>	<i>LT-8</i>	<i>LT-9</i>	<i>V-1</i>	<i>V-2</i>
CHSK-Mn	<i>mg/l</i>	0,28	0,25	0,28	0,84	0,25
PCE	<i>µg/l</i>	8,10	1,19	< 0,05	< 0,05	3,09
TCE	<i>µg/l</i>	0,41	< 0,05	< 0,05	< 0,05	0,17
1,1-DCEen	<i>µg/l</i>	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
1,2-DCEan	<i>µg/l</i>	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
1,2-(c+t)-DCEen	<i>µg/l</i>	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
Vinylchlorid	<i>µg/l</i>	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1

# ANALYTICKÉ LABORATOŘE PLZEŇ, A.S.

analytické, diagnostické a expertní centrum

Laboratoře autorizované ÚNMZ dle zákona č. 505/90Sb.,  
o metrologii, ve znění zákona č. 119/2000Sb.; č.j. 979/06/02,  
vydáno 21.4.2006.

DEKONTA a.s.

Vojtěch Musil

Volutova 2523

155 00 Praha 5

ZAK. ČÍSLO	A 2047 / 08		
OBJ. ČÍSLO		ZE DNE	

## PROTOKOL O ZKOUŠKÁCH Č. A 2047 / 08

PŘEDMĚT A ÚČEL ZKOUŠEK	Rozbor vzorků vod	ZAHÁJENÍ ZKOUŠEK	2.9. 2008
		UKONČENÍ ZKOUŠEK	9.9. 2008
ODBĚR VZORKŮ	proveden zákazníkem (27. – 29.8. 2008)	VZORKY PŘEVZATY DNE	2.9. 2008
ČÍSLA VZORKŮ	EČ 2563 (10 vzorků, lokalita Litá)		
POUŽITÉ ZKUŠEBNÍ METODY	Titrační metoda (CHSK-Mn) Plynová chromatografie (PCE, TCE, DCE, vinylchlorid)		

PROVEDLI	Ing. Švarc, Ing. Polívková, Ing. Mautnerová			STRAN CELKEM	2
SCHVÁLIL	Ing. Opl	DNE	10.9. 2008	PODPIS RAŽÍTKO	

Tento Protokol může být reprodukován pouze celý, s písemným souhlasem zkušební laboratoře Analytické laboratoře Plzeň, a.s. Výsledky zkoušek se týkají jenom předmětu zkoušky.

**Adresa laboratoří:**  
Pod Vrchem 51, 312 80 Plzeň

tel : 377 260 251-3 (ústředna)  
fax : 377 264 027  
tel./fax: 377 260 254 (příjem vzorků)  
e-mail : opl@alplzen.cz  
[www.alplzen.cz](http://www.alplzen.cz)

Ing. Zdeněk Opl  
vedoucí útvaru Analytika

## Výsledky analýz

<b>Parametr</b>	<b>Jednotka</b>	<b>J-1</b>	<b>J-3</b>	<b>J-7</b>	<b>INM-1</b>
CHSK-Mn	mg/l	0,35	0,35	0,81	0,74
PCE	µg/l	< 0,05	< 0,05	< 0,05	0,56
TCE	µg/l	< 0,05	< 0,05	< 0,05	0,055
1,1-DCEen	µg/l	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
1,2-DCEan	µg/l	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
1,2-(c+t)-DCEen	µg/l	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
vinylchlorid	µg/l	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1

<b>Parametr</b>	<b>Jednotka</b>	<b>LTS-5</b>	<b>LTS-6</b>	<b>LTS-15</b>	<b>LTS-17</b>
CHSK-Mn	mg/l	0,63	0,70	0,95	1,54
PCE	µg/l	< 0,05	< 0,05	0,24	< 0,05
TCE	µg/l	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
1,1-DCEen	µg/l	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
1,2-DCEan	µg/l	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
1,2-(c+t)-DCEen	µg/l	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
vinylchlorid	µg/l	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1

<b>Parametr</b>	<b>Jednotka</b>	<b>HV-2</b>	<b>SK-19</b>
CHSK-Mn	mg/l	0,46	0,32
PCE	µg/l	1,09	10,6
TCE	µg/l	0,20	0,55
1,1-DCEen	µg/l	< 0,1	< 0,1
1,2-DCEan	µg/l	< 0,1	< 0,1
1,2-(c+t)-DCEen	µg/l	< 0,1	< 0,1
vinylchlorid	µg/l	< 0,1	< 0,1

# ANALYTICKÉ LABORATOŘE PLZEŇ, A.S.

analytické, diagnostické a expertní centrum

Laboratoře autorizované ÚNMZ dle zákona č. 505/90Sb.,  
o metrologii, ve znění zákona č. 119/2000Sb.; č.j. 979/06/02,  
vydáno 21.4.2006.

DEKONTA a.s.

Vojtěch Musil

Volutova 2523

155 00 Praha 5

ZAK. ČÍSLO	A 2066 / 08		
OBJ. ČÍSLO		ZE DNE	

## PROTOKOL O ZKOUŠKÁCH Č. A 2066 / 08

PŘEDMĚT A ÚČEL ZKOUŠEK	Rozbor vzorků vod	ZAHÁJENÍ ZKOUŠEK	4.9. 2008
		UKONČENÍ ZKOUŠEK	9.9. 2008
ODBĚR VZORKŮ	proveden zákazníkem (2.9. 2008)	VZORKY PŘEVZATY DNE	4.9. 2008
ČÍSLA VZORKŮ	EČ 2583 (4 vzorky, lokalita Litá)		
POUŽITÉ ZKUŠEBNÍ METODY	Titrační metoda (CHSK-Mn) Plynová chromatografie (PCE, TCE, DCE, vinylchlorid)		

### Výsledky analýz

Parametr	Jednotka	NM-2	Černčice povrch	Bohuslavice povrch	Bohemilk 2
CHSK-Mn	mg/l	0,91	2,63	8,05	0,60
PCE	µg/l	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
TCE	µg/l	0,056	< 0,05	< 0,05	< 0,05
1,1-DCEen	µg/l	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
1,2-DCEan	µg/l	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
1,2-(c+t)-DCEen	µg/l	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
vinylchlorid	µg/l	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1

PROVEDLI	Ing. Švarc, Ing. Polívková, Ing. Mautnerová			STRAN CELKEM	1
SCHVÁLIL	Ing. Opl	DNE	10.9. 2008	PODPIS RAZÍTKO	

Tento Protokol může být reprodukován pouze celý, s písemným souhlasem zkušební laboratoře Analytické laboratoře Plzeň, a.s. Výsledky zkoušek se týkají jenom předmětu zkoušky.

Adresa laboratoří:  
Pod Vrchem 51, 312 80 Plzeň

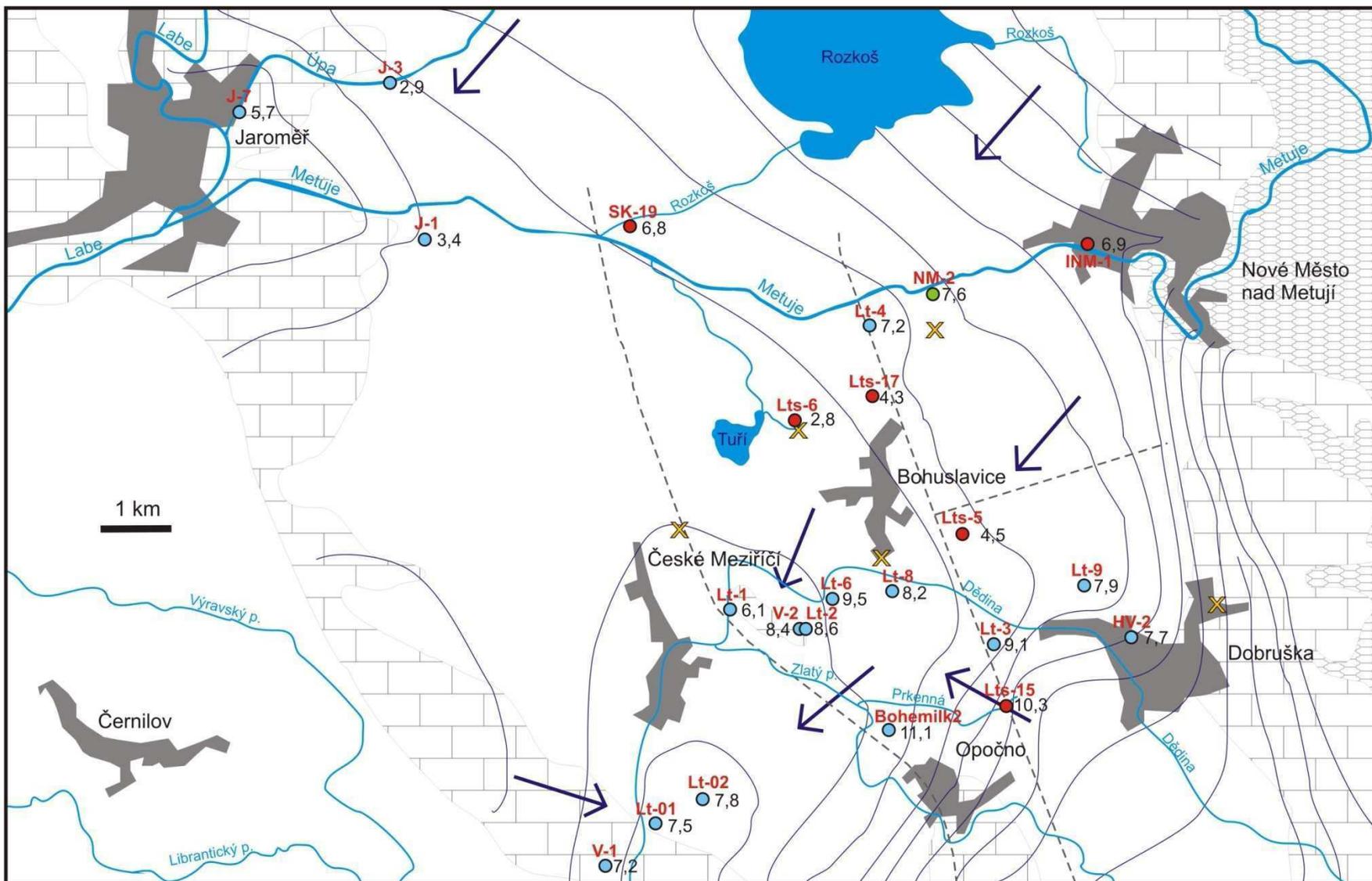
tel : 377 260 251-3 (ústředna)  
fax : 377 264 027  
tel./fax: 377 260 254 (příjem vzorků)  
e-mail : opl@alplzen.cz  
[www.alplzen.cz](http://www.alplzen.cz)

Ing. Zdeněk Opl  
vedoucí útvaru Analytika

### Příloha 3

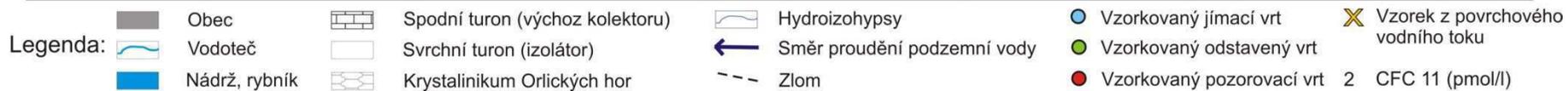
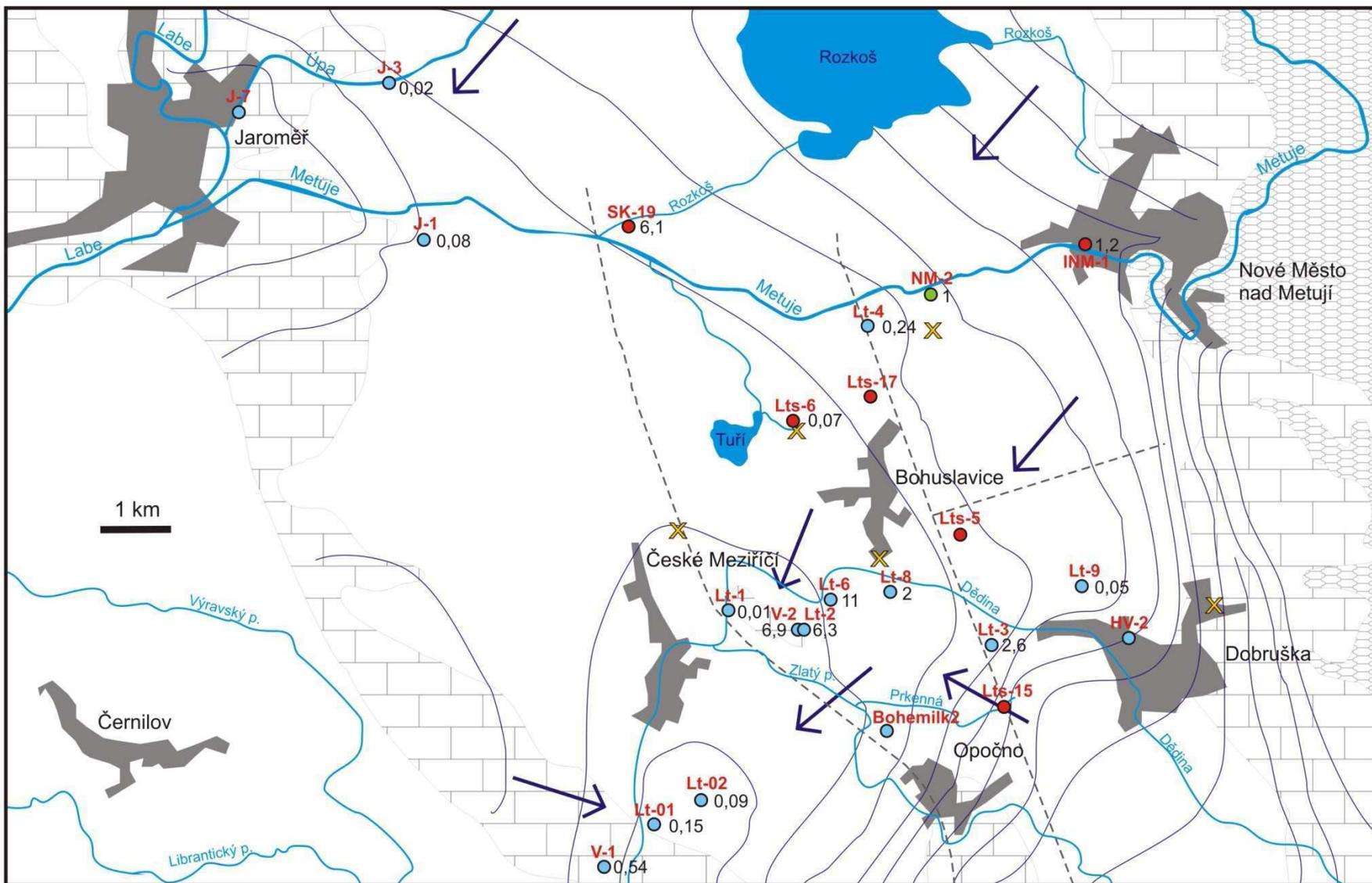
Přehledné mapy hodnotící střední dobu zdržení na vzorkovaných vrtech

- Aktivita tritia
- Koncentrace freonu 11
- Střední doba zdržení podle disperzního modelu

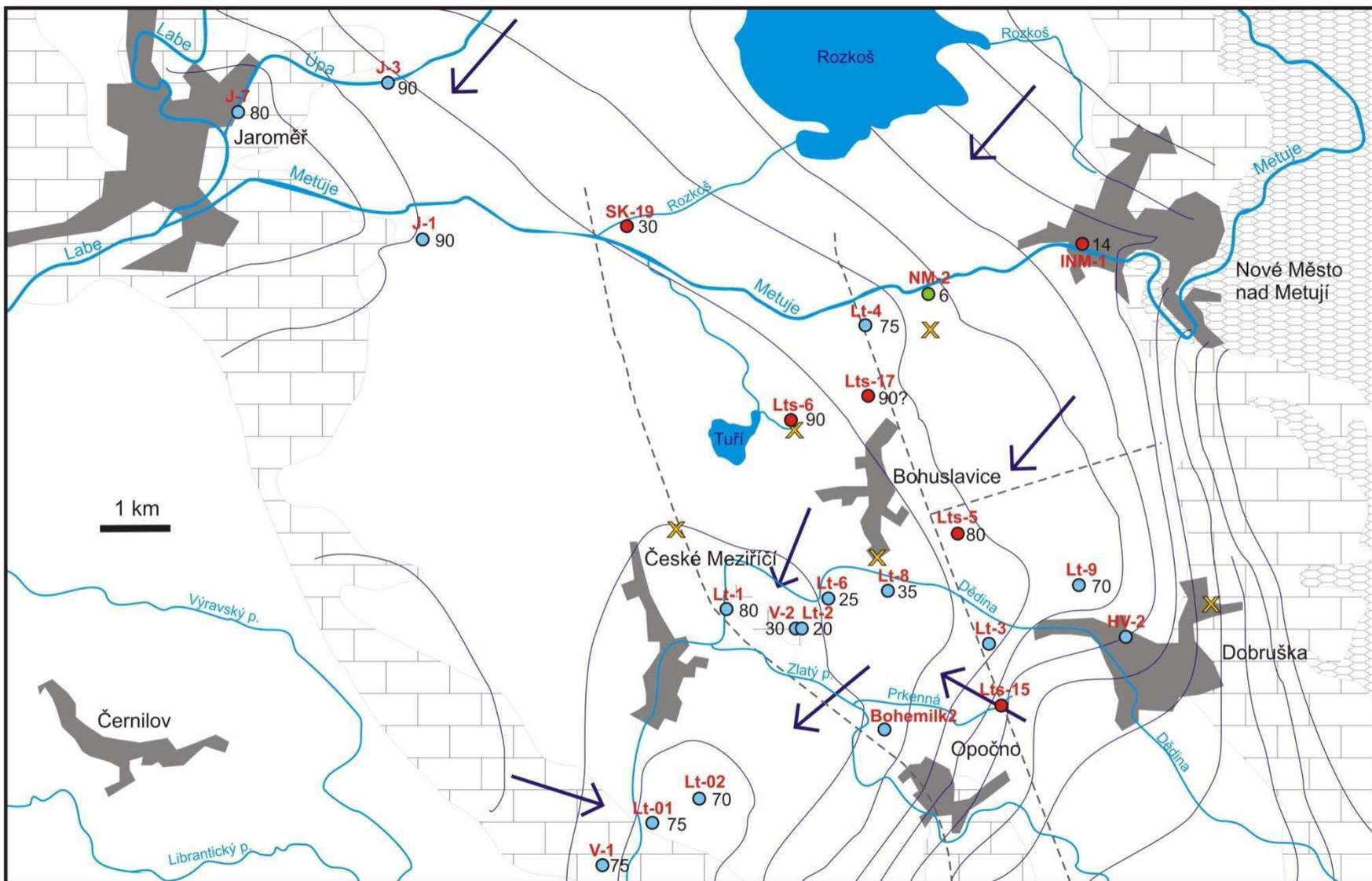


- Legenda:
- |               |                                 |                             |                           |                                   |
|---------------|---------------------------------|-----------------------------|---------------------------|-----------------------------------|
| Obec          | Spodní turon (výchoz kolektoru) | Hydroizohyps                | Vzorkovaný jímací vrt     | Vzorek z povrchového vodního toku |
| Vodoteč       | Svrchní turon (izolátor)        | Směr proudění podzemní vody | Vzorkovaný odstavený vrt  |                                   |
| Nádrž, rybník | Krystalinikum Orlických hor     | Zlom                        | Vzorkovaný pozorovací vrt | 7,5 Tritová jednotka              |

Aktivita tritia ve vodě vrtů (TU).



Koncentrace freonu 11 ve vodě vrtů.



- Legenda:
- |               |                                 |                             |                          |                                   |
|---------------|---------------------------------|-----------------------------|--------------------------|-----------------------------------|
| Obec          | Spodní tunon (výchoz kolektoru) | Hydroizohypsy               | Vzorkovaný jímací vrt    | Vzorek z povrchového vodního toku |
| Vodoteč       | Svrchní tunon (izolátor)        | Směr proudění podzemní vody | Vzorkovaný odstavený vrt | 14 Střední doba zdržení (rok)     |
| Nádrž, rybník | Krystalinikum Orlických hor     | Zlom                        |                          |                                   |

Střední doba zdržení (roky) odvozená z koncentrace SF<sub>6</sub> a aktivity tritia (disperzní model D 0.05).

Příloha 4 - Hodnoty specifické vydatnosti a vzdálenost od zlomu pro vrty ústecké, kyšperské a novoměstské synklinály

Označení vrtu	Specifická vydatnost (l/s/m)	Vzdálenost k nejbližšímu zlomu (m)	Kategorie vzdálenosti vrtu od zlomu
1	0,0046	4,9621	1
2	4,9515	5,8117	1
3	0,3280	14,4822	1
4	0,0354	45,1719	1
5	0,0150	46,5661	1
6	1,2599	68,9685	1
7	0,1317	74,7799	1
8	0,4211	78,4105	1
9	0,0158	82,0242	1
10	0,0109	83,7210	1
11	0,2434	84,4618	1
12	0,1499	85,9134	1
13	0,0509	87,5739	1
14	0,3929	89,7861	1
15	0,0770	94,0480	1
16	7,1895	95,2434	1
17	3,3256	96,0656	1
18	0,0056	97,0996	1
19	0,0192	104,5036	2
20	0,1770	108,2478	2
21	0,0089	108,7122	2
22	0,0302	109,1251	2
23	7,6774	112,1631	2
24	0,0008	113,3637	2
25	0,3743	115,2215	2
26	0,0506	128,2786	2
27	12,5079	136,6267	2
28	0,0167	140,5141	2
29	2,0553	147,4109	2
30	3,6697	148,1664	2
31	10,0000	148,3602	2
32	0,0319	156,7022	2
33	0,0221	166,9814	2
34	0,0855	170,2279	2
35	0,2194	194,1630	2
36	1,4891	194,8283	2
37	0,0800	196,2014	2
38	0,0323	197,5978	2
39	2,6974	200,4708	2
40	0,3027	202,2694	2
41	1,2315	202,3478	2
42	3,9427	205,7129	2
43	4,2025	206,1004	2
44	0,0115	207,6523	2

Označení vrtu	Specifická vydatnost (l/s/m)	Vzdálenost k nejbližšímu zlomu (m)	Kategorie vzdálenosti vrtu od zlomu
45	0,0057	208,9803	2
46	4,1667	210,8258	2
47	0,1276	212,9100	2
48	0,0013	213,3750	2
49	0,0050	215,6357	2
50	0,6864	218,3198	2
51	0,3538	219,5842	2
52	0,0536	219,8321	2
53	1,6883	220,5483	2
54	0,0011	220,5725	2
55	1,6931	227,0479	2
56	2,7611	229,8488	2
57	0,0391	236,1746	2
58	0,0137	240,6882	2
59	1,2757	242,7519	2
60	0,2216	244,3662	2
61	0,0705	246,9548	2
62	0,0403	273,7626	3
63	0,2512	278,9658	3
64	1,1111	285,1060	3
65	2,5455	286,1834	3
66	0,2077	300,6590	3
67	0,0018	301,3176	3
68	0,4361	306,2775	3
69	0,5000	310,5404	3
70	0,0471	311,1290	3
71	0,0757	311,3741	3
72	0,0111	316,3881	3
73	0,0427	319,3247	3
74	0,3720	328,4563	3
75	0,0565	334,3641	3
76	0,0077	340,3632	3
77	0,1325	359,9367	3
78	0,0384	361,2816	3
79	0,0033	364,5949	3
80	3,6200	366,7122	3
81	0,0830	377,8605	3
82	0,0450	379,4112	3
83	0,0021	389,8837	3
84	0,0414	396,2684	3
85	0,0133	400,6450	3
86	0,3831	402,6560	3
87	0,0466	402,9318	3
88	7,1023	409,9558	3
89	1,0681	410,0107	3
90	0,3411	412,1771	3
91	1,8599	412,3484	3
92	0,1938	413,3874	3

Označení vrtu	Specifická vydatnost (l/s/m)	Vzdálenost k nejbližšímu zlomu (m)	Kategorie vzdálenosti vrtu od zlomu
93	0,0797	417,2225	3
94	33,7838	417,4651	3
95	0,0152	417,5525	3
96	0,0315	417,9264	3
97	0,0653	419,2845	3
98	0,0075	423,1735	3
99	0,0411	424,7015	3
100	0,3483	427,9112	3
101	0,0105	437,7047	3
102	0,6722	438,0768	3
103	0,0002	441,9297	3
104	2,8942	444,0423	3
105	7,6923	448,8136	3
106	0,4645	453,2450	3
107	0,0024	453,7099	3
108	0,0512	454,6352	3
109	0,0068	458,6452	3
110	0,0012	460,8741	3
111	0,9273	467,7905	3
112	0,0286	470,4044	3
113	0,8224	480,7872	3
114	0,0071	486,7989	3
115	1,5590	490,1577	3
116	1,5619	493,7938	3
117	0,0014	494,3310	3
118	0,0139	500,1952	4
119	0,0072	500,2756	4
120	3,7941	502,5160	4
121	0,0103	503,6534	4
122	0,0084	506,3950	4
123	0,0449	509,2856	4
124	0,7601	510,5998	4
125	0,0240	513,8268	4
126	0,0167	531,5122	4
127	0,0006	539,7186	4
128	0,2000	540,2040	4
129	0,0016	542,4848	4
130	0,0050	545,6452	4
131	0,0640	549,0096	4
132	0,0026	552,9696	4
133	0,2352	556,7690	4
134	0,0120	560,4516	4
135	0,0197	567,3660	4
136	15,2500	572,3621	4
137	3,3470	574,6070	4
138	0,3757	575,4629	4
139	0,0673	577,2988	4
140	0,5901	577,3621	4

Označení vrtu	Specifická vydatnost (l/s/m)	Vzdálenost k nejbližšímu zlomu (m)	Kategorie vzdálenosti vrtu od zlomu
141	1,8611	579,0481	4
142	0,4617	581,7549	4
143	0,0113	581,9632	4
144	0,1788	583,0148	4
145	5,8462	588,9144	4
146	0,9400	588,9717	4
147	15,5947	590,6424	4
148	0,2557	594,5390	4
149	16,6667	597,9439	4
150	0,2440	601,4178	4
151	0,1181	612,4239	4
152	4,7619	628,2827	4
153	0,0501	629,3237	4
154	0,0298	630,7362	4
155	0,0156	636,2323	4
156	0,5603	637,0146	4
157	0,5952	639,1353	4
158	0,0060	649,6910	4
159	0,0307	654,9382	4
160	0,0181	659,6214	4
161	0,7824	668,1795	4
162	0,0081	670,0175	4
163	0,0056	674,7339	4
164	2,1429	678,1004	4
165	0,7931	681,4063	4
166	0,0403	682,4253	4
167	0,0287	685,4744	4
168	3,0488	691,2201	4
169	0,0151	695,1038	4
170	0,2699	696,6423	4
171	0,0127	698,9501	4
172	0,5303	720,8180	4
173	0,0364	720,9754	4
174	0,7870	724,7946	4
175	0,0007	736,2338	4
176	0,1393	741,2419	4
177	0,0392	741,4623	4
178	3,6000	741,9080	4
179	4,7050	748,8900	4
180	0,0046	755,5801	4
181	10,6667	757,9480	4
182	1,7800	759,3955	4
183	7,0000	763,9937	4
184	1,1203	766,5453	4
185	0,0101	770,1122	4
186	0,1553	773,0608	4
187	0,9531	781,3439	4
188	0,7067	791,9078	4

Označení vrtu	Specifická vydatnost (l/s/m)	Vzdálenost k nejbližšímu zlomu (m)	Kategorie vzdálenosti vrtu od zlomu
189	0,0138	793,4592	4
190	0,3960	805,8384	4
191	0,0157	807,1816	4
192	8,3544	808,2728	4
193	0,3880	813,3349	4
194	1,5819	834,6014	4
195	1,4286	835,6745	4
196	1,4909	840,3143	4
197	2,6000	844,9752	4
198	0,0068	846,4644	4
199	6,7678	849,2800	4
200	0,0029	863,8998	4
201	1,1365	864,4691	4
202	0,0078	864,9240	4
203	0,1655	870,0096	4
204	0,0100	870,8448	4
205	0,0087	871,8487	4
206	3,0000	874,3699	4
207	0,3279	877,0916	4
208	3,2123	881,1452	4
209	0,2135	884,0627	4
210	0,0127	886,6002	4
211	5,4641	887,6572	4
212	1,0009	889,3126	4
213	0,0013	889,9656	4
214	0,0774	902,7986	4
215	0,0116	904,9364	4
216	0,0487	911,8214	4
217	0,0029	916,7517	4
218	5,8357	920,7242	4
219	0,0888	934,6427	4
220	8,0000	935,2039	4
221	0,1857	935,7911	4
222	0,1289	936,0201	4
223	0,2899	936,2407	4
224	0,0396	937,5121	4
225	0,0542	940,1203	4
226	0,0032	943,3451	4
227	0,0617	943,4155	4
228	0,2524	951,3661	4
229	0,3524	952,7260	4
230	2,8987	953,8676	4
231	12,6582	959,3054	4
232	0,7491	960,1718	4
233	0,0246	964,8775	4
234	0,1000	967,2165	4
235	0,0392	967,6766	4
236	0,0079	975,1900	4

Označení vrtu	Specifická vydatnost (l/s/m)	Vzdálenost k nejbližšímu zlomu (m)	Kategorie vzdálenosti vrtu od zlomu
237	10,9000	978,7975	4
238	6,3716	980,7393	4
239	8,1579	992,5944	4
240	0,0510	1001,0932	5
241	0,0572	1004,8893	5
242	0,1000	1005,4701	5
243	0,1563	1007,7038	5
244	5,5000	1025,1529	5
245	0,0007	1033,6934	5
246	2,2377	1042,3399	5
247	2,6168	1042,5379	5
248	0,0029	1044,4829	5
249	1,9108	1054,0201	5
250	0,0023	1062,3735	5
251	0,0100	1063,5681	5
252	11,4286	1064,7043	5
253	5,8286	1070,0585	5
254	0,0686	1076,6501	5
255	2,0400	1079,2512	5
256	0,0015	1091,0674	5
257	0,0027	1091,3829	5
258	0,1885	1092,5379	5
259	0,0073	1097,8944	5
260	0,2414	1098,8915	5
261	0,1060	1102,9291	5
262	0,0076	1105,0323	5
263	1,7463	1110,4501	5
264	0,1143	1117,5197	5
265	0,0029	1118,4417	5
266	0,3015	1130,3371	5
267	12,5238	1145,0729	5
268	0,0031	1145,8700	5
269	0,0444	1160,7479	5
270	0,0317	1162,7148	5
271	1,1275	1166,5715	5
272	1,9620	1167,4224	5
273	0,0450	1177,2237	5
274	1,0705	1181,1221	5
275	0,0748	1207,0902	5
276	0,5526	1209,9037	5
277	7,1429	1211,4626	5
278	0,2437	1213,2122	5
279	0,1121	1214,7575	5
280	0,2047	1218,5485	5
281	0,1450	1224,3614	5
282	0,1027	1226,3088	5
283	0,0006	1227,0668	5
284	0,0222	1232,2255	5

Označení vrtu	Specifická vydatnost (l/s/m)	Vzdálenost k nejbližšímu zlomu (m)	Kategorie vzdálenosti vrtu od zlomu
285	0,0644	1232,3252	5
286	0,0070	1232,9396	5
287	34,0000	1233,7022	5
288	0,6250	1234,2866	5
289	0,0410	1238,1642	5
290	0,4904	1239,2119	5
291	0,8621	1243,8025	5
292	0,5631	1245,1769	5
293	10,9244	1269,0972	5
294	0,0044	1269,6452	5
295	0,0008	1270,0510	5
296	0,0669	1271,9393	5
297	0,2183	1274,0449	5
298	0,1300	1274,1199	5
299	0,0575	1276,3794	5
300	0,1158	1282,6452	5
301	0,5044	1286,7329	5
302	0,0974	1291,6452	5
303	1,0000	1295,5517	5
304	0,1309	1302,1158	5
305	0,0132	1303,3868	5
306	4,0000	1306,8393	5
307	0,0081	1308,1672	5
308	0,0284	1316,9854	5
309	0,0988	1320,3941	5
310	0,0601	1326,3420	5
311	0,1240	1331,5705	5
312	0,0067	1341,1426	5
313	1,0434	1366,8053	5
314	0,0130	1381,9147	5
315	0,1167	1388,2678	5
316	8,6667	1393,3656	5
317	0,0588	1395,8231	5
318	1,0333	1397,7981	5
319	7,2205	1398,3045	5
320	0,1086	1399,5828	5
321	0,9010	1403,6087	5
322	1,2549	1409,7546	5
323	0,0173	1410,6361	5
324	0,1050	1411,7138	5
325	0,0500	1412,9396	5
326	1,0443	1429,2735	5
327	8,0000	1435,9146	5
328	2,5565	1437,3204	5
329	0,6872	1444,0902	5
330	1,2500	1445,3353	5
331	0,5225	1450,0250	5
332	2,3571	1450,3530	5

Označení vrtu	Specifická vydatnost (l/s/m)	Vzdálenost k nejbližšímu zlomu (m)	Kategorie vzdálenosti vrtu od zlomu
333	0,0026	1452,6828	5
334	1,1250	1454,0312	5
335	0,0029	1460,0018	5
336	0,1592	1461,5434	5
337	0,0307	1463,0077	5
338	0,2895	1484,0524	5
339	1,1139	1489,6186	5
340	0,0005	1493,9620	5
341	0,4448	1497,6969	5
342	0,1376	1500,5637	6
343	0,4167	1513,4503	6
344	0,0933	1518,4435	6
345	0,3365	1533,2255	6
346	0,0253	1538,6331	6
347	0,0713	1538,7824	6
348	0,1490	1539,4146	6
349	1,6473	1540,4442	6
350	0,2362	1541,6054	6
351	0,0045	1544,2940	6
352	0,2222	1547,0109	6
353	0,4089	1552,2908	6
354	0,8427	1566,6545	6
355	0,0570	1567,6201	6
356	0,3045	1569,3452	6
357	0,1258	1569,8165	6
358	0,0226	1580,2515	6
359	3,6103	1581,7252	6
360	0,5838	1582,3686	6
361	0,0250	1583,2874	6
362	4,8693	1584,7938	6
363	6,7692	1592,3606	6
364	4,4467	1595,0037	6
365	0,0614	1595,2450	6
366	0,0071	1598,7427	6
367	0,7815	1599,7448	6
368	0,8836	1602,1264	6
369	0,0318	1602,8716	6
370	0,0204	1603,1633	6
371	1,2205	1603,4576	6
372	1,0825	1612,1066	6
373	0,0047	1612,4900	6
374	0,1083	1617,9136	6
375	2,3753	1621,3417	6
376	6,8338	1625,2174	6
377	0,0154	1626,9140	6
378	11,7371	1641,4499	6
379	0,0130	1647,6784	6
380	0,0068	1654,0788	6

Označení vrtu	Specifická vydatnost (l/s/m)	Vzdálenost k nejbližšímu zlomu (m)	Kategorie vzdálenosti vrtu od zlomu
381	3,3333	1656,9895	6
382	0,0035	1658,2841	6
383	0,2522	1658,9773	6
384	0,0085	1661,4139	6
385	0,0037	1663,0224	6
386	0,0270	1665,5557	6
387	0,0139	1667,8351	6
388	0,0007	1668,9078	6
389	0,0595	1669,9162	6
390	0,0248	1677,7573	6
391	1,9512	1683,8910	6
392	0,0046	1686,5136	6
393	0,1953	1690,5879	6
394	0,0375	1702,9396	6
395	0,0063	1705,0058	6
396	0,0155	1705,4399	6
397	0,0455	1705,5610	6
398	0,0320	1710,4117	6
399	0,2266	1712,4709	6
400	14,8750	1723,5895	6
401	7,9381	1724,0405	6
402	38,4615	1733,7061	6
403	0,0072	1734,6930	6
404	0,0116	1736,7557	6
405	0,0092	1737,9240	6
406	0,9880	1739,4225	6
407	0,0063	1744,0194	6
408	7,9823	1779,9666	6
409	2,7923	1780,2819	6
410	0,0580	1781,6924	6
411	0,1330	1784,0658	6
412	6,1472	1786,0332	6
413	0,0032	1789,8573	6
414	0,0022	1804,2386	6
415	3,1240	1810,1027	6
416	0,0053	1814,4369	6
417	9,3466	1819,7686	6
418	0,9976	1822,9902	6
419	0,0735	1825,6452	6
420	0,8487	1862,4621	6
421	0,1667	1866,1237	6
422	0,8635	1876,9383	6
423	1,2205	1886,2835	6
424	0,0610	1886,6946	6
425	0,0595	1887,8924	6
426	0,7685	1888,1215	6
427	19,4845	1891,8728	6
428	0,0479	1899,3892	6

Označení vrtu	Specifická vydatnost (l/s/m)	Vzdálenost k nejbližšímu zlomu (m)	Kategorie vzdálenosti vrtu od zlomu
429	0,2214	1900,1093	6
430	0,0022	1911,3940	6
431	2,5292	1911,9658	6
432	2,6316	1912,8387	6
433	0,0130	1921,8695	6
434	13,4128	1928,0322	6
435	0,0196	1933,9371	6
436	0,0001	1936,1497	6
437	0,0142	1937,5235	6
438	1,0152	1940,0102	6
439	15,7217	1948,7258	6
440	0,0218	1950,1879	6
441	0,0219	1952,0532	6
442	3,6833	1958,2126	6
443	0,0338	1958,7494	6
444	15,3846	1960,3466	6
445	4,1625	1965,5767	6
446	9,6568	1969,1982	6
447	6,1068	1978,5274	6
448	0,0076	1991,0785	6
449	0,0665	1992,3958	6
450	3,4962	2000,5991	7
451	11,3636	2003,2393	7
452	0,0042	2004,1367	7
453	0,1114	2005,4902	7
454	0,1429	2007,1643	7
455	0,7692	2013,4703	7
456	1,3158	2028,4699	7
457	0,0800	2031,7342	7
458	0,0700	2037,1461	7
459	0,0146	2046,8734	7
460	0,0059	2055,8080	7
461	1,1711	2062,0937	7
462	0,0050	2068,6228	7
463	0,0373	2068,7960	7
464	2,7782	2072,4756	7
465	0,3755	2088,3441	7
466	0,0233	2092,9732	7
467	0,0873	2095,8341	7
468	0,2131	2097,3426	7
469	0,0070	2108,0335	7
470	0,0628	2121,1141	7
471	0,0012	2136,5125	7
472	2,0426	2138,8354	7
473	0,1600	2143,1255	7
474	9,3333	2145,2621	7
475	2,0487	2149,3452	7
476	1,3174	2151,9836	7

Označení vrtu	Specifická vydatnost (l/s/m)	Vzdálenost k nejbližšímu zlomu (m)	Kategorie vzdálenosti vrtu od zlomu
477	0,0555	2165,2557	7
478	0,0556	2165,5533	7
479	0,0413	2168,5896	7
480	0,0197	2170,3849	7
481	0,2074	2171,2869	7
482	0,9091	2174,4022	7
483	0,3104	2174,4839	7
484	0,0545	2187,2216	7
485	0,4677	2191,8936	7
486	0,1629	2200,2914	7
487	0,1459	2200,8581	7
488	0,0165	2208,2635	7
489	0,9600	2226,8542	7
490	1,5278	2240,7511	7
491	0,0485	2246,2430	7
492	0,0078	2252,5603	7
493	0,0094	2253,3870	7
494	0,0043	2262,0894	7
495	0,0046	2269,1840	7
496	4,2765	2298,7206	7
497	1,0016	2303,5115	7
498	1,0825	2323,0753	7
499	0,0220	2331,8331	7
500	0,1214	2342,2073	7
501	0,0665	2366,0517	7
502	0,0320	2369,2694	7
503	2,5650	2404,8274	7
504	0,3624	2411,7810	7
505	62,5000	2427,6476	7
506	0,6840	2432,6790	7
507	0,0069	2462,9666	7
508	7,1429	2466,3092	7
509	0,0138	2473,8933	7
510	0,0477	2474,3796	7
511	0,0037	2482,3504	7
512	37,5577	2484,7511	7
513	0,8524	2485,8064	7
514	0,0025	2495,5992	7
515	0,7485	2504,4086	7
516	2,1163	2506,2308	7
517	0,0023	2508,0049	7
518	0,0030	2508,4479	7
519	0,0409	2508,7429	7
520	0,1250	2509,8100	7
521	0,0287	2511,7384	7
522	0,3567	2529,6606	7
523	29,2500	2539,3306	7
524	7,0671	2539,4532	7

Označení vrtu	Specifická vydatnost (l/s/m)	Vzdálenost k nejbližšímu zlomu (m)	Kategorie vzdálenosti vrtu od zlomu
525	0,0479	2547,4348	7
526	1,1093	2574,1712	7
527	0,1686	2574,3302	7
528	3,8681	2581,4825	7
529	0,2946	2640,0015	7
530	0,5455	2652,5410	7
531	0,2593	2659,3413	7
532	1,1905	2667,5680	7
533	0,0310	2687,1521	7
534	0,2913	2689,1513	7
535	0,2709	2721,9632	7
536	0,0069	2729,9665	7
537	0,0420	2732,7166	7
538	1,6600	2746,4716	7
539	1,8263	2761,3964	7
540	0,0948	2774,1099	7
541	0,4606	2779,5928	7
542	0,0914	2796,3409	7
543	0,0222	2799,5025	7
544	15,2170	2806,6337	7
545	0,0385	2807,5826	7
546	0,6605	2808,5126	7
547	0,1586	2817,5980	7
548	0,0019	2818,3614	7
549	0,0099	2830,7933	7
550	0,0025	2846,2558	7
551	0,1035	2854,0504	7
552	0,2400	2863,3096	7
553	0,0274	2873,8728	7
554	18,7500	2876,5982	7
555	8,9765	2877,7347	7
556	0,0697	2886,1598	7
557	0,2914	2902,0442	7
558	0,2439	2913,3921	7
559	0,3800	2928,8503	7
560	1,0667	2941,1868	7
561	0,3357	2948,5672	7
562	0,0091	2949,2729	7
563	0,2208	2949,4022	7
564	0,0313	2954,9827	7
565	0,0311	2955,0292	7
566	0,0500	2964,1791	7
567	0,0041	2976,5182	7
568	0,1933	2984,1325	7
569	0,8412	2986,3023	7
570	0,0313	2990,6208	7
571	0,0749	2994,3355	7
572	0,7218	2995,1962	7

Označení vrtu	Specifická vydatnost (l/s/m)	Vzdálenost k nejbližšímu zlomu (m)	Kategorie vzdálenosti vrtu od zlomu
573	0,6491	3007,4568	8
574	0,9613	3022,0779	8
575	2,4856	3064,0669	8
576	0,0953	3090,1429	8
577	0,1243	3092,6169	8
578	3,9684	3097,9729	8
579	1,4636	3105,3928	8
580	0,0527	3165,3659	8
581	0,0290	3220,1883	8
582	0,0031	3223,0506	8
583	1,4903	3225,3624	8
584	0,0352	3232,8758	8
585	51,5882	3238,7980	8
586	0,0815	3246,3168	8
587	0,2977	3295,0114	8
588	5,7971	3303,0930	8
589	0,0004	3303,8085	8
590	0,0132	3313,1885	8
591	0,0083	3331,0510	8
592	0,7273	3336,1919	8
593	0,1250	3356,7016	8
594	0,0605	3365,6847	8
595	0,0288	3374,1768	8
596	0,4155	3377,2147	8
597	0,5000	3409,7337	8
598	0,3643	3416,3369	8
599	0,5229	3426,0832	8
600	0,0022	3438,2070	8
601	0,0364	3497,4733	8
602	4,1384	3503,3587	8
603	2,5478	3510,3338	8
604	0,2439	3532,2099	8
605	0,4933	3540,0303	8
606	0,1727	3543,9801	8
607	0,4779	3566,1134	8
608	0,4257	3568,4972	8
609	0,0289	3571,6733	8
610	1,3600	3598,3266	8
611	8,8822	3601,8856	8
612	5,4042	3605,8071	8
613	0,6016	3609,1157	8
614	8,1081	3613,0446	8
615	0,1424	3650,8185	8
616	0,0158	3673,3399	8
617	0,0250	3681,2608	8
618	1,2133	3767,8732	8
619	1,3375	3770,3103	8
620	0,0694	3773,2379	8

Označení vrtu	Specifická vydatnost (l/s/m)	Vzdálenost k nejbližšímu zlomu (m)	Kategorie vzdálenosti vrtu od zlomu
621	2,7865	3774,4920	8
622	3,6667	3797,4981	8
623	4,5230	3816,3667	8
624	7,6728	3860,7589	8
625	0,3976	3882,3021	8
626	0,0347	3903,2104	8
627	2,7300	3918,6571	8
628	1,4445	3920,2284	8
629	0,1417	3960,0576	8
630	0,1945	4163,1177	8
631	0,0284	4230,4852	8
632	0,1238	4265,5953	8
633	0,0100	4292,1135	8
634	0,0545	4298,0180	8
635	0,1671	4374,3320	8
636	0,9428	4559,5227	8
637	6,6000	4615,0119	8
638	0,0909	5252,8684	9
639	0,3279	5484,0399	9
640	0,1056	5522,3186	9
641	1,7544	5796,1544	9
642	1,2755	5859,6268	9
643	0,0206	6623,9181	9