

**UNIVERSITA PALACKÉHO**

**Přírodovědecká fakulta**

**Katedra geologie**



**HYDRAULICKÉ PARAMETRY A VÝVOJ  
CHEMISMU VODY VE VRTECH V ČESKÉ KŘÍDĚ  
V OBLASTI VYSOKOMÝTSKÉ SYNKLINÁLY**

**Diplomová práce**

**Bc. Vít Čermák**

Environmentální geologie

Vedoucí práce: prof. Ing. Ondřej Šráček PhD., M.Sc.

Olomouc 2015

## **Bibliografická identifikace:**

**Jméno a příjmení autora:** Vít Čermák

**Název práce:** Hydraulické parametry a vývoj chemismu vody ve vrtech v České křídě v oblasti Vysokomýtské synklinály

**Typ práce:** Diplomová práce

**Pracoviště:** Katedra geologie, Přírodovědecká fakulta Univerzity Palackého v Olomouci

**Vedoucí práce:** prof. Ing. Ondřej Šrámek M.Sc., PhD.

**Rok obhajoby práce:** 2015

**Abstrakt:** Diplomová práce se zabývá hydraulickými parametry a vývojem chemismu ve vrtech ve Vysokomýtské synklinále – bilanční celek bc-6. V letech 2009 – 2013 bylo vyhloubeno 8 nových hydrogeologických vrtů o hloubkách 50-150 metrů. Vrty zastihly kolektor spodnoturonský a hlavní zvodnění je vázáno na cenomanské pískovce. Na vrtech byly provedeny hydrodynamické zkoušky. V práci byla definována struktura podzemní vody a byly vyhodnoceny hydraulické parametry pomocí Jacobovy metody. V terénní části bylo provedeno opakované vzorkování na chemismus podzemní vody. Odebrané vzorky byly podrobeny analýze a výsledky byly vyhodnoceny Piperovým diagramem a jako hydrochemický typ podzemní vody byl určen Ca-HCO<sub>3</sub>. Vrty mají často zvýšené koncentrace dusičnanů. Dále byly určeny časové trendy, byl proveden výpočet speciace za pomoci programu PHREEQC a bylo provedeno určení minerálů, jejichž vysrážení by mohlo kontrolovat koncentrace rozpuštěných látek. Po vyhodnocení analýzy časových řad můžeme říci, že změny v chemismu souvisí s dlouhodobým čerpáním vrtů. Minerály, které by se mohly podílet na inkrustaci vrtů jsou siderit (FeCO<sub>3</sub>), rodochrozit (MnCO<sub>3</sub>), dolomit [CaMg(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>], aragonit (CaCO<sub>3</sub>), kalcit (CaCO<sub>3</sub>).

**Klíčová slova:** Vysokomýtská synklinála, hydraulické parametry, transmisivita, hydraulická vodivost, saturační index, speciace

**Počet stran:** 48

**Počet příloh:** 11

**Jazyk:** Český jazyk

**Bibliographical identification:****Author's first name and surname:** Vít Čermák**Title:** Hydraulic parameters and the development of chemistry in the wells in Czech cretaceous in the area Vysokomýtská syncline**Type of thesis:** Diploma thesis**Institution:** Department of geology, Faculty of science Palacký University in Olomouc**Supervisor:** prof. Ing. Ondřej Šrámek M.Sc., PhD.**The year of presentation:** 2015

**Abstract:** This thesis deals with hydraulic parameters and the development of chemistry in the wells in Vysokomýtská syncline – balance complex bc-6. In the years 2009 – 2013 eight new hydrogeological wells 50-150 m were drilled. These wells are installed in the Lower Turon aquifer bound by the Cenomanian sandstone. There have been hydrodynamic tests performed on the wells. They were used to define structure of the aquifer and to determine hydraulic parameters by the Jacob method. Multiple samplings were performed to check the chemistry of water. Collected samples were analysed and the result were plotted in the Piper diagram and the water was characterized as Ca-HCO<sub>3</sub> type. There are frequently high concentrations of nitrate. The concentrations time trends were determined and the speciation calculation was performed by the PHREEQC programme. Based on the results, the chemistry changes are connected to the long-term pumping of wells. The minerals, that could precipitated in the wells are siderite (FeCO<sub>3</sub>), rodochroite (MnCO<sub>3</sub>), dolomite [CaMg(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>], aragonite (CaCO<sub>3</sub>) and calcite (CaCO<sub>3</sub>).

**Key words:** Vysokomýtská syncline, hydraulic parameters, transmissivity, hydraulic conductivity, saturation index, speciation,

**Number of pages:** 48**Number of appendices:** 11**Language:** Czech language

Prohlašuji, že tuto práci jsem vypracoval samostatně. Veškerou literaturu a ostatní prameny, z nichž jsem při přípravě práce čerpal, řádně cituji a uvádím v seznamu použité literatury. Souhlasím s veřejným půjčováním práce.

.....  
Vít Čermák

### **Poděkování**

Na tomto místě bych rád poděkoval svému školiteli prof. Ing. Ondřeji Šráčkovi PhD., M.Sc. za cenné připomínky, rady, trpělivost a za odborné vedení diplomové práce. Dále bych chtěl poděkovat firmě CHOMEX s.r.o. za poskytnutí dokumentace k vrtům, firmě Geoservis - Mgr. Radek Mičke za poskytnutí dat z hydrodynamických zkoušek, dále panu Liboru Kučerovi za pomoc při odběru vzorku na jednotlivých lokalitách a celé mojí rodině, bez jejíž podpory by tato diplomová práce nemohla vzniknout.

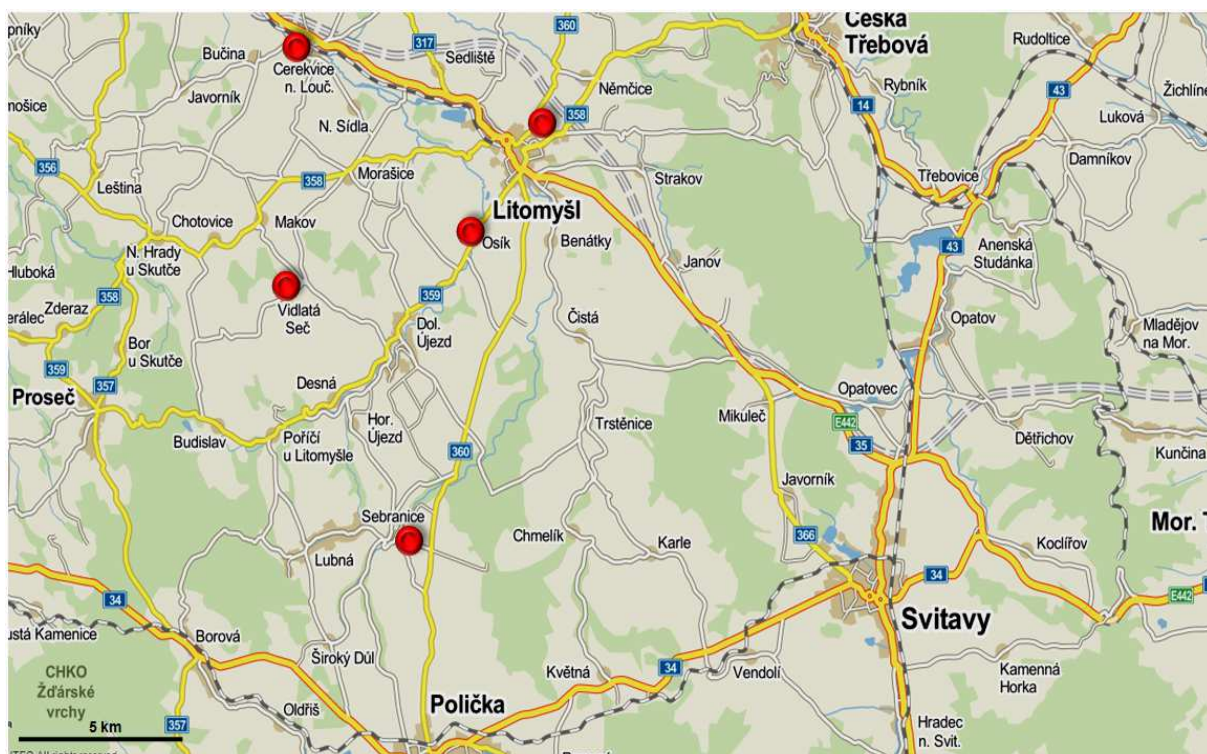
## Obsah:

<b>1. Úvod .....</b>	<b>7</b>
<b>2. Geomorfologie .....</b>	<b>7</b>
<b>3. Klimatické poměry .....</b>	<b>8</b>
<b>4. Regionální geologické zařazení.....</b>	<b>9</b>
<b>5. Geologie.....</b>	<b>10</b>
5.1. Podloží křídý .....	11
5.2. Perucké a korycanské vrstvy .....	11
5.3. Bělohorské souvrství .....	12
5.4. Jizerské souvrství .....	12
5.5. Teplické a březenské souvrství.....	13
5.6. Kvartérní fluviální sedimenty.....	13
5.7. Geotektonika .....	13
5.8. Litologie a stratigrafie .....	13
<b>6. Hydrogeologické poměry .....</b>	<b>15</b>
6.1. Zvodněný systém.....	16
6.2. Proudění podzemních vod .....	18
6.3. Hydraulické parametry .....	19
6.4. Geologie a hydrogeologie vrtů .....	22
6.4.1. Cerekvice nad Loučnou.....	22
6.4.2. Litomyšl .....	23
6.4.3. Osík .....	26
6.4.4. Sebranice .....	28
6.4.5. Vidlatá Seč .....	29
6.5. Okrajové podmínky při čerpacích zkouškách .....	31
<b>7. Chemismus vod .....</b>	<b>31</b>
7.1. Graf chemismu vod .....	32
<b>8. Metodika .....</b>	<b>33</b>
8.1. Výpočet indexu transmisivity Y a indexu propustnosti Z.....	33
8.2. Hydrodynamické zkoušky .....	34
8.3. Čerpací zkoušky .....	34
8.4. Stoupací zkoušky.....	34
8.5. Hydraulické parametry .....	35
8.6. Hydrogeochemická speciace .....	36

<b>9. Výsledky</b> .....	<b>37</b>
9.1. Výpočet hydraulických parametrů .....	37
9.2. Hodnoty hydraulických parametrů .....	37
8.6. Chemismus vody ve vrtech .....	40
8.6.1. Cerekvice nad Loučnou.....	40
16.6.2. Litomyšl .....	40
16.6.3. Osík .....	41
16.6.4. Sebranice .....	41
16.6.5. Vidlatá Seč .....	41
9.3. Analýza časových řad vývoje chemismu vod .....	43
9.4. Výpočet speciace .....	48
<b>10. Diskuze</b> .....	<b>49</b>
<b>11. Závěr</b> .....	<b>52</b>
<b>12. Literatura</b> .....	<b>53</b>
<b>13. Seznam příloh</b> .....	<b>56</b>

## 1. Úvod

Studované území se nachází v Pardubickém kraji, v okrese Svitavy. V hydrogeologické oblasti České křídly a to konkrétně ve Vysokomýtské synklinále bylo v letech 2009 – 2013 vyhloubeno 8 nových hydrogeologických vrtů o hloubkách 50-150 metrů. Vrtly byly vystrojeny a byly na nich provedeny hydrodynamické zkoušky. Vrtly zastihly spodnoturonský kolektor a hlavní zvodnění je vázáno na cenomanské pískovce. Mezi cíli práce bylo definování struktury podzemní vody, vyhodnocení hydraulických parametrů. Dále probíhala monitorovací část, která spočívala v odběrech podzemní vody na jednotlivých lokalitách. Odebrané vzorky byly podrobeny analýze a výsledky byly vyhodnoceny a byly využity k určení hydrochemického typu podzemní vody. Dále bylo cílem určit časové trendy vývoje chemismu a výpočet hydrogeochemické speciace.



Obr. 1: Mapa území (NAVTEQ, 2010) ● – označení lokalit

## 2. Geomorfologie

Lokalita náleží provincii Česká vysočina, subprovincii Česká tabule, oblasti Východočeská tabule, celku Svitavská pahorkatina (Demek et. al., 2006) – charakteristická je svým tabulovitým rovinným charakterem, který je ovlivněný téměř horizontálně uloženými křídovými sedimenty a zdůrazněný širokými nivami a rozsáhlými terasami některých toků. (Kačura et. al., 1991). Vysokomýtská synklinála se nachází ve třech celcích a to v Litomyšlském

úvalu, Kozlovském hřbetu a ve Vysokomýtské kotlině. Litomyšlský úval leží v sv. části Loučenské tabule a je to tektonicky podmíněný úval v povodí Loučné. Kozlovský hřbet se nachází v z. části Českotřebovské vrchoviny a je plochou vrchovinou v povodí Divoké a Tiché Orlice, Loučné a Svitavy. Vysokomýtská kotlina leží v s. části Loučenské tabule a je to erozní kotlina v povodí Loučné (Demek et al., 2006).

### 3. Klimatické poměry

Studované území spadá do klimatické oblasti B<sub>5</sub> – okrsek mírně teplý, vlhký, vrchovinový. Průměrné měsíční a roční teploty vzduchu a průměrné teploty za letní a zimní období jsou uvedeny v tabulce (Tab. 1). Údaje byly získány ze srážkoměrné stanice Litomyšl (Kačura et. al., 1991).

Tab. 1: Průměrná měsíční a roční teplota vzduchu [°C] (upraveno podle Kačura et. al., 1991)

stanice	m. n. m.	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.	I.-XII.	IV.-IX.	X.-XII.
Litomyšl	347	-3,0	-1,8	2,2	7,5	12,8	16,2	18,0	17,2	13,7	8,1	3,4	-0,7	7,8	14,2	1,4

Dlouhodobá sledování srážek (1931–1960) byla zpracována v dlouhodobých průměrech a vyjádřena v tabulce (Tab. 2). Data byla použita ze stanic, které spadají do studovaného území (Kačura et. al., 1991).

Tab. 2: Průměrné měsíční a roční úhrny srážek [mm] (upraveno podle Kačura et. al., 1991)

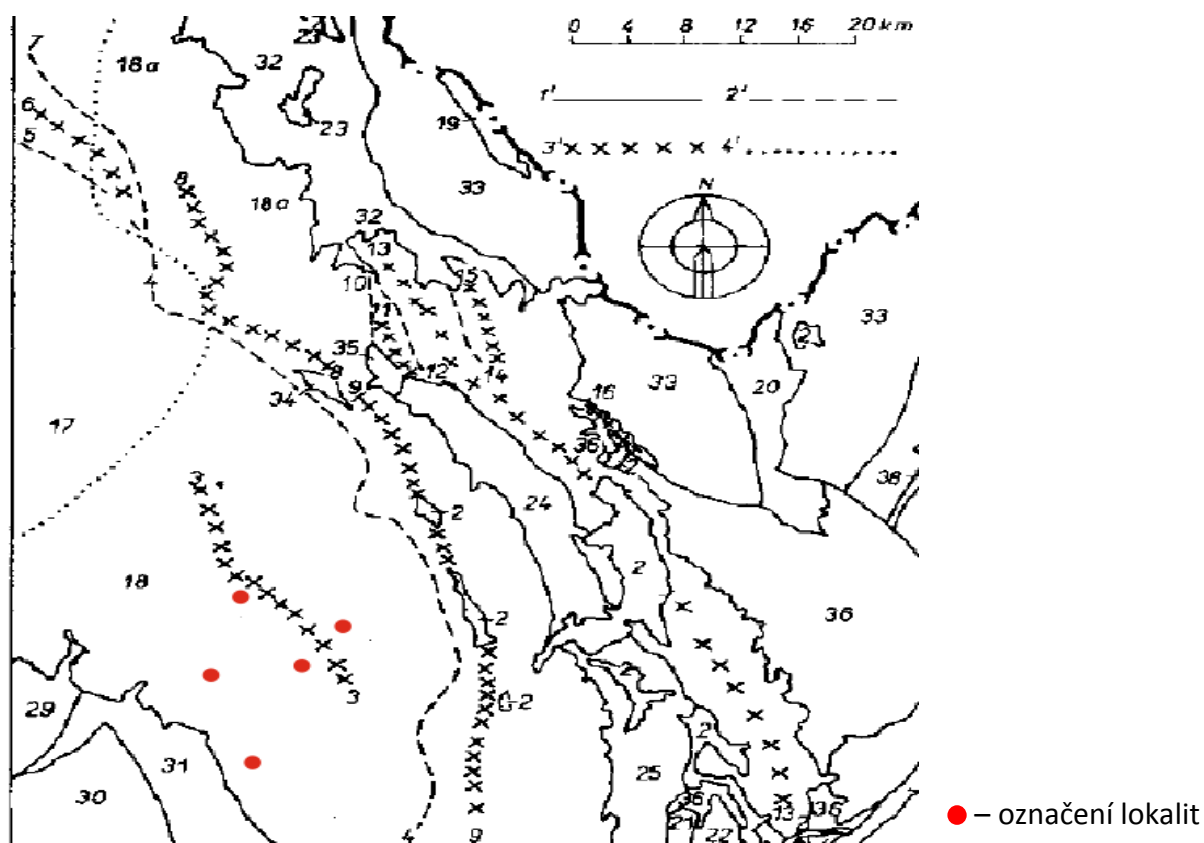
stanice	m. n. m.	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.	I.-XII.	IV.-IX.	X.-XII.
Česká Třebová	394	64	61	52	56	75	79	102	90	62	61	59	59	820	464	356
Litomyšl	351	40	43	38	47	73	86	125	85	55	54	48	38	714	453	261
Lubná	560	45	45	38	51	74	80	100	83	52	56	46	41	711	440	271
Mikuleč	513	50	47	44	50	77	83	95	89	58	59	49	44	745	452	293
Nové Hradky	400	43	45	38	47	78	77	109	84	53	55	43	42	724	448	266



#### 4. Regionální geologické zařazení

Území se nachází v severovýchodní části Českého masivu. Na studovaném území vystupují svrchnokřídové sedimenty. Tyto sedimenty jsou součástí komplexu usazenin České křídové pánve, jejíž osa probíhá asymetricky od Vysokého Mýta přes Týniště n. Orlicí a Třebechovice pod Orebem dále na západ k Hradci Králové. Na studovaném území sahá Česká křídová pánev se subhorizontálně uloženými vrstvami jen svou východní částí. Převážná část křídových sedimentů leží již v území, kde při saxonské tektogenezi došlo ke zdůraznění synklinální stavby pánve a ke vzniku antiklinál a synklinál (Kačura et. al., 1991).

Na j. území mapy je vysokomýtská synklinála (omezená na JZ vracavskou antiklinálou), která představuje pokračování hlavní křídové pánve. Dále na V je oddělena potštejnskou antiklinálou od protáhlé orlicko–ústecké synklinály. Severně od Týniště n. Orlicí se potštejnská antiklinála štěpí na západnější libřickou a východnější opočenskou antiklinálu, mezi nimiž je jaroměřská synklinála. V s. pokračování poorlického permu je zbytek litické antiklinály, která je v místě permu denudována. Mezi ní a kyšperskou synklinálou, která leží východně, je záchlumská synklinála a rybenská antiklinála. Dále na V od s. části kyšperské synklinály jsou žamberská antiklinála a úzká rokytnicko–žamberská synklinála. Křídové sedimenty vyplňují rovněž králický příkop (Kačura et. al., 1991).



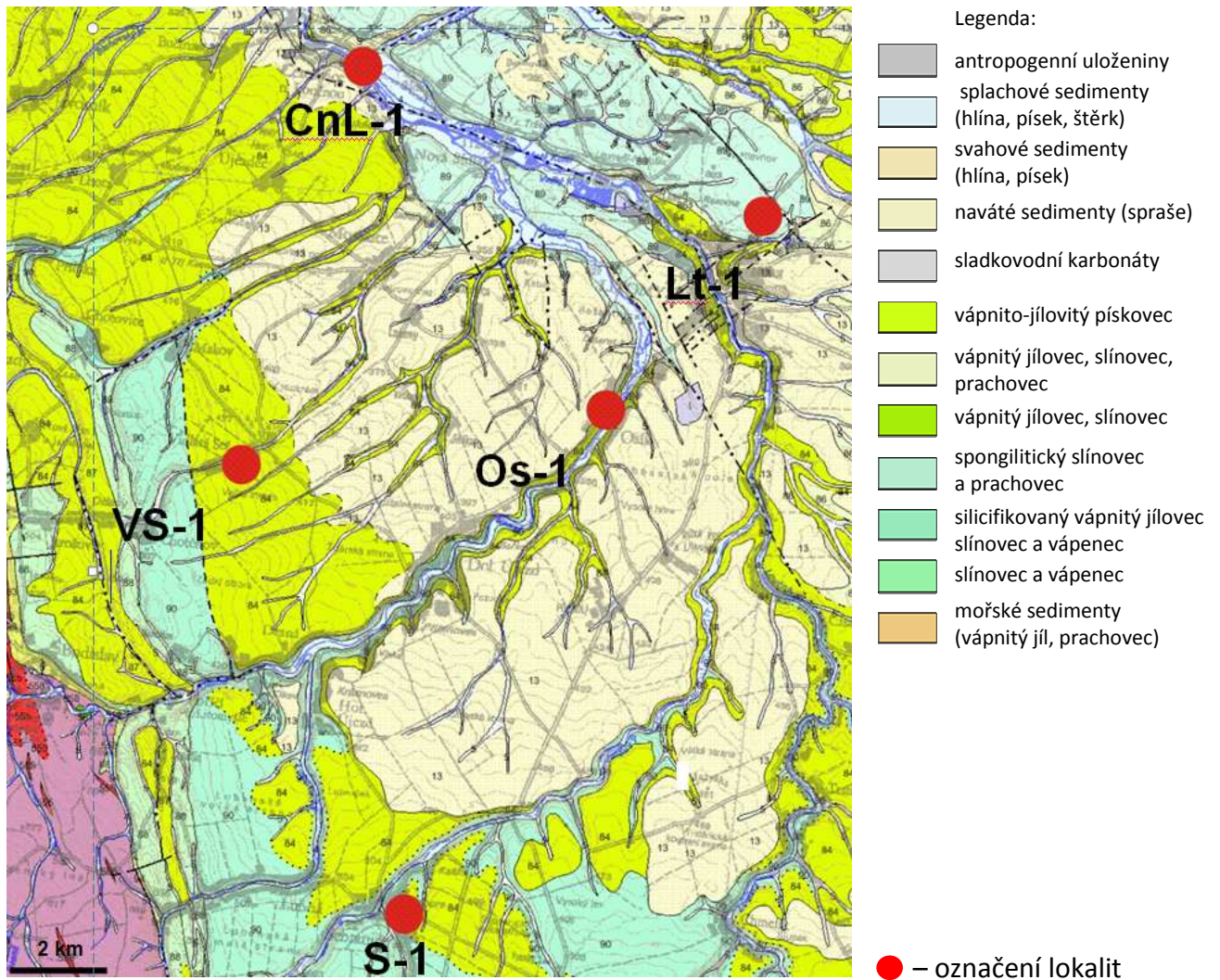
Obr. 2: Schéma předkvartérních geologických jednotek (upraveno podle Kačura et. al., 1991)

Legenda k Obr. 2: 1' – hranice jednotek; 2' – osy křídových antiklinál; 3' – osy křídových synklinál; 4' – hranice faciálních oblastí; 1 – pliocén Hornomoravského úvalu; 2 – relikt neogénu v českém masívu; 3–16 – osy křídových struktur: 3 – vysokomýtská synklinála; 4 – potštejnská antiklinála; libřická antiklinála; 6 – jaroměřská synklinála; 7 opočenská antiklinála; 8 – s. část orlicko–ústecké synklinály; 9 – j. část orlicko–ústecké synklinály; 10 – litická antiklinála; 11 –záchlumská synklinála; 12 – rybenská antiklinála; 13 – kyšperská synklinála; 14 – žamberská antiklinála; 15 – rokytnicko–žamberská synklinála; 16 – jablonská synklinála; 17 – labská faciální oblast; 18 – jz. okraj orlicko–žďárské faciální oblasti; 18a – sv. okraj orlicko–žďárské oblasti; 19 – křída v okolí Orlického Záhoří; 20 králický příkop; 21 – opatovická křída; 22 – perm boskovické brázdy; 23 ostrůvky podkrkonošského permu; 24 – poorlický perm; 25 – moravskotřebovský perm; 26 – hornobenešovské souvrství; 27 – andělskohorské souvrství; 28 – kulm Dražanské vrchoviny; 29 – paleozoikum hlinecké zóny; 30 – svratecké krystalinikum; 31 – poličské krystalinikum; 32 – novoměstské krystalinikum; 33 – orlicko–kladské krystalinikum; 34 – potštejnský masív; 35 litický masív; 36 – zábřežské krystalinikum; 37 – staroměstské krystalinikum; 38 – skupina Branné

Během sedimentace docházelo ke kolísavým epeirogenetickým pohybům, což se projevilo v litologickém charakteru a v mocnosti sedimentů, zvláště v souvrství středního a svrchního turonu a coniacu. Po regresi svrchnokřídového moře nastal podél saxonských zlomů (většinou po oživených starších zlomech) kerný rozpad platformního pokryvu (Kačura et. al., 1991).

## 5. Geologie

Křídové sedimenty dosahují v ose s. části vysokomýtského zvodněného systému maximálních mocností kolem 350 m, přísluší perucko-korycanskému až březenskému souvrství v jv. progradačním areálu (tzv. orlicko–žďárský vývoj). Vývoj a rozsah mocností nejstarších uloženin jsou výrazně ovlivněny morfologií předkřídového povrchu (Krásný et. al., 2012).



Obr. 3: Výřez geologické mapy (upraveno z Czech Geological Survey (CGS) 2014)

### 5.1. Podloží křídý

Podloží tvoří převážně metamorfity, regionálně řazené jednak k bohemiku, jednak k lugiku, místy s průniky granitoidů. Do z. okolí Ústí nad Orlicí zasahují permské sedimenty orlické pánve, vystupující na povrch v rozsáhlém území dále k V (v osní části litické antiklinály), (Krásný et. al., 2012).

### 5.2. Perucké a korycanské vrstvy

Na studovaném území jsou zastoupeny střídajícími se polohami jílovců, někdy uhelných, až prachovců, popř. slepenců, které se ukládali v depresích předkřídového povrchu. Dosahují mocnosti až kolem 20 m. Obvyklá mocnost *korycanských vrstev* je 10-20 m, s maximy přes 60 m. Převládají glaukonitické pískovce, místy přecházející do drobnozrnných slepenců, někdy též s vložkami jílovitých prachovců. Perucko-korycanské souvrství je rozšířeno souvisle v převážně

části zvodněného systému. Chybí především v prostoru holicko-novoměstské elevace, zasahující z novobydžovského systému do s. okolí Vysokého Mýta (Krásný et. al., 2012).

### **5.3. Bělohorské souvrství**

Nachází se v celém zvodněném systému. Na holicko-novoměstské elevaci nasedá toto souvrství přímo na podloží křídly. Je tvořeno jediným výrazným, do nadloží hrubnoucím progradacním cyklem o proměnlivé celkové mocnosti 50 až 100 m. Na bázi cyklu jsou prachovité vápnité jílovce a slínovce, v nichž do nadloží přibývá hrubšího materiálu, ale též vápnité a křemité složky, takže vznikaly pevné spikulitové slínovce. Ve svrchní části cyklu převládají rigidní silicifikované vápnité prachovce, prachovité vápence a jemnozrnné vápnitójílovité pískovce. Výskyt hlavních litologických jednotek se v rámci cyklu mění také v horizontálním směru: v j. části zvodněného systému se v pískovcích objevují polohy a konkrece rohovců a spikulitové slínovce dosahují a k bázi souvrství. Naopak v s. a sz. části zvodněného systému jsou pískovce jemnější a přecházejí do silicifikovaných slínovců (Krásný et. al., 2012).

### **5.4. Jizerské souvrství**

Na povrch vychází v centrální části vysokomýtské synklinály. Sestává se ze dvou do nadloží hrubnoucích cyklů, obdobného litologického vývoje jako v případě bělohorského souvrství: bazální slínovce cyklů přecházejí do nadloží do velmi pevných spikulitových slínovců, zčásti písčitoprachovitých. Oba cykly končí jemno- až střednozrnnými, převážně jílovitovápnitými pískovci, často glaukonitickými. Pískovce svrchního cyklu bývají označovány jako kallianasové. Mocnost pískovců, dosahující v každém z cyklů až 45 m, a také jejich zrnitost se v obou cyklech zmenšuje k SZ, tj. k s. okraji progradacního areálu. Pískovce tak v tomto směru postupně přecházejí v prachovce a v pevné písčitoprachovité spikulitové slínovce a posléze slínovce, charakteristické pro jizerské souvrství v sousedním novobydžovském systému. Uvedená faciální změna v ose vysokomýtské synklinály postihuje pískovce svrchního cyklu až v území s. od Vysokého Mýta, zatímco v cyklu spodním dochází k faciálním změnám již v území více k JZ, mezi Litomyšlí a Vysokým Mýtem (Obr. 6). Výběžky obou pískovcových těles o maximální mocnosti cca 10 m byly zjištěny i dále k Z až v okolí Hrochova Týnce a pískovce spodního cyklu jako erozní relikt o mocnosti až 25 m dokonce ještě v křídě Dlouhé meze. Úplná mocnost jizerského souvrství v ose synklinály mezi Litomyšlí a Vysokým Mýtem přesahuje 150 m. Více se mění mocnost spodního (55-90 m) než svrchního cyklu (kolem 100-110 m), (Krásný et. al., 2012).

### **5.5. Teplické a březenské souvrství**

Tyto souvrství jsou vyvinuta jen v centru vysokomýtské synklinály. Teplické souvrství dosahuje v okolí Vysokého Mýta mocnosti kolem 80 m. V jeho spodní části jsou vápnité jílovce až slínovce, svrchní část je tvořena místy značně silicifikovanými rohateckými vrstvami o poměrně stálé mocnosti cca 30 m. Vápnité jílovce březenského souvrství v neúplných mocnostech 15-20 m se zachovaly jen na několika návrších v blízkém jv. okolí Vysokého Mýta (Krásný et. al., 2012).

### **5.6. Kvartérní fluviální sedimenty**

Tyto sedimenty překrývají ve větších mocnostech křídové uloženiny především podél hlavních toků - Orlice a Loučné (Krásný et. al., 2012).

### **5.7. Geotektonika**

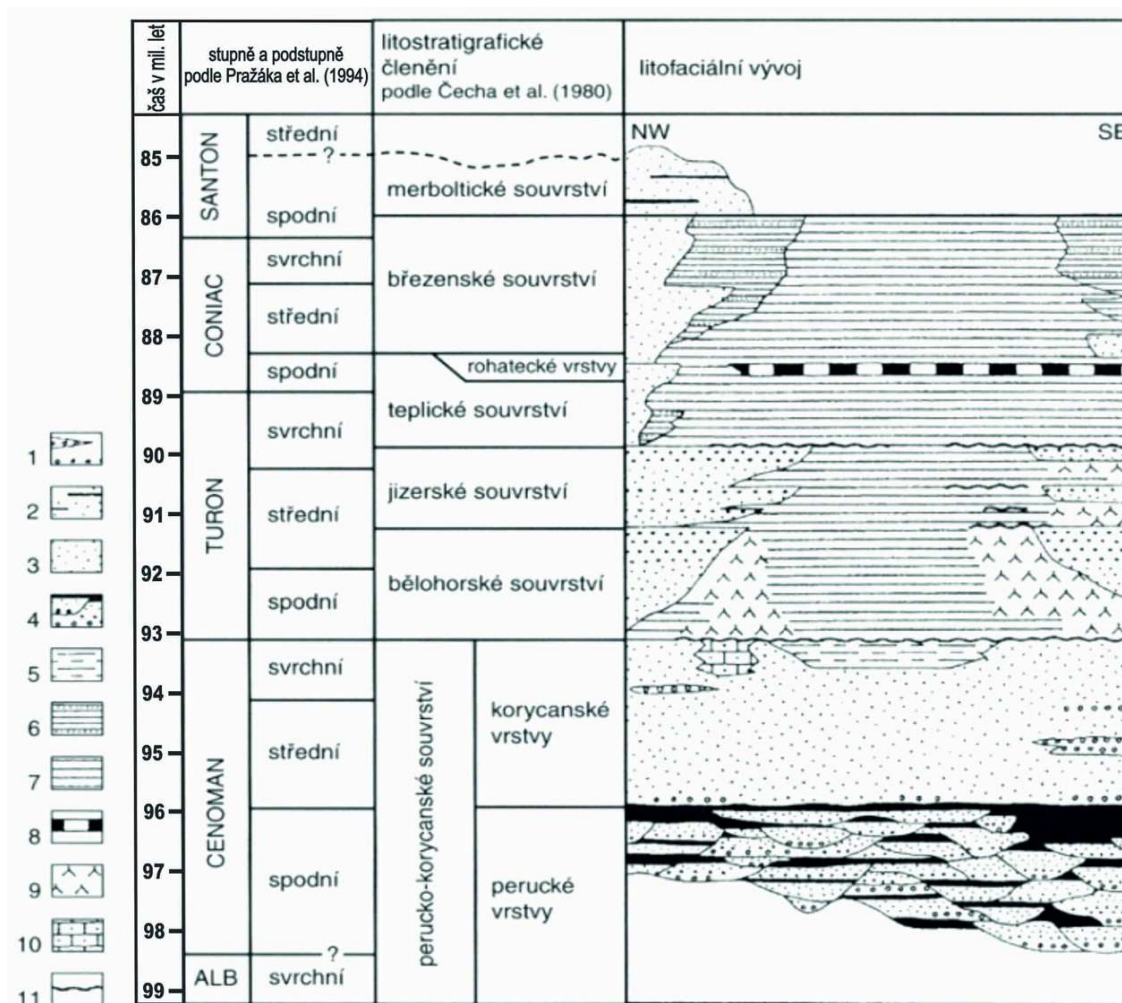
Vysokomýtská synklinála se jako jv. výběžek hradecké synklinály vyznačuje poměrně symetrickou stavbou. Na JV je ukončena plochým brachysynklinálním uzávěrem. V podélném směru byla Vysokomýtská synklinála dříve vymežována dvěma antiklinálami, vraclavskou na Z a potštejskou na V. Z nich zřejmě existuje jen asymetrická, morfologicky výrazná potštejská antiklinála, omezená na V semanínským zlomem. Novým mapováním nebyl zjištěn vrásový ohyb jz. křídla dříve předpokládané vraclavské antiklinály, pouze ve v. části území byla prokázána malejovská flexura (Čech et. al., 2001).

V jádře potštejské antiklinály vystupují na den v údolí Divoké a Tiché Orlice horniny křídového podloží, krystalinikum s granodioritem a perm. Severozápadní a s. okrajová část vysokomýtského zvodněného systému je v příčném, zhruba z.-v. směru porušena zlomy o výšce skoku až kolem 200 m. Na SZ to jsou dva zámrské zlomy, které omezují vyzdviženou kru s bělohorským souvrstvím, nasedajícím přímo na podloží křídly, a při s. hranici zvodněného systému častolovický zlom, příčně posouvající osu potštejské antiklinály. Na základě nedávných výzkumů byl však prostor zámrských zlomů odlišně interpretován (Čech et. al., 2001).

### **5.8. Litologie a stratigrafie**

Litologickým vývojem patří studované území České křídové pánve faciální oblasti orlicko-žďárské, v níž převažují typy písčitých slínovců. Křídové horniny představují komplex, ve kterém jsou zastoupeny sedimenty od pískovců přes písčité slínovce a kalové vápence až po slínovce s celou řadou přechodů mezi uvedenými horninami. Tento litofaciální vývoj určuje

hydrogeologický charakter hornin a z tohoto důvodu je podrobněji popsán i v menších stratigrafických jednotkách (Obr. 4), (Kačura et. al., 1991).



Obr. 4: Stratigrafické schéma České křídové pánve (upraveno podle Herčík et al., 1999)

1 – slepence; 2 – pískovce s vložkami jílovců; 3 – pískovce; 4 – cyklické střídání slepenců, pískovců a jílovců; 5 – prachovce; 6 – vápnité jílovce s vložkami pískovců; 7 – vápnité jílovce až biomikritické vápence; 8 – rohatecké vrstvy; 9 – slínovce (opuky); 10 – bioklastické vápence; 11 – glaukonitické obzory na hiátových plochách

Sladkovodní cenoman (fluviálně limnické sedimenty) je vyvinut zhruba v území západní a osní části vysokomýtské synklinály. V ideálním profilu sladkovodního cenomanu je na bázi poloha slepenců až brekcí, která přechází do nadloží do hrubozrnných pískovců, které se postupně zjemňují a přecházejí do jílovců. Nad nimi jsou opět hrubozrnné pískovce. Sedimenty sladkovodního cenomanu končí polohou jílovců, které mají častý uhelný pigment, popř. zuhelnatělé rostlinné úlomky (Kačura et. al., 1991).

Mořský cenoman je na celé ploše pokryt mladšími křídovými sedimenty. Jsou zde pískovce různé zrnitosti ve spodní části a středně až jemně zrnité pískovce ve svrchnější části. Typická je příměs glaukonitu (Kačura et. al., 1991).

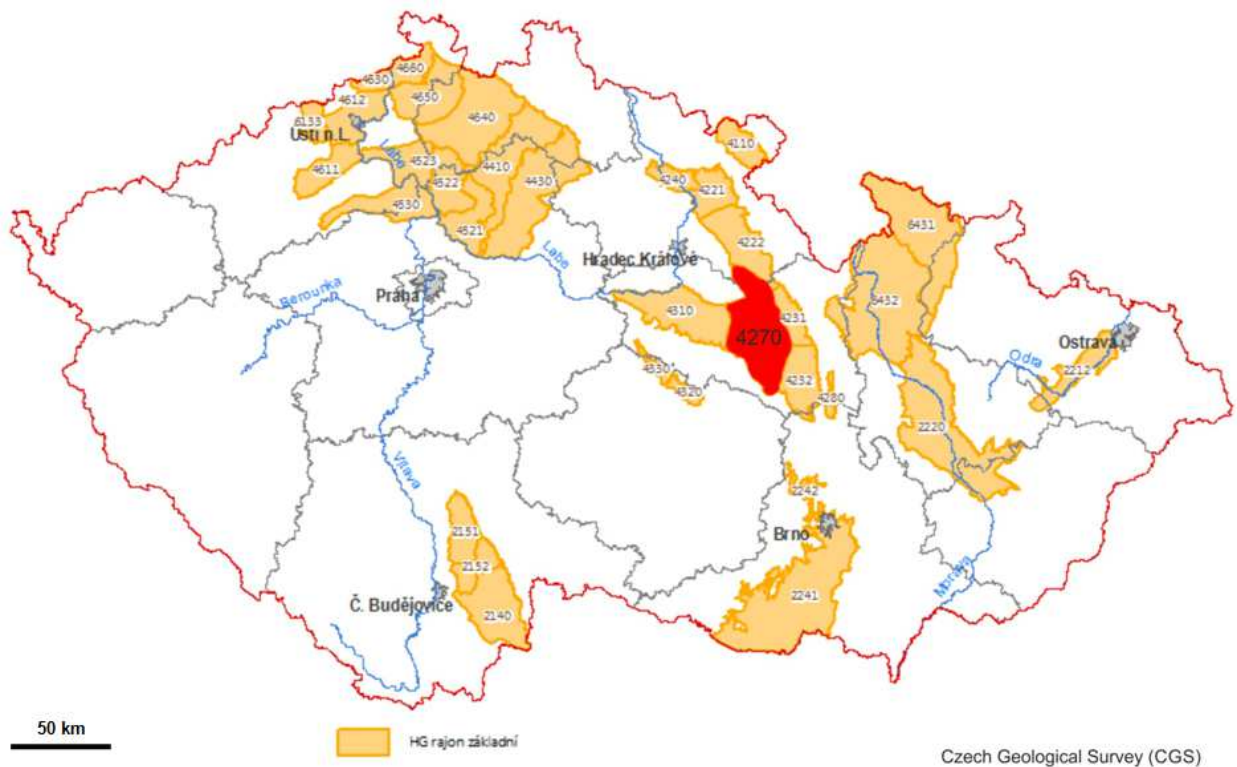
Sedimenty spodního a středního turonu se usadily v celé ploše pokryté křídovými sedimenty. Spodnoturonské sedimenty jsou vyvinuty v přechodné facii, kde se střídají dosti pevné, vápnité, prachové nebo písčité spongility a spongilitické prachovce se spongilitickými slínovci. Zejména ve vyšší části přibývá písčité složky a jsou zde glaukonitické pískovce, často spongilitické. V orlicko–žďárské faciální oblasti je bazální oddíl většinou ve vývoji poměrně měkkých prachových slínovců. Směrem do nadloží přibývají spongilitické příměsi, až převládají víceméně spongilitické slínovce a prachovce, které jsou ve svrchní části vystřídány jemnozrnnými spongilitickými pískovci. V širším okolí Svitav, České Třebové a Litomyšle jsou tyto jemnozrnné pískovce vápnité, zčásti glaukonitické a spongilitické (Kačura et. al., 1991).

Souvrství svrchního turonu je ve facii slinitých sedimentů. Ve v. okrajové části křídvy (vysokomýtská, orlicko–ústecká a kyšperská synklinála) došlo ve svrchním turonu k výzdvihu, a tudíž i k redukcí jeho mocnosti. Sedimenty svrchního turonu obvykle bezprostředně přecházejí do coniacu, který je rovněž vyvinut ve slinité facii (Kačura et. al., 1991).

## **6. Hydrogeologické poměry**

Zkoumané území se podle strukturně hydrogeologického typu řadí mezi pánve. Hydrogeologická pánev je charakteristická především střídajícím se zastoupením kolektorů, obvykle s převládající průlinovou či dvojnou pórovitostí, a izolátorů (Krásný et. al., 2012).

Křídové sedimenty vytvářejí díky svému pánvovitému uložení struktury s akumulacemi podzemních vod v průlinovopuklinově propustných pískovcích a puklinově propustných písčítých slínovcích. V ploše výskytu křídových sedimentů převládají na povrchu nepropustné nebo méně propustné sedimenty, takže uvnitř pánevních struktur se vytváří artéský režim. Zájmové území spadá do bilančního celku 6 a hydrogeologického rajonu 4270 (Obr. 5), (Kačura et. al., 1991).



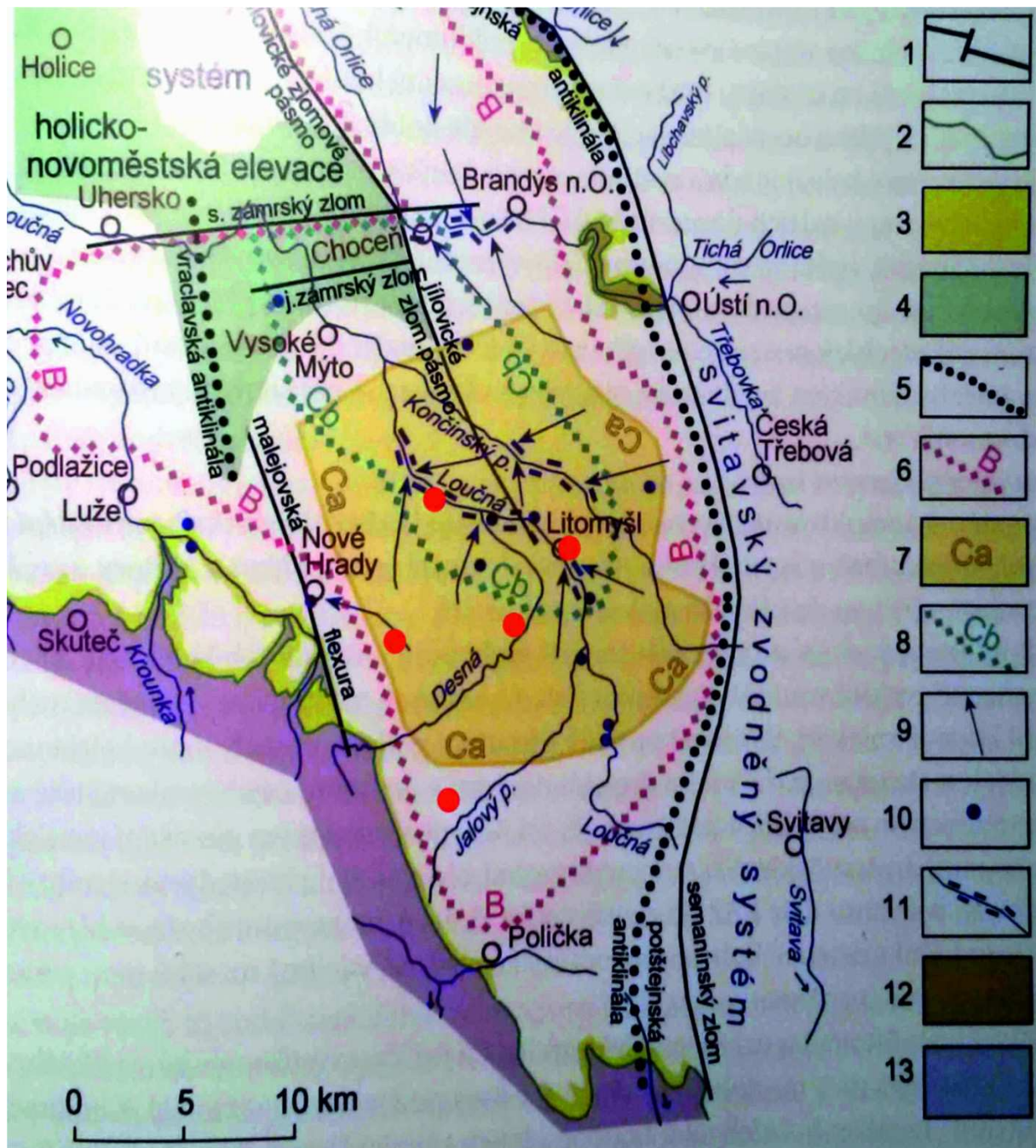
Obr. 5: Hydrogeologický rajon 4270 (upraveno z Czech Geological Survey (CGS) 2014)

### 6.1. Zvodněný systém

Ve vysokomýtském zvodněném systému lze vymezit celkem pět superponovaných kolektorů oddělených izolátory. Od podloží do nadloží to jsou (Obr. 6): bazální křídový kolektor (A), vázaný na perucko-korycanské souvrství, spodní kolektor (B), reprezentovaný svrchní částí bělohorského souvrství v pískovcovo-prachovcovém vývoji, a dva střední kolektory (Ca, Cb), tvořené, podobně jako v případě bělohorského souvrství, horními částmi dvou do nadloží hrubnoucích cyklů jizerského souvrství. V nejvyšší části teplického souvrství lze jako svrchní kolektor vymezit pevné silicifikované slínovce rohateckých vrstev (D). Mezilehlé izolátory představují především spodní části uvedených inverzních cyklů a dále teplické souvrství v peltickém vývoji (Krásný et. al., 2012).

Vzhledem k poměrně symetrické stavbě vysokomýtské synklinály je rozloha hydrogeologických těles určena jejich stratigrafickou příslušností, takže každé z mladších hydrogeologických těles je vždy více omezeno na centrální část synklinály. Řídícím kolektorem vysokomýtského systému je kolektor bělohorského souvrství (B), který je v některých územích rozšířen více než starší bazální křídový kolektor, chybějící v rozsahu předkřídových elevací. Naopak vodohospodářsky významnější kolektory jizerského souvrství (zvláště Cb) se nacházejí v méně rozsáhlých územích ve střední části synklinály, přičemž vyšší kolektor Cb je oproti kolektoru Ca rozšířen dále k SSZ (Krásný et. al., 2012).





● – označení lokalit

Obr. 6: Přehledná situace vysokomýtského zvodněného systému (Krásný et. al., 2012).

1 – významné zlomy a zlomová pásma; 2 – erozní okraj české křídové pánve; 3 – výchozy bazálního kolektoru; 4 – holicko-novoměstská elevace; 5 – osy hlavních antiklinál; 6 – 8 rozsah nádrží v jednotlivých kolektorech; 9 – převládající směry proudění podzemních vod; 10 – významné prameny; 11 – hlavní zóny drenáže podzemních vod; 12 – výchozy permu; 13 – výchozy předkarbonských jednotek

## 6.2. Proudění podzemních vod

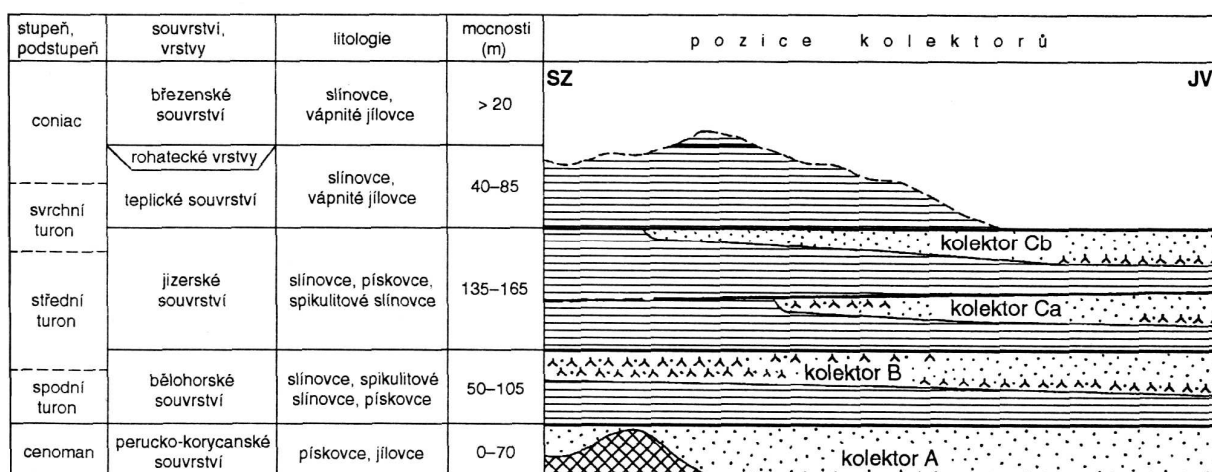
Převládající pórovitost bazálního kolektoru je průlinovo-puklinová, všechny vyšší kolektory včetně rohateckých vrstev jsou charakteristické převahou pórovitosti puklinové. Proudění je poměrně komplikované. Vyznačuje se kombinací subhorizontálního proudění v jednotlivých kolektorech a vertikálního přetékání napříč mezilehlými izolátory o nepříliš velké mocnosti, většinou do několika málo desítek metrů. K infiltraci dochází na výše položených výchozech jednotlivých kolektorů, jejichž rozsah všeobecně vzrůstá v mladších souvrstvích. Omezenou infiltrací se vyznačuje nejhlubší bazální kolektor. Poměrně pomalé proudění podzemní vody tímto kolektorem určuje především skutečnost, že k jeho drenáži dochází v centrální části vysokomýtské synklinály prostřednictvím nadložních kolektorů (B, Ca, Cb) po vzestupném přetékání mezilehlými izolátory, popř. hydraulickými zkraty puklinovými zónami. Pohybu podzemní vody v bazálním křídlovém kolektoru dále k SZ do centra české křídlové pánve v novobydžovském zvodněném systému brání existence holicko-novoměstské elevace, v jejímž rozsahu není perucko-korycanské souvrství vyvinuto (Krásný et. al., 2012).

Hlavním infiltračním územím kolektorů B a Ca je j. část vysokomýtské synklinály v širokém s. okolí Poličky a na V morfologicky výrazný s. úsek potštejské antiklinály. K infiltraci přispívá influentní charakter horního toku Loučné a jejich přítoků Desné, Jalového potoka a Končinského potoka. S ohledem na geometrii obou uvedených kolektorů zasahuje infiltrační území kolektoru B bělohorského souvrství dále k J i k S než u kolektoru Ca v pískovcích spodního cyklu jizerského souvrství. Z míst infiltrace protéká podzemní voda ve vyzdvižených a skloněných křídlech synklinály, v tzv. oblastech stoku Herčíka et. al. (1999), poměrně rychle do centrálních částí, bez možnosti vytvářet významnější akumulace podzemních vod. Nádrže, využitelné k jímání větších množství podzemních vod, tak vznikají především ve střední části zvodněného systému (Obr. 6), (Krásný et. al., 2012).

Kolektor Cb svrchního cyklu jizerského souvrství je rozšířen jen v centrální části vysokomýtské synklinály. Je zčásti překryt izolátorem, především slínovci teplického souvrství. Na rozdíl od hlubší zvodní s napjatou hladinou je zvoděň Cb většinou volná. Přes poměrně omezené možnosti přímé infiltrace do kolektoru Cb dochází, vzhledem k jeho hydrogeologické pozici v zóně regionální drenáže vysokomýtského zvodněného systému s převážně vzestupným prouděním podzemní vody, k významné dotaci přítokem z hlubších kolektorů, především B a Ca, v malé míře též z bazálního křídlového kolektoru (Krásný et. al., 2012).

V centrální části systému se vytváří v různé míře hydraulicky souvislá akumulace podzemních vod, v závislosti na rozšíření a vlastnostech jednotlivých kolektorů a izolátorů. K přírodnímu odvodnění celého vysokomýtského zvodněného systému docházelo především

v údolí Loučné v úseku Litomyšl - Vysoké Mýto jednak velkými prameny, např. v Litomyšli – Nedošíně, prameništěm Pekla u Hrušové (5 km jv. od Vysokého Mýta) o vydatnosti cca 100 l/s, pramenem v Korytech (cca 50 l/s) a dalších. V současné době jsou přírodní piezometrické poměry významně ovlivněny odběry podzemní vody z vrtů především ve Vysokém Mýtě. Spodním kolektorem B, částečně přesahujícím k Z do sousedního novobydžovského zvoněného systému, přetéká část podzemní vody do povodí Novohradky, kde je následně drénována pramenem Nadymač o původní vydatnosti 70 l/s. K drenáži kolektoru B dochází rovněž v nejsevernější části vysokomýtského systému, v pruhu vymezeném na Z jílovickým zlomem a na V potštejnskou antiklinálou: podél Tiché Orlice v úseku Brandýs nad Orlicí – Choceň, kde dochází k nárůstu průtoku kolem 300 l/s, a rovněž podél Divoké Orlice z. od Kostelce nad Orlicí (Krásný et. al., 2012).



Obr. 7: Stratigrafické schéma vysokomýtské synklinály s vymezením kolektorů (upraveno podle Herčík et. al., 1999).

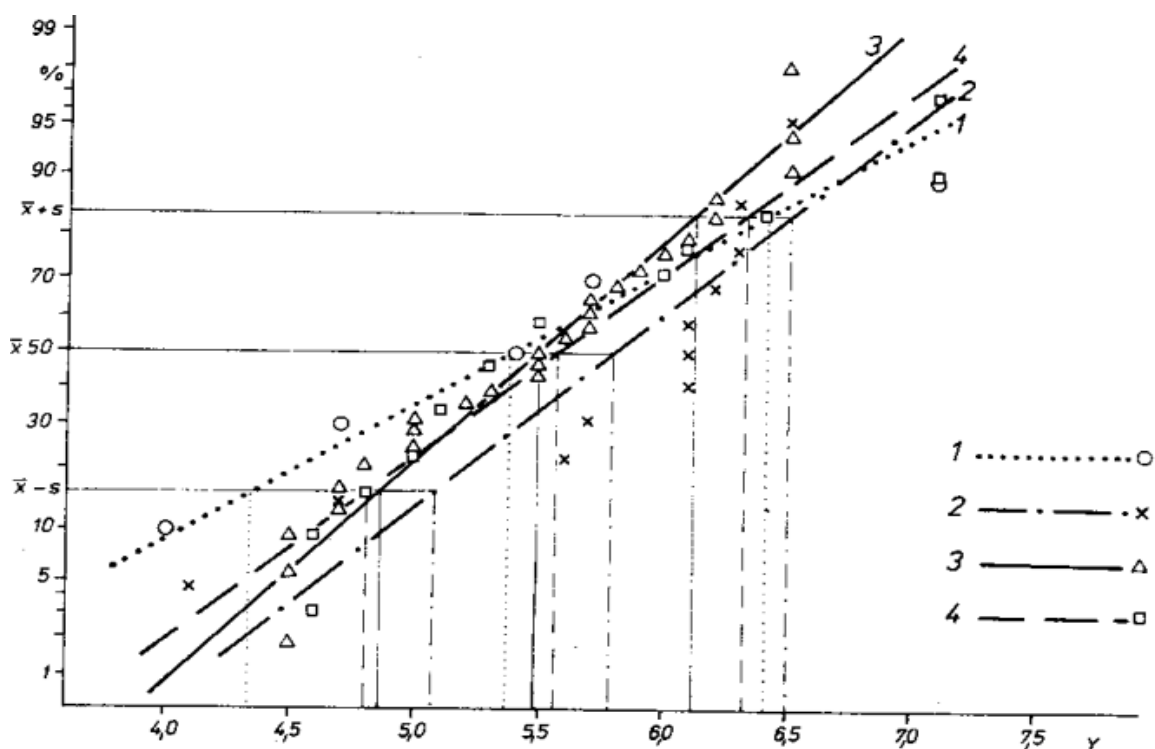
### 6.3. Hydraulické parametry

Při popisu hydraulických parametrů křídových sedimentů se zde přidržujeme dělení na strukturní jednotky, v nichž se projevují jak litofaciální rozdíly, tak hlavně strukturní samostatnost. Indexy transmisivity  $Y$  jsou zpracovány jako základní statistické charakteristiky v tabulce (Tab. 3), (Kačura et. al., 1991).

Tab. 3: Základní statistické charakteristiky transmisivity některých souborů křídových sedimentů podle výsledků čerpacích zkoušek v hydrogeologických vrtech, Kt-cn – coniac, Kt<sub>1</sub> – spodní turon, Kt<sub>2</sub> – střední turon,  $\bar{x}$  – aritmetický průměr souboru,  $\tilde{x}$  – medián, R – variační rozpětí, s – směrodatná odchylka,  $\bar{x} \pm s$  – pravděpodobný interval výskytu 68% všech hodnot (upraveno podle Kačura et. al., 1991)

soubor	n	index transmisivity Y							odhad odpovídajícího T(m <sup>2</sup> /s)	
		min.	max.	$\bar{x}$	$\tilde{x}$	R	s	$\tilde{x} \pm s$	$\bar{x}$	$\bar{x} \pm s$
Vysokomýtská synklinála	Kt-cn	4,6	7,1	5,57	5,4	2,5	0,76	4,81 - 6,33	6,0E-04	1,0E-04 - 3,5E-03
	Kt <sub>2</sub>	4,5	6,5	5,48	5,5	2,0	0,62	4,86 - 6,10	4,9E-04	1,2E-04 - 2,0E-03
	Kt <sub>2</sub> -Kt <sub>1</sub>	4,1	6,5	5,79	6,1	2,4	0,71	5,08 - 6,50	1,0E-03	1,9E-04 - 5,1E-03
	Kt <sub>1</sub>	4,0	7,1	5,38	5,4	3,1	1,04	4,34 - 6,42	3,9E-04	3,5E-05 - 4,3E-03

Kumulativní relativní četnosti indexů transmisivity Y jsou uvedeny podle oblastí, eventuálně struktur na obrázku (Obr. 8). V orlicko-žďárské faciální oblasti, kde je vysokomýtská synklinála, je prakticky zastoupena celá svrchní křída od cenomanu až po svrchní turon a coniak (Obr. 4), (Kačura et. al., 1991).



Obr. 8: Relativní kumulativní četnosti indexu transmisivity Y křídových hornin vysokomýtské synklinály (Kačura et. al., 1991).

1 – spodní turon; 2 – propojený spodní a střední turon; 3 – střední turon; 4 – turon–coniak

V severozápadní části synklinály cenoman chybí a na krystalinikum transgreduje spodní turon. Vzhledem k hlubšímu uložení nebyl cenoman předmětem podrobnějších průzkumů. Údaje máme jen z vrtu u Morašic (47), kde jsou cenomanské pískovce od 226,5 do 245,4 m. Artéská voda měla tlak v úrovni terénu 7 kp/cm. Přeliv byl 75–78 l/s. Podobně byl zkoušen propojený úsek střední turon–cenoman na vrtu u Sebranic (533). Při dlouhodobé čerpací zkoušce byl zjištěn index transmisivity  $Y = 6,2$ . Spodní turon tvoří slínovce, siltovce s polohami jemnozrnných pískovců a slinitých vápenců. Má napjatou vodu obvykle s negativní výtlačnou výškou. Zjištěný index transmisivity ze souboru pěti zkoušek je  $Y = 5,4$  (aritmetický průměr i medián). Při korelaci mocnosti spodního turonu, resp. délky jeho otevřeného úseku s transmisivitou zjišťujeme, že se vztah jeví jako náhodný (dokonce nepřímo úměrný), což potvrzuje puklinový charakter prostředí (Kačura et. al., 1991).

Střední turon tvoří písčité slínovce, spongility a jemnozrnné pískovce. Čerpací zkoušky byly provedeny v 27 případech. Zjištěný index transmisivity je  $Y = 5,48$  (aritmetický průměr) a  $Y = 5,5$  (medián). Průměrná délka zkoušeného úseku je 42 m; délka se neprojevuje na velikosti transmisivity. V jedenácti případech byl zkoušen propojený úsek středního a spodního turonu, kde byl zjištěn index transmisivity  $Y = 5,8$  (aritmetický průměr) a  $Y = 6,1$  (medián). Délka otevřeného úseku je v průměru 172 m, a lze tedy předpokládat, že se zde projevují příznivé strukturní poměry v puklinovém prostředí spodního turonu. V jednom případě bylo u Chocně zkoušeno zvodnění ve vrtu 451, kde byl zřejmě propojen střední turon, svrchní turon a coniak i kvartér (mocný 10 m, ve šterkovém a písčitém vývoji). Zjištěný index transmisivity  $Y = 5,1$ . Samostatně byl zkoušen svrchní turon a coniak v osmnácti případech. Průměrná mocnost zkoušeného úseku je 20 m, přitom nadprůměrné hodnoty indexů transmisivity odpovídají podprůměrným mocnostem zkoušeného úseku. Lze tedy předpokládat, že maximum zvodnění slínovců a písčitých slínovců svrchního turonu a coniak je v polohách podpovrchového zvětrávání hornin a rozpojení puklin. Zjištěný index transmisivity  $Y = 5,57$  (aritmetický průměr) a  $Y = 5,4$  (medián), (Kačura et. al., 1991).

V orlicko–žďárské faciální oblasti je obvykle spodní turon ve vývoji slinitých nebo jílovitých pískovců nebo písčitých slínovců. Rovněž ve středním turonu převládají písčité slínovce. Pouze báze středního turonu je obvykle méně písčitá a tato poloha tvoří izolátor. Podle výsledků vrtných průzkumů se předpokládá spojitost pískovců mořského cenomanu s puklinovými vodami spodního turonu; i když v řadě případů je tento předpoklad správný, existuje naopak jinde (např. v j. části orlicko–ústecké synklinály) samostatnost obou kolektorů. Samostatnost pískovců cenomanu a turonu je prokázána u Sebranic pozorováním pramenů Hnida (287) a Sv. Mikuláš (32). Orlicko–žďárská faciální oblast je rozdělena do několika struktur, které

mají odlišné podmínky oběhu podzemní vody. Antiklinální struktury jsou obvykle tvořeny ve výchozové části spodním turonem ve vývoji slinitých pískovců a písčítých slínovců. Vysokomýtská synklinála přechází z labské faciální oblasti do orlicko-žďárské faciální oblasti, ve středním turonu přechází slinitá facie do facie písčítých slínovců a pískovců. Vysokomýtská synklinála je ve svém sv. křídle porušena směrným zlomem, podél něhož je centrální část synklinály pokleslá. Na něm dochází k vývěru pramenů, které drenují okrajové sv. křídlo. V osní části pánve jsou podzemní vody ze středního turonu drenovány do Loučné. Při z. okraji synklinály, v Poličce a jejím okolí, jsou odděleny kolektory ve spodním turonu a v cenomanu. V jižní části vysokomýtské synklinály je zřejmě v celém jejím prostoru báze středního turonu charakteru izolátoru. Ve spodním turonu je v puklinovém prostředí písčítých slínovců, popř. jemnozrnných pískovců intenzivní oběh podzemní vody. Například po provrtání báze středního turonu u české Třebové (489) se projevil přetok 15 l/s z písčítých slínovců a když vrt prošel do spodnoturonských pískovců, zvýšil se přetok na 100 l/s (Kačura et. al., 1991).

## 6.4. Geologie a hydrogeologie vrtů

### 6.4.1. Cerekvice nad Loučnou

Vrt CnL-1 byl hlouben do 50 m. V první fázi byla do hloubky 13 m vetknuta ocelová pažnice, ta byla zacementována a opatřena přírubou pro případné tlakové zhlaví. Ve vrtání bylo pokračováno po cementačním klidu. Práce byly ukončeny 15.3.2012 (Mičke, 2012a).

Tab. 4: Technologický popis vrtu (upraveno podle Mičke, 2012a)

Etáž [m]	Vrtný průměr [mm]
0,0-13,0 m	320 mm
13,0-50,0 m	220 mm

Tab. 5: Výstroj vrtu (upraveno podle Mičke, 2012a)

0,0-13,0 m	ocel 245/6 mm, cementace 2,0-13,0 m, zbytek dosypán zeminou
0,0-25,0 m	HDPE 160/9,1 mm plná
25,0-30,0 m	HDPE 160/9,1 mm perforovaná (perforace štěrbinová 1-2 mm)
30,0-35,0 m	HDPE 160/9,1 mm plná
35,0-45,0 m	HDPE 160/9,1 mm perforovaná (perforace štěrbinová 1-2 mm)
45,0-50,0 m	HDPE 160/9,1 mm plná
0,0-15,0 m	zásyp vývrtem
15,0-20,0 m	utěsnění granulovaným bentonitem na pískový přechod
20,0-50,0 m	obsyp kačírkem frakce 4/8 mm

Tab. 6: Geologická dokumentace vrtu (upraveno podle Mičky, 2012a)

KVARTÉR	
0,0-0,5 m	hlína jílovitá písčitá, humózní, tmavohnědá
0,5-2,0 m	hlína jílovitá písčitá, sprašová, tuhá, hnědá
2,0-6,0 m	jíl slabě písčitý, tuhý až pevný, hnědý
SVRCHNÍ KŘÍDA (turon)	
6,0-9,0 m	zvětralý jílovec, šedohnědý
9,0-14,0 m	navětralý vápnitý jílovec až slínovec, šedý
14,0-19,0 m	jemnozrnný pískovec, šedohnědý
19,0-28,0 m	vápnitý jílovec až slínovec, slabě písčitý, místy s polohami prachovitého pískovce hnědošedé
28,0-34,0 m	vápnitý jílovec až slínovec, slabě písčitý, místy s polohami prachovitého pískovce hnědošedé barvy
34,0-37,0 m	jemně písčitý prachovec až prachovitý pískovec, lokálně s polohami šedých vápnitých jílovců
37,0-43,0 m	jemnozrnný prachovitý pískovec šedohnědé barvy s polohami šedých jílovců či slínovců, rozpukaný, zvodněný
43,0-50,0 m	jemně písčitý slínovec či vápnitý jílovec, šedý, slabě rozpukaný

První výraznější zvodnění bylo zastiženo ve vazbě na polohu jemnozrnných pískovců v hloubkové etáži 14-19 m (vyšší střední turon – svrchní turon??). Další významnější přítoky podzemní vody byly následně vázány na jílovce či slínovce s polohami jemnozrnných pískovců s vyšší mírou puklinatosti od hloubky 32 m a prachovité pískovce v etáži 37-43 m. Vrt byl ukončen v lokálním izolátoru představovaném jemně písčitými slínovci či vápnitými jílovcí šedé až tmavošedé barvy. Hladina podzemní vody je mírně napjatá s negativní piezometrickou úrovní v hloubce 7,2-8,37 m pod terénem v průběhu sledovaného období. Na vrtu byla provedena dlouhodobá čerpací zkouška ve dnech 31.5.-26.6.2012. Čerpadlo zn. Pedrollo bylo zapuštěno do hloubky 47 m. Průtok byl nastaven na 3,3 l/s. Graficky je průběh hydrodynamické zkoušky znázorněn v přílohách č. 07, 15, (Mička, 2012a).

#### 6.4.2. Litomyšl

Vrtné práce na vrtech Lt-1 a Lt-2 byly zahájeny dne 27.11.2012 a ukončeny 7.12.2012, vrty jsou shodně hluboké 80 m (Mička, 2013).

Tab. 7: Technologický popis vrtu Lt-1 (upraveno podle Mičky, 2013)

Etáž [m]	Vrtný průměr [mm]
0,0-8,0 m	300 mm
8,0-80,0 m	220 mm

Tab. 8: Výstroj vrtu Lt-1 (upraveno podle Mičky, 2013)

0,0-8,0 m	PVC 250/8 mm
0,0-45,0 m	HDPE 160/9,1 mm plná
45,0-75,0 m	HDPE 160/9,1 mm perforovaná (perforace štěrbinová 1-2 mm)
75,0-80,0 m	HDPE 160/9,1 mm plná
2,0-35,0 m	izolace cementovou zálivkou na pískový přechod
35,0-40,0 m	utěsnění granulovaným bentonitem
40,0-80,0 m	obsyp kačirkem frakce 4/8 mm

Tab. 9: Geologická dokumentace vrtu Lt-1 (upraveno podle Mičky, 2013)

KVARTÉR	
0,0-0,4 m	drn – hlína jílovitá písčítá, humózní, hnědá
0,4-2,0 m	hlína jílovitá písčítá, sprašová, tuhá, hnědá
2,0-8,0 m	jíl slabě písčitý, šmouhovitý, pevný, šedohnědý
SVRCHNÍ KŘÍDA (svrchní turon-coniak)	
8,0-12,0 m	silně navětralý slínovec, hnědošedý
12,0-33,0 m	vápnitý jílovec až slínovec, šedý, kompaktní až slabě rozpukaný, bezvodý
33,0-48,0 m	vápnitý jílovec s drobnými polohami jemnozrnných pískovců, šedý, slabě rozpukaný
SVRCHNÍ KŘÍDA (střední turon)	
48,0-55,0 m	jemnozrnný pískovec, světle hnědý až hnědošedý, rozpukaný a zvodněný
55,0-68,0 m	vápnitý jílovec s polohami jemnozrnných pískovců, šedý, slabě rozpukaný
68,0-80,0 m	písčitý jílovec s polohami vápnitých jílovců, šedý, kompaktní až slabě rozpukaný

Tab. 10: Technologický popis vrtu Lt-2 (upraveno podle Mičky, 2013)

Etáž [m]	Vrtný průměr [mm]
0,0-7,0 m	300 mm
7,0-80,0 m	220 mm



Tab. 11: Výstroj vrtu Lt-2 (upraveno podle Mičky, 2013)

0,0-7,0 m	PVC 250/8 mm
0,0-45,0 m	HDPE 160/9,1 mm plná
45,0-75,0 m	HDPE 160/9,1 mm perforovaná (perforace štěrbinová 1-2 mm)
75,0-80,0 m	HDPE 160/9,1 mm plná
0,0-35,0 m	izolace cementovou zálivkou na pískový přechod
35,0-40,0 m	utěsnění granulovaným bentonitem
40,0-80,0 m	obsyp kačirkem frakce 4/8 mm

Tab. 12: Geologická dokumentace vrtu Lt-2 (upraveno podle Mičky, 2013)

KVARTÉR	
0,0-0,4 m	drn – hlína jílovitá písčitá, humózní, hnědá
0,4-2,0 m	hlína jílovitá písčitá, sprašová, tuhá, hnědá
2,0-7,0 m	jíl slabě písčitý, šmouhovitý, pevný, šedohnědý, slínovec v ostrohranných úlomcích
SVRCHNÍ KŘÍDA (svrchní turon-coniak)	
7,0-12,0 m	silně navětralý slínovec, hnědošedý
12,0-35,0 m	vápnitý jílovec až slínovec, šedý, kompaktní až slabě rozpukaný, bezvodý
35,0-48,0 m	vápnitý jílovec s drobnými polohami jemnozrnných pískovců, šedý, slabě rozpukaný
SVRCHNÍ KŘÍDA (střední turon)	
48,0-54,0 m	jemnozrnný pískovec, světle hnědý až hnědošedý, rozpukaný a zvodněný
54,0-68,0 m	vápnitý jílovec s polohami jemnozrnných pískovců, šedý, slabě rozpukaný
68,0-80,0 m	písčitý jílovec s polohami vápnitých jílovců, šedý, kompaktní až slabě rozpukaný

Hlavní přítoky podzemní vody do vrtů byly zaznamenány v etáži: Lt-1 – 48 m, 56 m; Lt-2 – 48 m, 60 m. Přítoky podzemní vody jsou vázány na souvrství jemnozrnných pískovců či vápnitých jílovců s polohami jemnozrnných pískovců vyššího středního turonu. Hladina podzemní vody je mírně napjatá s negativní piezometrickou úrovní 36-37 m pod terénem (Mička, 2013).

Hydrodynamická zkouška probíhala na obou vrtech paralelně ve dnech 6.6.-1.7.2013. Čerpací zkouška byla prováděna při průtoku 1,0 l/s. Ve vrtech byla zapuštěna čerpadla značky Pedrollo, shodně do 76 m. V případě obou vrtů snížení hladiny nepřekročilo řádově první

decimetry ( $s \leq 0,5$  m) Graficky je průběh hydrodynamických zkoušek znázorněn v přílohách č. 08, 09, 16, 17, (Mičke, 2013).

### 6.4.3. Osík

Vrtné práce na vrtech Os-1 a Os-2 byly zahájeny dne 3.8.2011. V první fázi byly do hloubky 9,0 m vetknuty ocelové pažnice, ty byly zacementovány a opatřeny přírubou pro případné tlakové zhlaví. Ve vrtání bylo pokračováno po cementačním klidu dne 8.8.2011, práce byly ukončeny 12.8.2011 (Mičke, 2012b).

Tab. 13: Technologický popis vrtu Os-1 (upraveno podle Mičke, 2012b)

Etáž [m]	Vrtný průměr [mm]
0,0-9,0 m	320 mm
9,0-80,0 m	220 mm

Tab. 14: Výstroj vrtu Os-1 (upraveno podle Mičke, 2012b)

0,0-9,0 m	ocel 270/10 mm, cementace 2,0-9,0 m, zbytek dosypán zeminou
0,0-35,0 m	HDPE 160/9,1 mm plná
35,0-55,0 m	HDPE 160/9,1 mm perforovaná (perforace štěrbinová 1-2 mm)
55,0-60,0 m	HDPE 160/9,1 mm plná
60,0-75,0 m	HDPE 160/9,1 mm perforovaná (perforace štěrbinová 1-2 mm)
75,0-80,0 m	HDPE 160/9,1 mm plná
0,0-27,0 m	zásyp vývrtem
27,0-32,0 m	utěsnění granulovaným bentonitem
32,0-80,0 m	obsyp kačirkem frakce 4/8 mm

Tab. 15: Geologická dokumentace vrtu Os-1 (upraveno podle Mičke, 2012b)

KVARTÉR	
0,0-0,4 m	drn – hlína jílovitá písčitá, humózní, hnědá
0,4-2,0 m	hlína jílovitá písčitá, sprašová, tuhá, hnědá
2,0-7,0 m	jíl slabě písčitý, šmouhovitý, pevný, šedohnědý
SVRCHNÍ KŘÍDA (střední turon)	
7,0-9,0 m	zvětralý jílovec, žlutošedý, šmouhovitý
9,0-12,0 m	navětralý jemně písčitý jílovec, hnědý až šedý
12,0-18,0 m	vápnitý jílovec až slínovec, šedý
18,0-38,0 m	jemnozrnný pískovec, světle hnědý
38,0-48,0 m	jemně písčitý vápnitý jílovec či slínovec šedé barvy s polohami světle hnědých jemnozrnných pískovců
48,0-61,0 m	jílovec či slínovec
61,0-80,0 m	jemně písčitý vápnitý jílovec či slínovec, šedý

Tab. 16: Technologický popis vrtu Os-2 (upraveno podle Mičky, 2012b)

Etáž [m]	Vrtný průměr [mm]
0,0-9,0 m	320 mm
9,0-80,0 m	220 mm

Tab. 17: Výstroj vrtu Os-2 (upraveno podle Mičky, 2012b)

0,0-9,0 m	ocel 270/10 mm, cementace 2,0-9,0 m, zbytek dosypán zeminou
0,0-35,0 m	HDPE 160/9,1 mm plná
35,0-55,0 m	HDPE 160/9,1 mm perforovaná (perforace štěrbinová 1-2 mm)
55,0-60,0 m	HDPE 160/9,1 mm plná
60,0-75,0 m	HDPE 160/9,1 mm perforovaná (perforace štěrbinová 1-2 mm)
75,0-80,0 m	HDPE 160/9,1 mm plná
0,0-32,0 m	Zásyp vývrtem
32,0-37,0 m	utěsnění granulovaným bentonitem
37,0-80,0 m	obsyp kačírky frakce 4/8 mm

Tab. 18: Geologická dokumentace vrtu Os-2 (upraveno podle Mičky, 2012b)

KVARTÉR	
0,0-0,4 m	drn – hlína jílovitá písčitá, humózní, hnědá
0,4-2,0 m	hlína jílovitá písčitá, sprašová, tuhá, hnědá
2,0-7,0 m	jíl slabě písčitý, šmouhovitý, pevný, šedohnědý
SVRCHNÍ KŘÍDA (střední turon)	
7,0-10,0 m	zvětralý jílovec, žlutošedý, šmouhovitý
10,0-15,0 m	navětralý jemně písčitý jílovec, hnědý až šedý
15,0-18,0 m	vápnitý jílovec až slínovec, šedý
18,0-43,0 m	jemnozrnný pískovec, světle hnědý
43,0-55,0 m	jemně písčitý vápnitý jílovec či slínovec šedé barvy s polohami světle hnědých jemnozrnných pískovců
55,0-66,0 m	jílovec či slínovec
66,0-80,0 m	jemně písčitý vápnitý jílovec či slínovec, šedý

Hlavní přítoky podzemní vody do vrtů byly zaznamenány v etáži: Os-1 – 38 m, 48 m, 61 m; Os-2 – 43 m, 55 m, 66 m. Hlavní přítoky podzemní vody jsou vázány na souvrství jemnozrnných pískovců či vápnitých jílovců s polohami jemnozrnných pískovců. Hladina podzemní vody je mírně napjatá s negativní piezometrickou úrovní 31-32 m pod terénem (Mička, 2012b).

Hydrodynamická zkouška probíhala na obou vrtech paralelně ve dnech 2.5.-25.5.2012. Čerpací zkouška byla prováděna při průtocích: Os-1 2,5 l/s, Os-2 1,3 l/s. Ve vrtech byly

zapuštěny čerpadla zn. Pedrollo shodně do hloubek 76 m. Čerpací zkouška na vrtech byla ukončena dne 23.5.2012. Následně byl měřen nástup hladiny, režimní denní měření bylo prováděno 2 dny do 25.5. Graficky je průběh hydrodynamických zkoušek znázorněn v přílohách č. 10, 11, 18, 19, (Mičke, 2012b).

#### 6.4.4. Sebranice

Vrt S-1 byl hlouben do hloubky 150 m. Jelikož dle projektu GP bylo očekáváno zastižení cenomanu s rizikem tlakových projevů, byl úvod vrtu do 6 m předvrtán průměrem 300 mm s vypažením ocelí 280 mm tak, aby bylo případně možné přidělat tlakové zhlaví. Ostění pažnice bylo zabetonováno. Po týdenním cementačním klidu bylo dále vrtáno do konečné hloubky. Vrtné práce byly prováděny v průběhu června 2009 (Mičke, 2009).

Tab. 19.: Technologický popis vrtu (upraveno podle Mičke, 2009)

Etáž [m]	Vrtný průměr [mm]
0,0-6,0 m	300 mm
6,0-150,0 m	220 mm

Tab. 20.: Výstroj vrtu (upraveno podle Mičke, 2009)

0,0-6,0 m	ocel 280/6 mm
0,0-55,0 m	HDPE 160/9,1 mm plná
55,0-65,0 m	HDPE 160/9,1 mm perforovaná (perforace štěrbinová 1-2 mm)
65,0-100,0 m	HDPE 160/9,1 mm plná
100,0-145,0 m	HDPE 160/9,1 mm perforovaná (perforace štěrbinová 1-2 mm)
145,0-150,0 m	HDPE 160/9,1 mm plná
0,0-33,0 m	zasyp vývrtem
33,0-35,0 m	utěsnění granulovaným bentonitem na pískový přechod
35,0-150,0 m	obsyp kačirkem frakce 4/8 mm

Tab. 21.: Geologická dokumentace vrtu (upraveno podle Mičke, 2009)

KVARTÉR	
0,0-0,5 m	hlína písčité, humózní, hnědá
0,5-2,0 m	deluviální hlína písčité, rezavohnědá
SVRCHNÍ KŘÍDA (turon)	
2,0-12,0 m	navětralý vápnitý jílovec, šedohnědý
12,0-34,0 m	jemně písčité slínovec, světle hnědý, navětralý
34,0-120,0 m	šedý slínovec, či vápnitý jílovec, místy rozpukaný, zvodněný
120,0-150,0 m	šedý až tmavošedý slínovec s polohami jemnozrnných prachovitých pískovců, místy rozpukaný a zvodněný

Jímacím vrtem S-1 byly zastiženy zvodně puklinového charakteru vázané na turonské slínovce, vápnité jílovce a jemnozrnné pískovce (kolektor C v členění Herčíka et. al., 1999). Hlavní přítoky podzemní vody do vrtu byly zaznamenány v etáži 55 m, 60 m, 85 m a 125 m ve vazbě na rozpukané slínovce, vápnité jílovce či jemnozrnné prachovité pískovce turonského stáří. Hladina podzemní vody se ustálila v hloubce 54,1 m pod terénem, její režim je mírně napjatý s negativní piezometrickou výškou (Mičke, 2009).

Na vrtu byla ve dnech 7.7.-21.7.2009 provedena dlouhodobá přítoková zkouška. Ve vrtu bylo instalováno ponorné čerpadlo Pedrollo a to do hloubky 133 m. Průtok byl nastaven na 2,1 l/s, v tomto režimu byla hladina snížena k hlídací sondě čerpadla. Zkouška byla ukončena dne 20.7. a následně byl po dobu 24 hodin sledován nástup hladiny. Graficky je průběh hydrodynamické zkoušky znázorněn v přílohách č. 12, 20, (Mičke, 2009).

#### 6.4.5. Vidlatá Seč

Vrty VS-1 a VS-2 byly hloubeny ve dnech 29.3.-1.4.2010, vrty jsou shodně hluboké 100 m (Mičke, 2010).

Tab. 22: Technologický popis vrtu VS-1 (upraveno podle Mičke, 2010)

Etáž [m]	Vrtný průměr [mm]
0,0-5,0 m	280 mm
5,0-100,0 m	220 mm

Tab. 23: Výstroj vrtu VS-1 (upraveno podle Mičke, 2010)

0,0-5,0 m	PVC-EKO 250/8 mm
0,0-65,0 m	HDPE 160/9,1 mm plná
65,0-95,0 m	HDPE 160/9,1 mm perforovaná (perforace štěrbinová 1-2 mm)
95,0-100,0 m	HDPE 160/9,1 mm plná
0,0-40,0 m	zásyp vývrtem
40,0-50,0 m	utěsnění granulovaným bentonitem na pískový přechod
50,0-100,0 m	obsyp kačirkem frakce 4/8 mm

Tab. 24: Geologická dokumentace vrtu VS-1 (upraveno podle Mičke, 2010)

KVARTÉR	
0,0-0,3 m	drn – hlína jílovitá písčitá, humózní, hnědá
0,3-1,5 m	hlína jílovitá písčitá, měkká až tuhá, hnědá
1,5-5,0 m	zvětralý slínovec, okrově hnědý, v pozvolném přechodu do silně navětralého a rozvětralého slínovce

SVRCHNÍ KŘÍDA (střední turon)	
5,0-15,0 m	žlutohnědý, zvětralý až navětralý, velmi jemnozrnný pískovec až písčité prachovec
15,0-33,0 m	jemně písčité prachovec až slínovec, navětralý, hnědošedý
33,0-60,0 m	slínovec, kompaktní, šedý
60,0-81,0 m	slínovec, prachovec, místy rozpukaný, šedý, zvodněný v hloubce 62-64 m
SVRCHNÍ KŘÍDA (spodní turon)	
81,0-100,0 m	Velmi jemnozrnný pískovec s polohami písčitého slínovce, žlutohnědý až hnědošedý, v etáži 81-85 m silně rozpukaný a zvodněný

Tab. 25: Technologický popis vrtu VS-2 (upraveno podle Mičky, 2010)

Etáž [m]	Vrtný průměr [mm]
0,0-5,0 m	280 mm
5,0-100,0 m	220 mm

Tab. 26: Výstroj vrtu VS-2 (upraveno podle Mičky, 2010)

0,0-5,0 m	PVC-EKO 250/8 mm
0,0-65,0 m	HDPE 160/9,1 mm plná
65,0-95,0 m	HDPE 160/9,1 mm perforovaná (perforace šterbinová 1-2 mm)
95,0-100,0 m	HDPE 160/9,1 mm plná
0,0-40,0 m	zásyp vývrtem
40,0-50,0 m	utěsnění granulovaným bentonitem na pískový přechod
50,0-100,0 m	obsyp kačirkem frakce 4/8 mm

Tab. 27: Geologická dokumentace vrtu VS-2 (upraveno podle Mičky, 2010)

KVARTÉR	
0,0-0,3 m	drn – hlína jílovitá písčité, humózní, hnědá
0,3-1,5 m	hlína jílovitá písčité, měkká až tuhá, hnědá
1,5-5,0 m	zvětralý slínovec, okrově hnědý, v pozvolném přechodu do silně navětraleho a rozvětraleho slínovce
SVRCHNÍ KŘÍDA (střední turon)	
5,0-15,0 m	žlutohnědý, zvětralý až navětralý, velmi jemnozrnný pískovec až písčité prachovec
15,0-33,0 m	jemně písčité prachovec až slínovec, navětralý, hnědošedý
33,0-60,0 m	slínovec, kompaktní, šedý
60,0-81,0 m	slínovec, prachovec, místy rozpukaný, šedý, zvodněný v hloubce 62 m
SVRCHNÍ KŘÍDA (spodní turon)	
81,0-100,0 m	velmi jemnozrnný pískovec s polohami písčitého slínovce, žlutohnědý až hnědošedý, v etáži 81-85 m silně rozpukaný a zvodněný

Hlavní přítoky podzemní vody do vrtů byly zaznamenány v etáži: VS-1 – 22 m, 30 m, 62 m, 81 m; VS-2 – 30 m, 61 m, 81 m, 95 m. Přítoky podzemní vody jsou vázány na zvodeň nižšího středního a spodního turonu (jemnozrnné pískovce, slínovce, prachovce), (Mičke, 2010).

Hydrodynamická zkouška probíhala na obou vrtech paralelně ve dnech 29.6.-29.7.2010. Čerpací zkouška byla prováděna při průtocích: VS-1 1,5 l/s, VS-2 2 l/s. Ve vrtech byly zapuštěny čerpadla zn. Pedrollo shodně do hloubek 90 m. Čerpací zkouška na vrtech byla ukončena dne 23.7.2010. Následně byl měřen nástup hladiny, režimní denní měření bylo prováděno 6 dnů do 29.7. Graficky je průběh hydrodynamických zkoušek znázorněn v přílohách č. 13, 14, 21, 22, (Mičke, 2013).

### 6.5. Okrajové podmínky při čerpacích zkouškách

Ohraničení kolektoru mohou tvořit úseky propustné, nepropustné, volná hladina dotující zvodeň nebo plocha infiltrace do volné hladiny apod. Z hlediska potřeb matematického modelování hydraulických procesů proudění podzemních vod se okrajové podmínky generalizují do tří základních typů: (Bujok a Grmela, 1992).

- Okrajová podmínka 1. druhu (Dirichletova): hydraulická výška na hranici dané oblasti je rovna konstantě,  $h = konst.$

- Okrajová podmínka 2. druhu (Neumannova): je specifikován tok  $q$  ve směru normály  $n$  přes hranici, běžnou formou této podmínky je nulový tok přes hranici, takže platí, že  $\partial h / \partial n = 0$

- Okrajová podmínka 3. druhu (smíšená o. p.): je specifikován tok přes hranici jako funkce hydraulické výšky,  $q = f(h)$ , tato podmínka se např. vyskytuje u řeky s vrstvou snížené propustnosti na dně. (Šráček a Kuchovský, 2003).

## 7. Chemismus vod

Složení podzemních vod (celková mineralizace a změna zastoupení jednotlivých složek) se během cirkulace v horninovém prostředí vyvíjí s dobou cirkulace, rychlostí oběhu, parciálním tlakem  $CO_2$ , parciálním tlakem kyslíku, teplotou aj. (Pitter 2009).

Chemismus podzemních vod v České křídové pánvi je popisován podle strukturních a litostratigrafických jednotek. V sedimentech vysokomýtské synklinály (36 rozborů) patří podzemní vody převážně typu  $C^{Ca}$ . Ve středním turonu a spojeném středním a spodním turonu je po jednom reprezentantu čistého typu  $C_I^{Na}$  a po jednom reprezentantu přechodného typu  $C_I^{Na}$  s vyšším obsahem  $Ca-HCO_3$  (složky  $A_2$ ). Tyto vyšší obsahy  $Na$  jsou soustředěny v území vracavské antiklinály. Je možné, že indikují přírony vod s hlubším oběhem s převahou  $Na-HCO_3$ . Zbývající 32 vzorků vody jsou typu  $C^{Ca}$ . Jejich detailní rozdělení podle stratigrafických

stupňů je následující: ve spojené zvodni cenoman, spodní a střední turon je typ  $C_{II}^{Ca}$  (1 případ); ve spodním turonu je vždy po 1 případě typ  $C_I^{Ca}, C_{II}^{Ca}, C_{IIIa}^{Ca}$  a  $C_{IIIb}^{Ca}$ ; ve spojené zvodni spodního a středního turonu jsou 3 případy typu  $C_I^{Ca}$ ; 2 případy typu  $C_{II}^{Ca}$  a 3 případy typu  $C_{IIIa}^{Ca}$ ; ve středním turonu jsou 2 typy  $C_{II}^{Ca}$ , 5 typů  $C_{IIIa}^{Ca}$  a 3 typy  $C_{IIIb}^{Ca}$ , ve spojené zvodni svrchní turon-coniak jsou 2 typy  $C_I^{Ca}$ , 3 typy  $C_{II}^{Ca}$ , 2 typy  $C_{IIIa}^{Ca}$  a 2 typy  $C_{IIIb}^{Ca}$ . Vyšší obsahy  $Fe^{2+}$  byly zjištěny celkem v 5 případech: dvakrát ve spodním turonu (0,56–4,0 mg/l) a ve spojené spodno a středoturonské zvodni (0,70–1,0 mg/l; jednou ve středním turonu 0,55 mg/l). Nepřípustně vysoký obsah  $NO_3^-$  (75 mg/l) je jen v mělké studni ve svrchním turonu–coniaku. V ostatních případech je obsah nižší než 50 mg/l a vyhovuje ČSN 83 06 11. Ve vodách pramenů středního turonu výrazně převažuje čistý typ  $C_{IIIb}^{Ca}$  (celkem 8 případů) s celkovou mineralizací 0,24–0,56 g/l. Po jednom případě je výskyt čistého typu  $C_{II}^{Ca}$  a  $C_{IIIa}^{Ca}$  (0,58–0,53 g/l). Ve vodách z pramenů vyvěrajících ze slínovců svrchního turonu–coniaku se pětkrát vyskytl čistý typ  $C_{IIIa}^{Ca}$  (celková mineralizace 0,43–0,57 g/l); jednou čistý typ  $C_{IIIb}^{Ca}$  (0,57 g/l) a jednou smíšený typ  $C_{IIIb}^{Ca}$  (s celkovou mineralizací 0,24 g/l s obsahem složky  $A_2$  41 %, složky  $S_2$  ( $SO_4$ ) 28%). Ve vodách z pramenů nebyly zjištěny hydrochemické indikace znečištění. (Kačura et. al., 1991)

Dá se tedy říci, že podzemní voda všech tří vodohospodářsky významných kolektorů bělohorského a jizerského souvrství je většinou hydrochemického typu Ca- $HCO_3$ , o celkové mineralizaci do několika set mg/l. Ke změně jejich chemismu, provázené zvýšením celkové mineralizace až na hodnoty kolem 1,5 g/l, dochází při zpomaleném proudění podzemní vody v hlouběji uložených částech kolektorů, především v místech jejich faciálního přechodu z písčitých do aleuropelitických uloženin. Změny chemického složení podzemních vod nastávají především v důsledku vzrůstu obsahu sodíku až po změnu typu na Na- $HCO_3$ . Tyto projevy vertikální hydrochemické zonálnosti lze u uvedených kolektorů pozorovat především v okolí Vysokého Mýta. Herčík et. al. (1999) uvádějí výskyt podzemní vody s převažujícím podílem síranů, typu Na-Ca- $SO_4$ - $HCO_3$ , o celkové mineralizaci 1,5 g/l z kolektoru Cb v blízkosti zámorského zlomu. Vody typu Na- $HCO_3$  se nacházejí rovněž v hlubších částech bazálního křídového kolektoru. Zvýšené obsahy dusičnanů, především ve zvodni Cb, indikují znečištění zemědělského původu (Krásný et. al., 2012).

### 7.1. Graf chemismu vod

Pro určení chemického typu vod byl použit tzv. Piperův diagram. Ten obsahuje dva trojúhelníkové grafy zobrazující obsahy kationtů a aniontů v meq/l, nad nimi je kosočtverec, ve kterém je zobrazen celkový chemismus vody. Trojúhelník pro kationty má 100%  $Ca^{2+}$  v levém rohu, 100%  $Na^+ + K^+$  v pravém rohu a 100%  $Mg^{2+}$  v horním rohu. V trojúhelníku pro anionty je



100%  $\text{Cl}^-$  v pravém rohu, 100%  $\text{SO}_4^{2-}$  v horním rohu a 100%  $\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-$  v levém dolním rohu. Vzniklými body proložíme přímky, které jsou paralelní s vnějšími hranicemi trojúhelníků a protnou se v kosočtverci, takto vzniklý bod indikuje chemické složení vod. Piperův graf – viz. Obr. 12, (Appelo a Postma, 2005).

## 8. Metodika

Velikost a relace hodnot hydraulických parametrů určují hydrogeologickou funkci hornin, tj. existenci kolektorů a izolátorů. Hodnocení hydraulických vlastností hornin je provedeno na základě jednotného zpracování rozsáhlého materiálu. Přihlíželo se především k výsledkům čerpacích zkoušek, provedených na vrtech. Hlavním podkladem pro vyjádření výše transmisivity bylo zpracování srovnávacích hydraulických parametrů, tj. indexu transmisivity  $Y$  a indexu propustnosti  $Z$  (Krásný et. al., 1982).

### 8.1. Výpočet indexu transmisivity $Y$ a indexu propustnosti $Z$

Srovnávací hydrologické parametry  $Y$  a  $Z$ , k jejichž odvození nás vedla snaha po maximálním využití běžných hydrogeologických informací při regionálním studiu, představují určité logaritmické transformace hodnot specifické vydatnosti (podílu odebírané vydatnosti a příslušného snížení hladiny) a jsou současně aproximativními logaritmickými charakteristikami transmisivity a propustnosti. Vyjádříme-li specifickou vydatnost jako:

$$q = Q/s \quad (1)$$

kde  $Q$  = odebíraná vydatnost v litrech za sekundu,  $s$  = příslušné snížení hladiny v metrech (tedy  $q$  v litrech za sekundu na metr snížení), je index propustnosti  $Z$  definován vztahem

$$Z = \log(10^6 q/M) \quad (2) \quad (M = \text{mocnost zvodněného kolektoru v metrech}).$$

Při neúplném otevření mocnosti zvodněnce nebo tam, kde je určení zvodněnce problematické či nemožné, lze použít místo výše definovaného parametru  $M$ , tzv. index propustnosti otevřeného úseku vrtu.

$$Z_L = \log(10^6 q/L) \quad (3)$$

Symbol  $L$  označuje délku otevřeného úseku ve vrtu pod hladinou podzemní vody – tj. délku úseku, v němž dochází k laterálnímu kontaktu mezi vrtem a zvodněným kolektorem – ať již nezapaženou stěnou vrtu nebo prostřednictvím perforace. Parametr  $Z_L$  je ovšem v méně jednoznačném kvantitativním vztahu ke skutečné propustnosti kolektoru než index  $Z$ . Index transmisivity je pak definován vztahem:

$$Y = \log(10^6 q) \quad (4)$$

Ze srovnání vztahů vyplývá vztah:

$$Z = Y - \log M \quad (5)$$

(M v metrech), platný pro úplné vrty a použitelný s výhodou v praxi ke sestavení hodnot Z místo vzorce  $Z = \log(10^6 q/M)$ , (Jetel, 1985).

## 8.2. Hydrodynamické zkoušky

Odběrové, stoupací, nálevové a jiné hydrodynamické zkoušky jsou základním zdrojem informací o fyzikálně-hydrogeologických parametrech zvodně získaných přímo in situ. Jsou odrazem vlastností zvodněného kolektoru, které můžeme jejím vyhodnocením získat. Umožňují dále i objasnění vzájemných hydraulických vztahů mezi jednotlivými objekty, zjištění maximálního možného využití objektů, poznání okrajových podmínek, poznání kvality jímané vody, atd. Při vyhodnocení těchto zkoušek vychází z poznatků a ze zákonů podzemní hydrauliky. Pro čerpací zkoušky platí ČSN 73 6614. Tuto normu lze obecně vztáhnout i na přetokové a stoupací zkoušky s tím, že se jedná o testování okrajových podmínek, jejich úplnosti a dokonalosti, a dále o testování vztahů mezi objekty a zvodněnými vrstvami. Norma neplatí pro čerpací zkoušky na podzemní vody proplyněné, termální a vícefázové. Obsahuje názvosloví, technické požadavky, druhy čerpacích zkoušek, odběry vzorků a podmínky provozu čerpacího zařízení (Bujok a Grmela, 1992).

## 8.3. Čerpací zkoušky

Čerpací zkoušky v podmínkách neustáleného proudění se provádí s cílem postihnout pohyb hladiny (čerpání při konstantní vydatnosti,  $Q = \text{konst.}$ ), nebo změnu přítoku (čerpání při konstantním snížení  $s = \text{konst.}$ ) v čase. Každá čerpací zkouška prováděná v podmínkách neustáleného proudění je rovněž odrazem hydrogeologických poměrů zvodněného prostředí (Bujok a Grmela, 1992).

## 8.4. Stoupací zkoušky

Stoupací zkouškou zjišťujeme hydraulické parametry zvodně, testujeme okrajové podmínky, vztahy mezi objekty a zvodněnými vrstvami po zastavení odběru kolektorové kapaliny. Probíhají nejen ve formě měření stoupání hladiny nebo nárůstu tlaku ve vrtu po zastavení čerpání, ale i ve formě měření tlaku na ústí vrtu po uzavření přetoku. Stoupací zkouška by měla být nedílnou součástí každé čerpací zkoušky. Stoupací zkoušky probíhají při neustále se zmenšujícím snížení (depresi)  $s$  a neustále se snižujícím přítokem do vrtu  $Q$ , tedy při neustáleném režimu filtrace. Proto lze vyhodnocovat pouze metodami založenými na teorii

neustálené filtrace. Vychází tedy z teoretických základů C. V. Theise (1935) a úprav podle C. E. Jacoba (1950), přičemž není rozhodující, zda v okamžiku ukončení odběru kapaliny bylo proudění neustálené nebo bylo již dosaženo ustáleného proudění (Bujok a Grmela, 1992).

Hladina tekutiny (v našem případě vody ve vrtu) v pozorovaném objektu stoupá stejně jako v původně čerpaném vrtu. Nástup hladiny odpovídá stavu, kdy do objektu bylo naléváno stejné množství vody jako množství vody čerpané. Podle rovnice je zde vyjádřeno tzv. zbytkové snížení  $s'$

$$s' = \frac{0,183 \cdot Q}{T} \log \frac{t_p + t}{t} \quad (6)$$

kde  $Q$  je známý konstantní průtok z čerpací zkoušky,  $T$  je transmisivita zkoumaného kolektoru,  $t_p$  je délka trvání odběru před stoupací zkouškou a  $t$  je čas od začátku stoupací zkoušky (Jetel, 1982).

### 8.5. Hydraulické parametry

Hydraulické charakteristiky zvodněných formací dělíme na charakteristiky odporové, kapacitní a kapacitně-odporové charakteristiky. Odporové charakteristiky charakterizují schopnost formace propouštět kapaliny, kapacitní charakteristiky vyjadřují schopnost kapaliny akumulovat a uvolňovat a kapacitně-odporové charakteristiky popisují rychlost šíření hydraulických vzruchů ve zvodněných formacích (Šrámek a Kuchovský, 2003).

Mezi základní odporové charakteristiky patří transmisivita  $T$  [ $\text{m}^2/\text{s}$ ]. Ta je součinem hydraulické vodivosti a saturované mocnosti kolektoru:

$$T = k \cdot b \quad (7)$$

kde  $b$  je mocnost kolektoru v [m]. Tento parametr zohledňuje vliv mocnosti formace na průtok, protože při stejné hodnotě hydraulické vodivosti protéká větší objem kapaliny formací o vyšší mocnosti (Šrámek a Kuchovský, 2003).

V našem případě, za použití semilogaritmických grafů  $s$ - $\log t$ , a pokud použijeme pro výpočet snížení  $\Delta s$  pro jeden logaritmický cyklus, vypočítáme transmisivitu podle následujícího vztahu:

$$T = \frac{2,3 \cdot Q}{4 \cdot \pi \cdot \Delta s} \quad (8)$$

Kde  $Q$  je odebíraná vydatnost v [ $\text{m}^3/\text{s}$ ] a  $\Delta s = s_2 - s_1$ ;  $s_1$  a  $s_2$  jsou hodnoty odpovídající libovolným dvěma bodům na reprezentativních přímkových úsecích (Jetel, 1982).

Další odporová charakteristika použita v této diplomové práci je hydraulická vodivost [ $\text{m}/\text{s}$ ], která lze vyjádřit jako podíl hodnoty transmisivity a mocnosti kolektoru.

$$k = \frac{T}{b} \quad (9)$$

Kde  $k$  je hydraulická vodivost,  $T$  je známá hodnota transmisivity a  $b$  je mocnost zvodněného kolektoru v [m] (Šrámek a Kuchovský, 2003).

V diplomové práci byly použity pro interpretaci výsledků stoupacích zkoušek semilogaritmické grafy konstruované v souřadnicích:

$$s = s_0' - s' \quad (10) \quad \log t' = \log (t/t_p + t_p) \quad (11)$$

Kde  $s_0'$  = snížení hladiny v okamžiku zastavení odběru na začátku stoupací zkoušky (při  $t = 0$ ),  $s'$  = zbytkové snížení v čase  $t$  a  $t_p$  = délka trvání odběru před stoupací zkouškou. Křivka má pak podobný tvar jako křivky  $s = f(\log t)$  při odběrových zkouškách s tím rozdílem, že zde místo snížení hladiny vynášíme zvýšení hladiny od začátku stoupací zkoušky, tj.  $s$  podle (10) a místo času  $t$  bezrozměrný čas  $t' = t/(t_p + t)$ . V praxi ovšem není nutno počítat přímo hodnoty  $s$  podle (10), ale postačí vynášet na svislé ose úroveň naměřené hladiny v přirozeném smyslu osy – tj. hloubku hladiny shora dolů. Ke konstrukci semilogaritmického grafu tedy není třeba předem znát úroveň statické hladiny (bez které by nebylo možné vyčíslit  $s'$ ), neboť do výpočtu nevstupují samotné hodnoty  $s'$  nebo  $s$ , ale pouze jejich rozdíly. Vynášíme-li tedy úroveň hladiny [tj.  $s$  ze vztahu (10)] na ose pořadnic proti logaritmu bezrozměrného času (11) na ose úseček, vytvoří graf po určitém čase v ideálním případě přímku, jejíž směrnice je dána vztahem  $i = \Delta s / \Delta \log t'$  (Jetel, 1982).

## 8.6. Hydrogeochemická speciace

Speciační analýza je metoda identifikace a stanovení různých chemických forem určitého prvku v roztocích. U daného prvku lze rozlišit oxidační stavy a jejich jednotlivé podíly v roztoku. Z odebraného vzorku vody speciací spočítáme rozdělení rozpuštěných volných iontů, vodných komplexů a saturačních indexů. Saturační index (SI) udává stupeň nasycení vody, když je  $SI > 0$ , tak je daný roztok minerálem přesycen a může docházet ke srážení, naopak když je  $SI < 0$ , tak je daný roztok minerálem nenasycen a může docházet k rozpouštění. Při  $SI = 0$  je minerál v rovnováze s podzemní vodou (Appelo a Postma, 2005).

## 9. Výsledky

### 9.1. Výpočet hydraulických parametrů

Na všech vrtech byly provedeny hydrodynamické zkoušky, nejprve bylo čerpáno konstantní množství vody  $Q$  v čase  $t_p$  (délka trvání odběru před stoupací zkouškou). Po přerušení odběru konstantní vydatnosti  $Q$  hladina ve vrtu stoupala v závislosti na čase tak, jako kdyby pokračoval odběr vydatnosti  $Q$  (tj. fiktivní přítok do vrtu –  $Q$ ). Zbytkové snížení  $s'$  (rozdíl mezi hladinou ve vrtu v čase  $t$  od začátku stoupací zkoušky) lze pak vyjádřit podle Theise (1935) jako rovnice (6), (Jetel, 1982).

Z důvodu absence pozorovacího vrtu byly výsledky interpretovány pomocí zkoušek stoupacích, ale pro korelaci i ze zkoušek čerpacích a vyhodnocení bylo provedeno pomocí Jacobovi metody – sestrojením semilogaritmických grafů. Z naměřených hodnot byl pro každý hydrogeologický vrt vypracován semilogaritmický graf.

K vytvoření grafů a vypočítání hydraulických parametrů byl použit program Microsoft Excel. Vytvořenými grafy (viz. přílohy 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22) byla reprezentativním úsekem grafu proložena přímka. Na této přímce byly libovolně zvoleny dva body a z nich byly odečteny hodnoty  $s_1$  a  $s_2$ , tyto hodnoty byly dosazeny do vztahu  $\Delta s = s_2 - s_1$ . Tím byla získána hodnota  $\Delta s$  a za pomoci vzorce (8) vypočítána hodnota transmisivity  $T$  v  $[\text{m}^2/\text{s}]$ . Když byla známa hodnota  $T$ , tak byla dosazena do vztahu (9). Dalším výpočtem v diplomové práci bylo zjištění indexu  $Y$  a  $Z$ . Index  $Y$  byl spočítán podle vzorce (4), kde  $q$  bylo vypočítáno podle vzorce (1), index  $Z$  podle vzorce (3), protože nebyla přesně určena mocnost zvodněnce, dosadíme délku otevřeného úseku  $L$ .

### 9.2. Hodnoty hydraulických parametrů

V tabulce (Tab. 28) jsou přehledně shrnuty vypočítané hodnoty jednotlivě pro každý vrt zvlášť. V tabulce jsou jak výsledky hydraulických parametrů z vyhodnocených stoupacích zkoušek, tak indexy transmisivity  $Y$  a hydraulické vodivosti  $Z$  a další nezbytné veličiny potřebné k výpočtům podle uvedených vzorců.

V grafech čerpacích zkoušek (viz. přílohy 07, 08, 09, 10, 11, 12, 13, 14) můžeme pozorovat okrajové podmínky, tj. odchylky od standardní křivky. Na vrtech CnL-1, Lt-1, Lt-2, Vs-1 a Vs-2 u křivky dochází k zálohu dolů, což indikuje nepropustnou hranici a na vrtech Os-1, Os-2 a S-1 naopak přímka narovnává, což značí dotační hranici.

Tab. 28: Vypočítány hodnoty hydraulických parametrů a indexů Y a Z

$Q$  – známá odebíraná vydatnost při čerpací zkoušce,  $\Delta s$  – hodnota snížení,  $b = L$  – mocnost zvodněného kolektoru,  $T$  je transmisivita zkoumaného kolektoru,  $k$  – hydraulická vodivost,  $Y$  – index transmisiviti,  $Z$  – index hydraulické vodivosti.

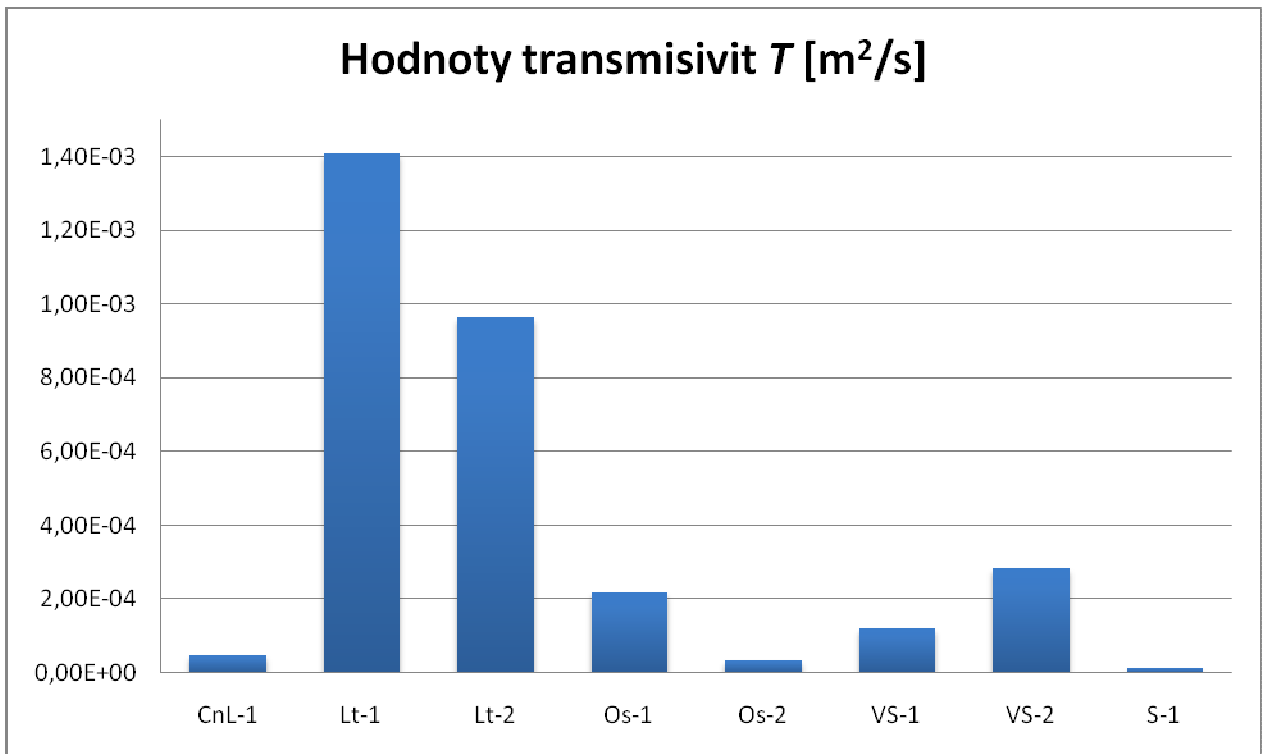
Vrt	CnL-1	Lt-1	Lt-2	Os-1	Os-2	VS-1	VS-2	S-1
$T$ [m <sup>2</sup> /s]	4,65E-05	1,41E-03	9,64E-04	2,18E-04	3,48E-05	1,19E-04	2,82E-04	1,28E-05
$k$ [m/s]	1,79E-06	4,40E-05	3,01E-05	3,52E-06	9,40E-07	1,53E-06	4,02E-06	1,35E-07
index Y	5,40	6,89	6,72	6,08	5,28	5,81	6,19	4,85
index Z	3,99	5,38	5,22	4,28	3,71	3,92	4,34	2,87
$Q$ [m <sup>3</sup> /s]	3,30E-03	1,00E-03	1,00E-03	2,50E-03	1,50E-03	1,50E-03	2,00E-03	2,10E-03
$\Delta s$ [m]	13	0,13	0,19	2,1	7,9	2,3	1,3	30
$b=L$ [m]	26	32	32	62	37	70	70	95

V tabulce (Tab. 29) je odvozena propustnost hornin podle Jetela (1973), z výsledků odpovídají horniny vysokomýtské synklinály třídě propustnosti III. – VI.

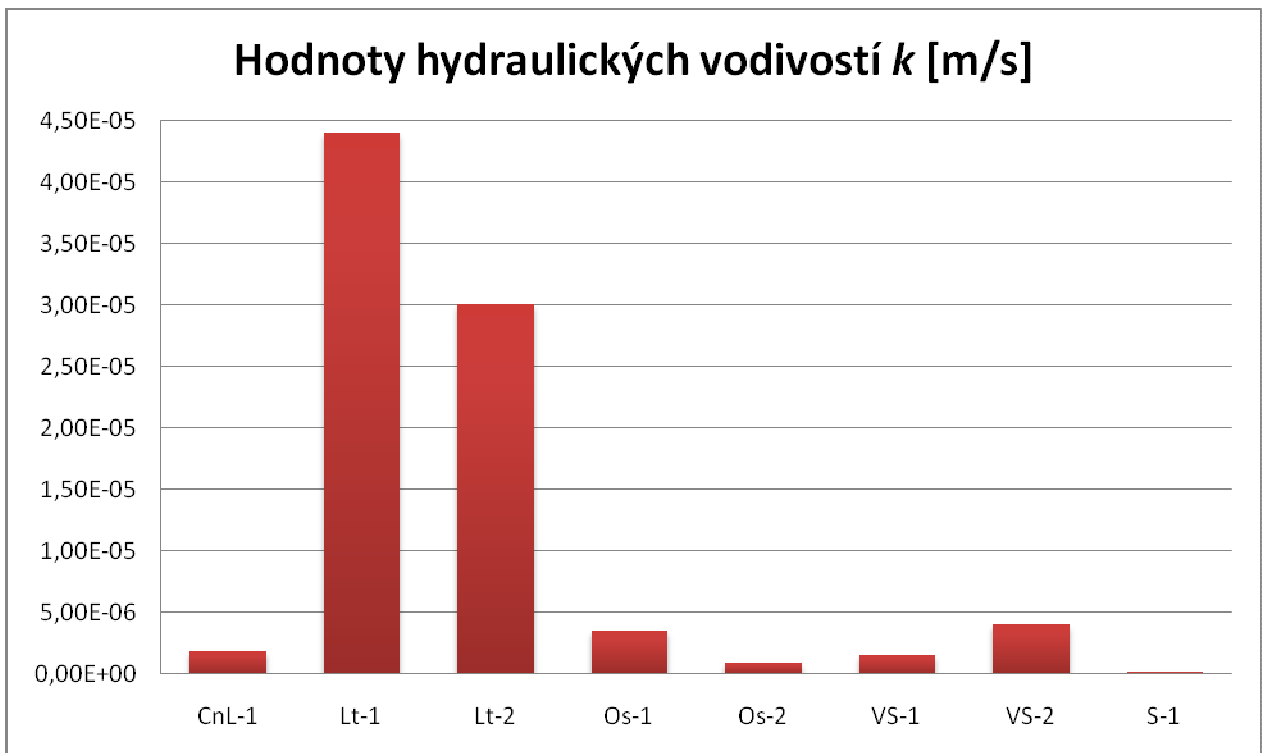
Tab. 29: Propustnost hornin podle Jetela (1973)

Vrt	$k$ [m/s]	Třída	Označení stupně
CnL-1	4,65E-05	V.	Dosti slabě propustné
Lt-1	2,82E-03	III.	Dosti silně propustné
Lt-2	1,93E-03	III.	Dosti silně propustné
Os-1	2,18E-04	IV.	Mírně propustné
Os-2	3,48E-05	V.	Dosti slabě propustné
VS-1	1,19E-04	IV.	Mírně propustné
VS-2	2,82E-04	IV.	Mírně propustné
S-1	6,10E-06	VI.	Slabě propustné

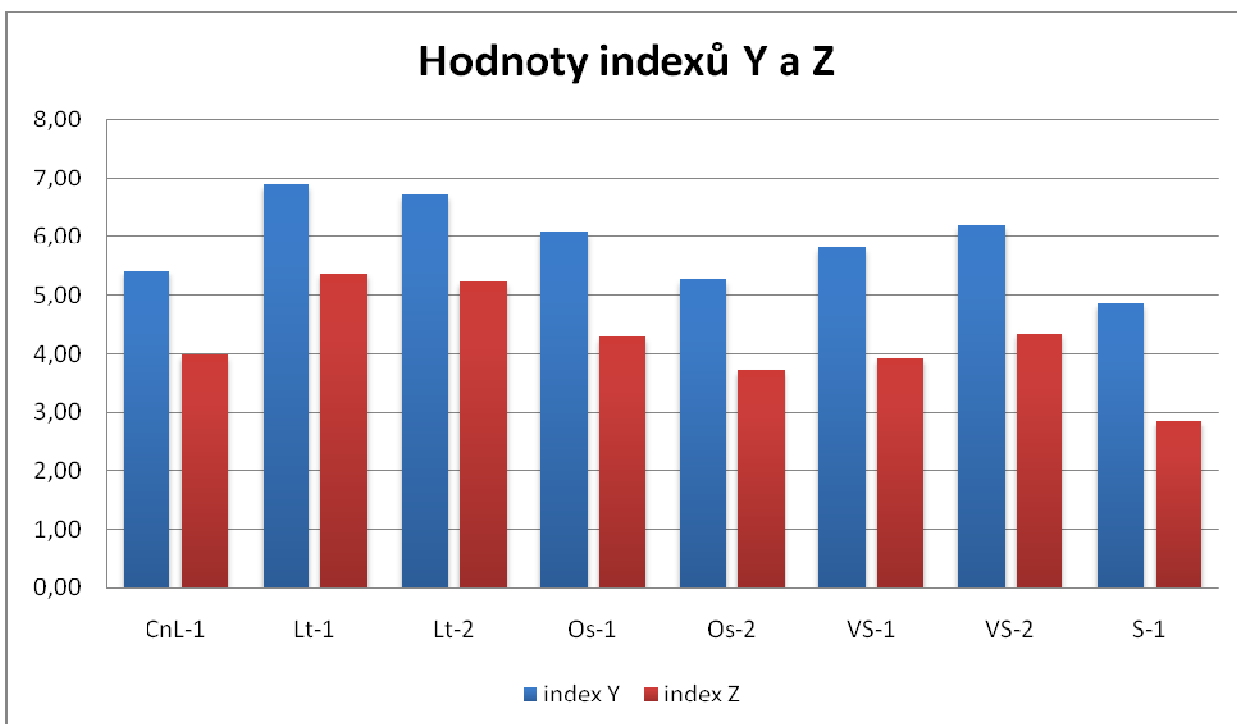
Z hodnot v tabulce (Tab. 28) lze určit intervaly, ve kterých se vypočítané hodnoty vyskytují. Transmisivita  $T$  nabývá hodnot 6,10E-06 – 1,93E-03 m<sup>2</sup>/s, hydraulická vodivost  $k$  – 6,43E-08 – 1,79E-06 m/s. (viz. Obr. 9 a 10). Index  $Y$  – 4,52 – 7,19 a index  $Z$  – 2,55 – 5,68 (Obr. 11).



Obr. 9: Graf hodnot transmisivit  $T$



Obr. 10: Graf hodnot hydraulických vodivostí  $k$



Obr. 11: Graf hodnot indexů transmisivit Y a hydraulických vodivostí Z

## 8.6. Chemismus vody ve vrtech

### 8.6.1. Cerekvice nad Loučnou

Podzemní voda je slabě zásaditá (pH 7,1-7,3), slabě mineralizovaná, hydrochemického typu Ca-HCO<sub>3</sub>. Zvýšené jsou koncentrace dusičnanů, které se pohybují nad NMH (nejvyšší mezní hodnota) pitné vody, která činí 50 mg/l. Voda jinak má vyšší koncentraci vápníku na jedné a nižší koncentraci hořčíku na druhé straně, tvrdost vody lze charakterizovat jako zvýšenou. Vyjma zvýšeného obsahu dusičnanů není podzemní voda zasažena antropogenní kontaminací jiného původu a ve všech sledovaných parametrech vyhovuje vyhl. č. 252/2004 Sb. v platném znění (Mička, 2012a).

### 16.6.2. Litomyšl

Podzemní voda je slabě zásaditá (pH 7,1-7,6), slabě mineralizovaná, hydrochemického typu Ca-HCO<sub>3</sub>. Po chemické stránce je voda z obou vrtů prakticky totožná. Koncentrace dusičnanů vyhovují NMH (nejvyšší mezní hodnota) pitné vody, a pohybují se v rozmezí 36-38 mg/l. Voda jinak má vyšší koncentraci vápníku na jedné a nižší koncentraci hořčíku na druhé straně, tvrdost vody vyhovuje rozmezí doporučených hodnot). Po stránce fyzikálně-chemické jinak voda ve všech parametrech vyhovuje normativům vody pitné (Mička, 2013).



### **16.6.3. Osík**

Podzemní voda je slabě zásaditá (pH 7,1-7,3), slabě mineralizovaná, hydrochemického typu Ca-HCO<sub>3</sub>. Po chemické stránce je voda prakticky totožná s předchozím vrtem. Zvýšené jsou koncentrace dusičnanů, které se pohybují těsně kolem hranice 50 mg/l. Voda jinak má mírně vyšší koncentraci vápníku na jedné a mírně nižší koncentraci hořčíku na druhé straně, tvrdost vody lze charakterizovat jako mírně zvýšenou (jedná se o doporučené hodnoty). Po stránce fyzikálně-chemické jinak voda ve všech parametrech vyhovuje normativům vody pitné (Mička, 2012b).

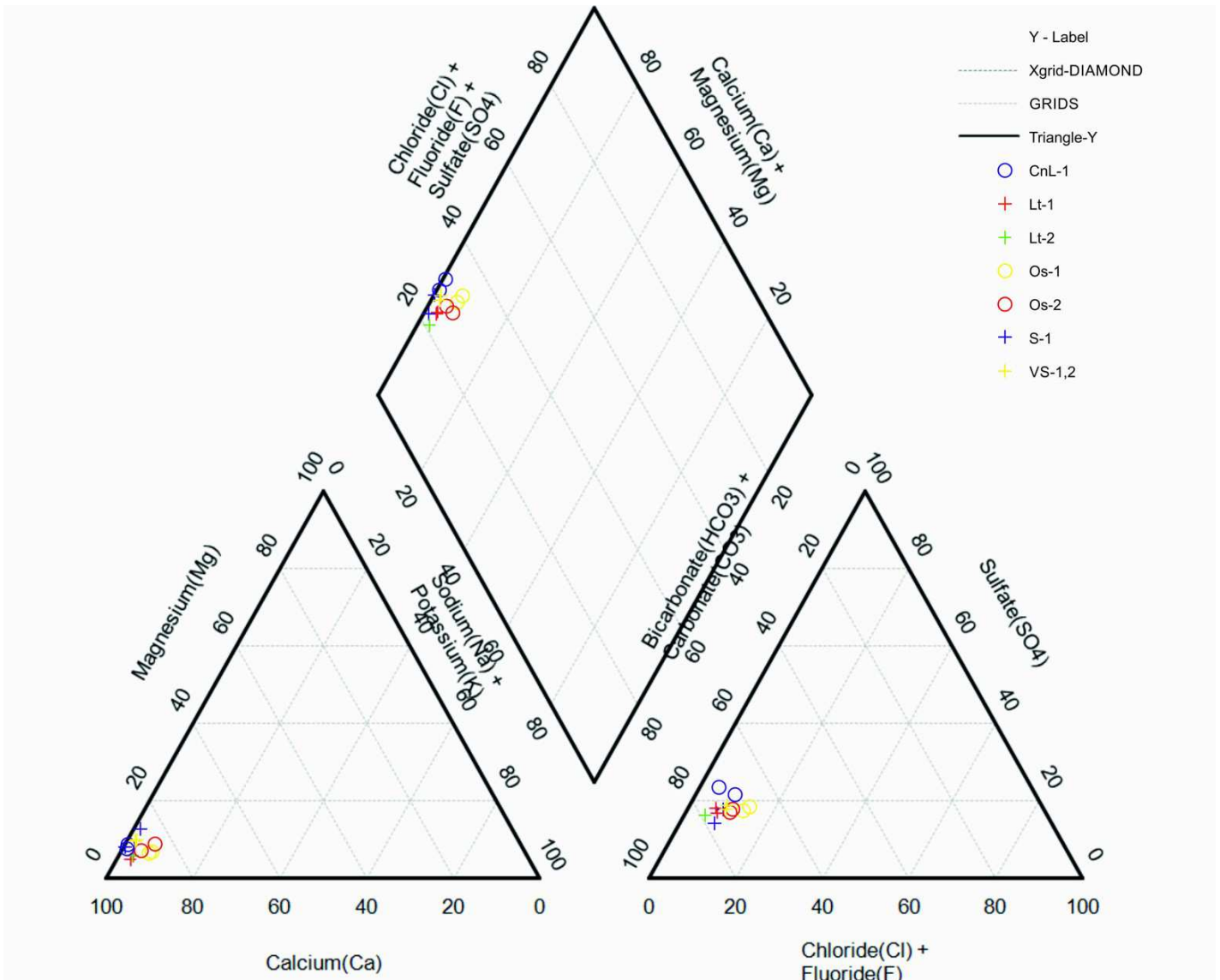
### **16.6.4. Sebranice**

Podzemní voda je slabě zásaditá (pH 7,0-7,6), slabě mineralizovaná, hydrochemického typu Ca-HCO<sub>3</sub>. Voda jinak má vyšší koncentraci vápníku na jedné a nižší koncentraci hořčíku na druhé straně, tvrdost vody lze charakterizovat jako zvýšenou (jedná se o doporučené hodnoty). Vyjma zvýšeného obsahu dusičnanů není podzemní voda zasažena antropogenní kontaminací jiného původu a ve všech sledovaných parametrech vyhovuje vyhl. č. 252/2004 Sb. v platném znění (Mička, 2012a).

### **16.6.5. Vidlatá Seč**

Podzemní voda je slabě zásaditá (pH 7,4-7,9), slabě mineralizovaná, hydrochemického typu Ca-HCO<sub>3</sub>. Po chemické stránce je voda z obou vrtů prakticky totožná. Ve všech parametrech vzorky vyhovují mezním či nejvyšším mezním hodnotám dle vyhláška č. 252/2004 Sb. Zvýšený je obsah dusičnanů, který se pohybuje těsně pod limitní hodnotou mezi 41-49,6 mg/l. Tento jediný ukazatel je indikátorem antropogenní kontaminace. Voda jinak má mírně vyšší koncentraci vápníku na jedné a mírně nižší koncentraci hořčíku na druhé straně, voda se vyznačuje mírně zvýšenou tvrdostí (Mička, 2010).

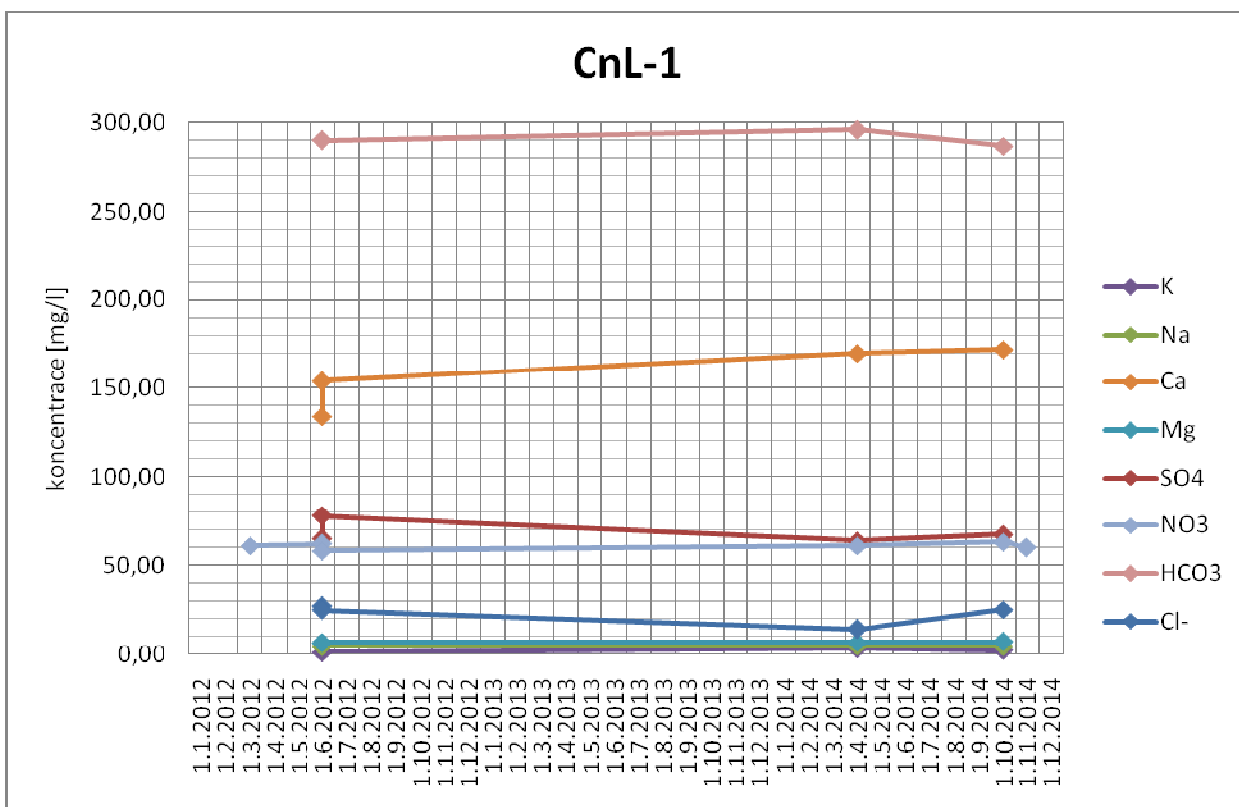
Do diagramu na určení chemického typu podzemních vod jsem použil data z analýz podzemních vod ze všech vrtů (CnL-1, Lt-1, Lt-2, Os-1, Os-2, S-1a VS-1,2), ve Vidlaté Seči se odebíraly směsné vzorky vod z obou vrtů. Výsledné hodnoty ukazují na hydrochemický typ Ca-HCO<sub>3</sub> (viz. Obr. 12). K vytvoření grafu jsem použil program Microsoft Excel – PiperPlot QW (USGS, 2015).



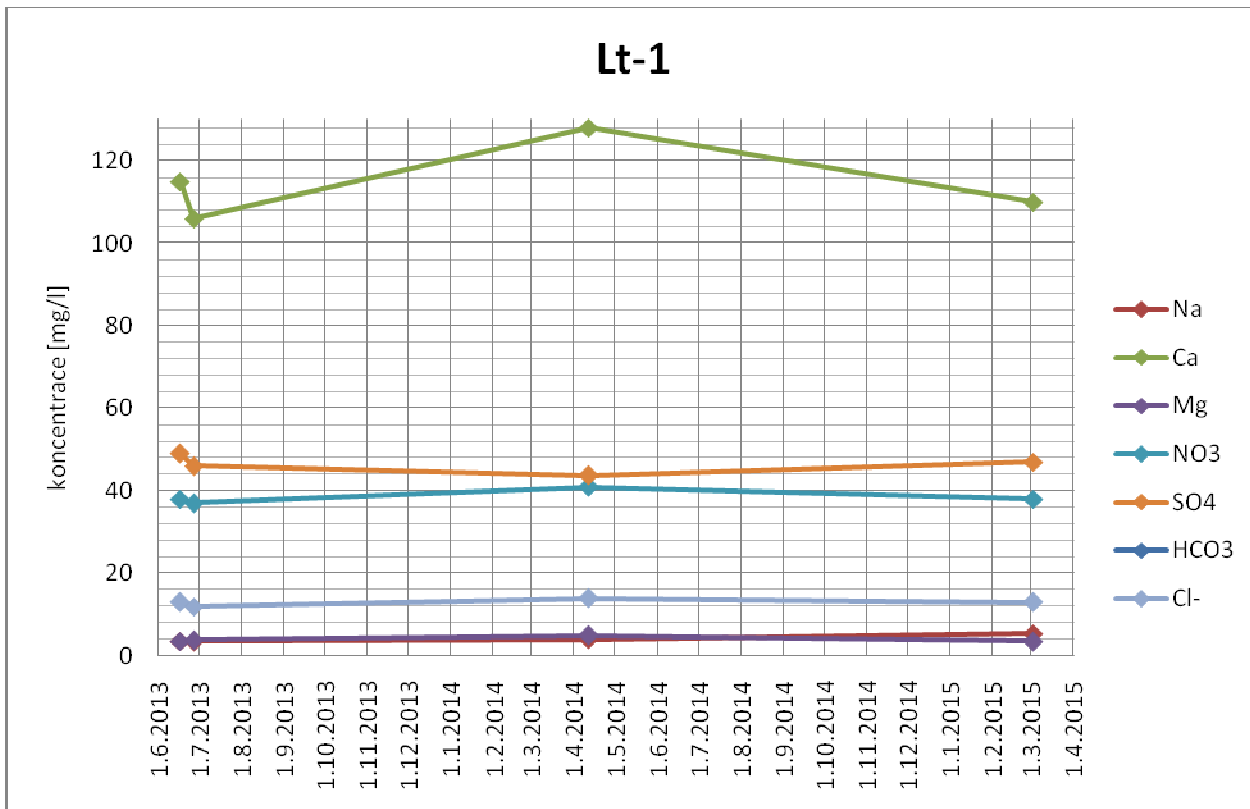
Obr. 12: Piperův diagram

### 9.3. Analýza časových řad vývoje chemismu vod

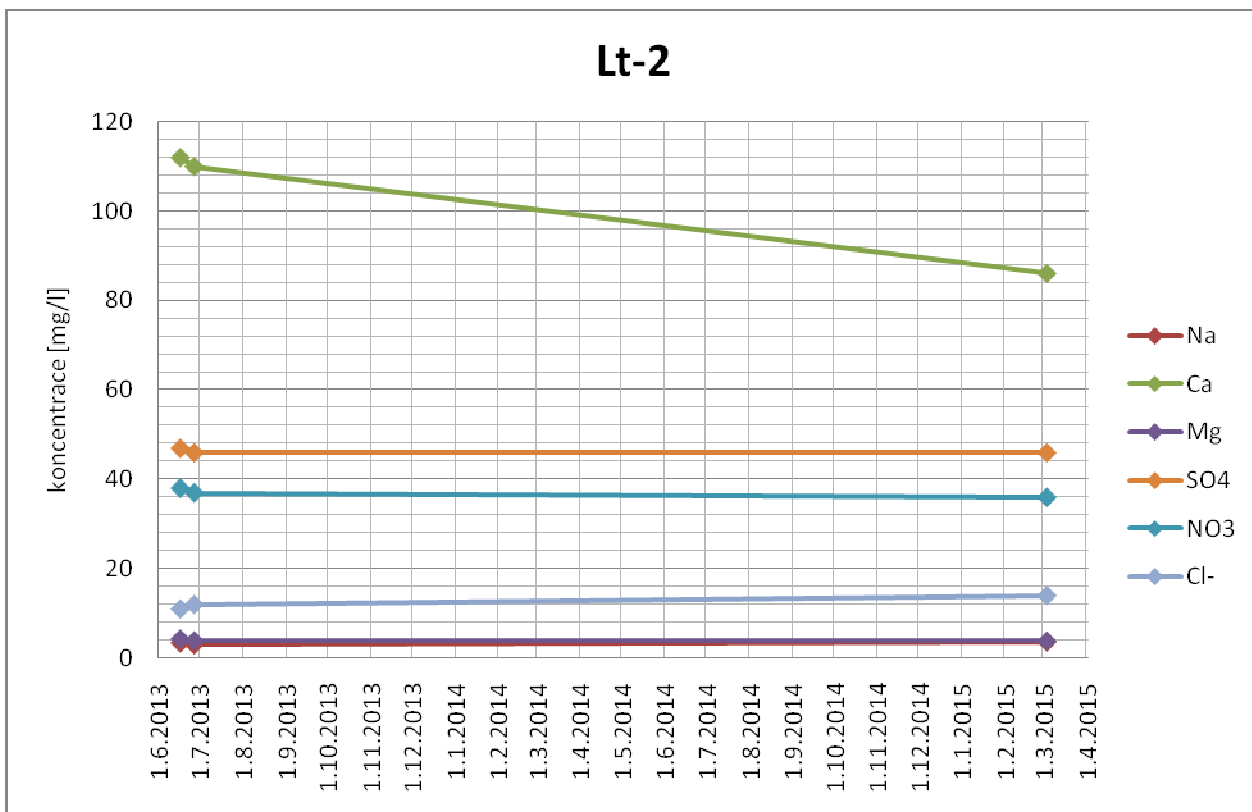
Grafické znázornění časových řad se v hydrogeologii využívá k vyhodnocení a předpovídání časového vývoje chemismu podzemních vod. Grafy, které znázorňují časovou řadu, často umožní určit možný trend a budoucí vývoj chemismu. Interpretaci časových řad často komplikuje to, že jejich průběh bývá výsledkem prolínání více faktorů (Metodická příručka MŽP, 2011). Ke konstrukci časových řad byl použit program Microsoft Excel. Byly vytvořeny časové řady chemismu na jednotlivých vrtech a dále časové řady pH a konduktivity. Vytvořené časové řady (viz. Obr. 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21). U vrtu Cnl-1 se po skoro tříletém čerpání koncentrace iontů příliš nezměnila, pouze koncentrace  $\text{Ca}^{2+}$  stoupla z hodnot po vystrojení vrtu, tj. z 134 mg/l na 172 mg/l, ostatní koncentrace iontů zůstali nezměněny, pH stoupl ze 7,1 na 7,3. U vrtu Lt-1 byla pozorována změna v koncentraci iontů  $\text{Ca}^{2+}$ , nejprve 106 mg/l, to byla koncentrace po hydrodynamických zkouškách, poté byl vrt zakonzervován a opět zprovozněn až v roce 2014 a po ročním využívání vrtu byla koncentrace iontů  $\text{Ca}^{2+}$  110 mg/l. Ostatní ionty zůstali téměř nezměněny, pH stoupl z 7,1 na 7,4. U vrtu Lt-2 byla pozorována opačná situace, koncentrace iontů  $\text{Ca}^{2+}$  klesala ze 112 mg/l na 86 mg/l. Zřejmě je to způsobeno tím, že vrt byl čerpán v roce 2013 v rámci hydrodynamických zkoušek a poté byl zakonzervován. Do provozu byl zaveden v roce 2015, kdy byla také provedena poslední analýza, ostatní ionty zůstali téměř nezměněny, pH stoupl z 7,1 na 7,6. Na vrtech Os-1 a Os-2 byla také provedena analýza časových řad, ale vycházelo se z dat, které byly výsledkem chemických analýz podzemních vod ze vzorků odebraných těsně po odvrtání vrtů, proto jsou omezeně použitelné. Vrt VS-1,2, označení vychází z toho, že oba vrty byly propojeny a zavedeny do vodárenského objektu. Trend, který na vrtech můžeme pozorovat, je takový, že koncentrace iontů  $\text{SO}_4^{2-}$  klesla z 60 mg/l na 51,3 mg/l a  $\text{NO}_3^-$  ze 49 mg/l na 41 mg/l. Vývoj pH byl od 7,4 na 7,9. Koncentrace ostatních iontů zůstaly poměrně nezměněné. U vrtu S-1 byly k dispozici pouze dvě úplné analýzy podzemních vod, výsledkem časových řad, je viditelný nárůst koncentrace iontů  $\text{Ca}^{2+}$  ze 109 mg/l na 184 mg/l. Dále zvýšení koncentrace iontů  $\text{SO}_4^{2-}$  z 33,3 mg/l na 45,9 mg/l a pH kleslo z 7,6 na 7. U žádného z vrtů, nebylo zjištěno nadlimitní koncentrace stopových prvků. Na všech vrtech byly provedeny i koncentrace iontů Fe a Mn, ale hodnoty byly průměrně na všech vrtech stejné: Fe – <0,009, Mn – <0,003 mg/l, z tohoto důvodu nebyly graficky zpracovány v časových řadách. Na základě zjištěných výsledků z analýzy časových řad můžeme konstatovat, že výše uvedené změny, i když relativně minimální, souvisí s dlouhodobým čerpáním vrtů.



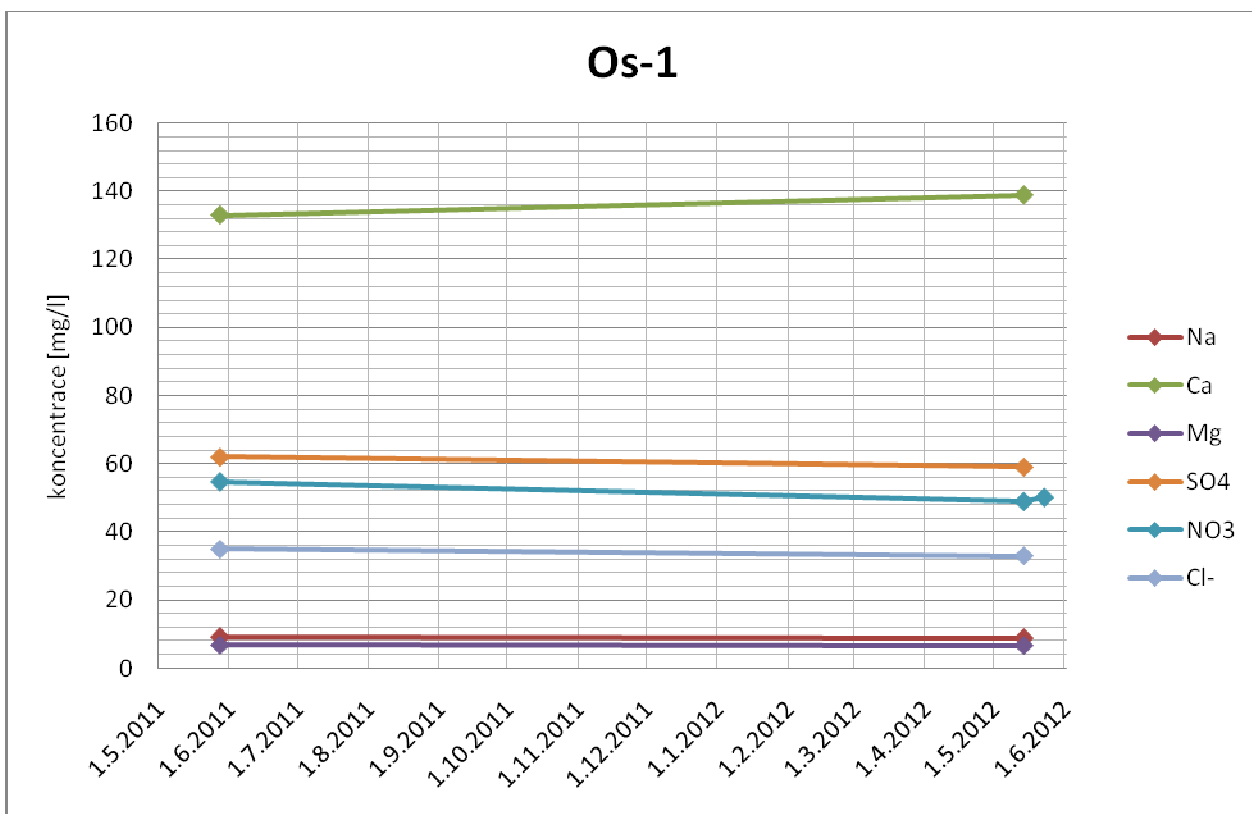
Obr. 13: Časové řady CnL-1



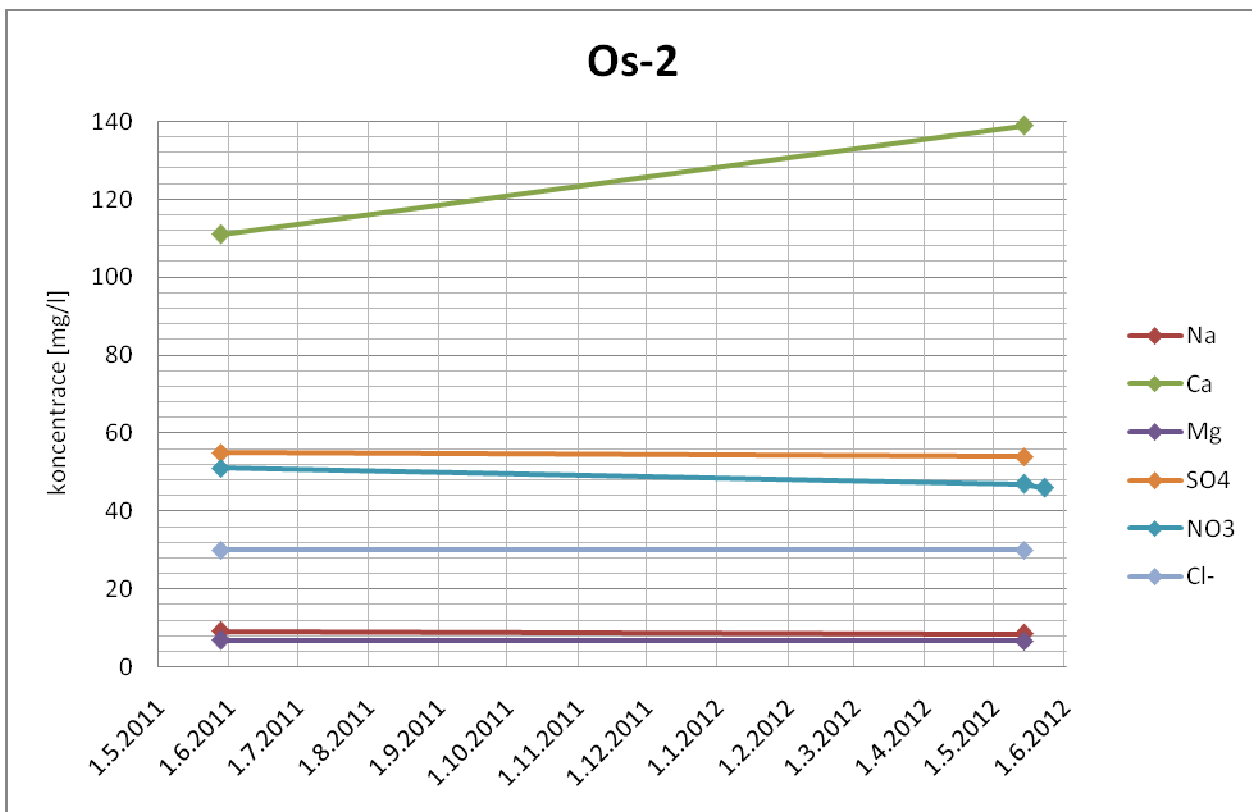
Obr. 14: Časové řady Lt-1



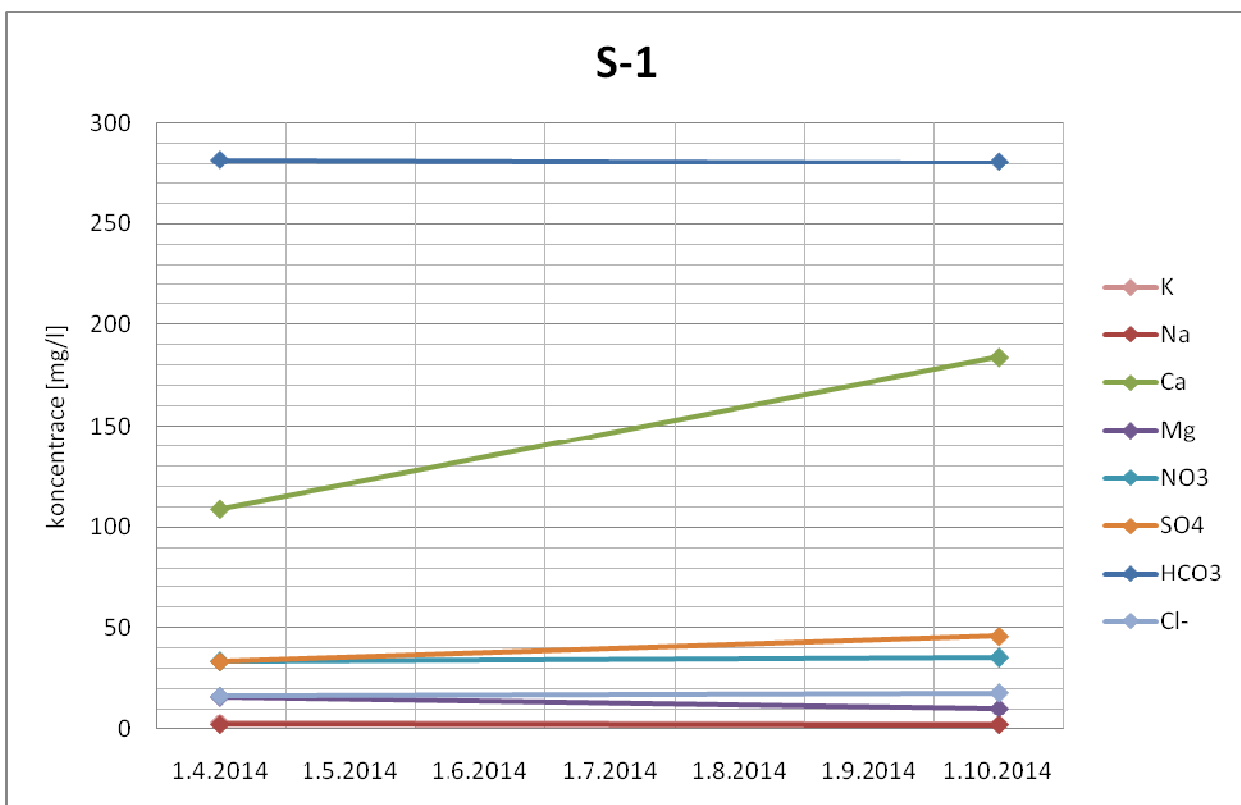
Obr. 15: Časové řady Lt-2



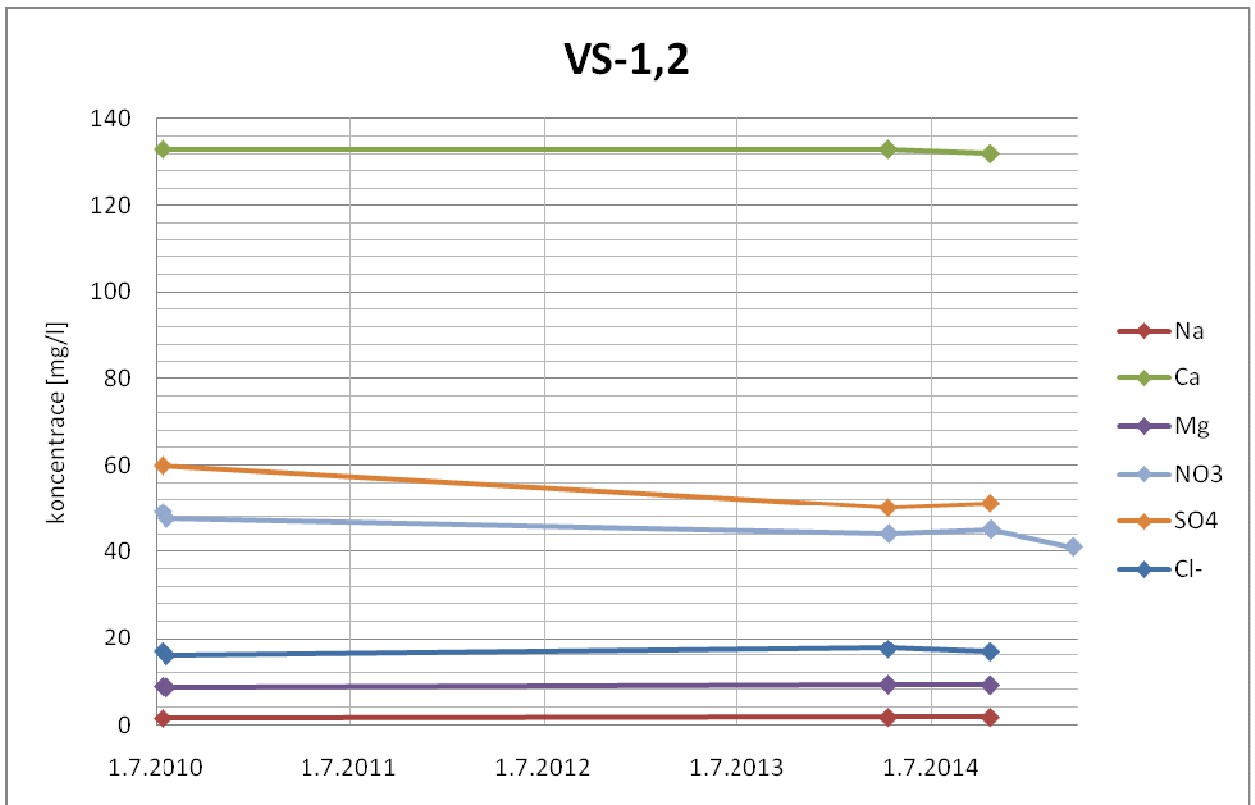
Obr. 16: Časové řady Os-1



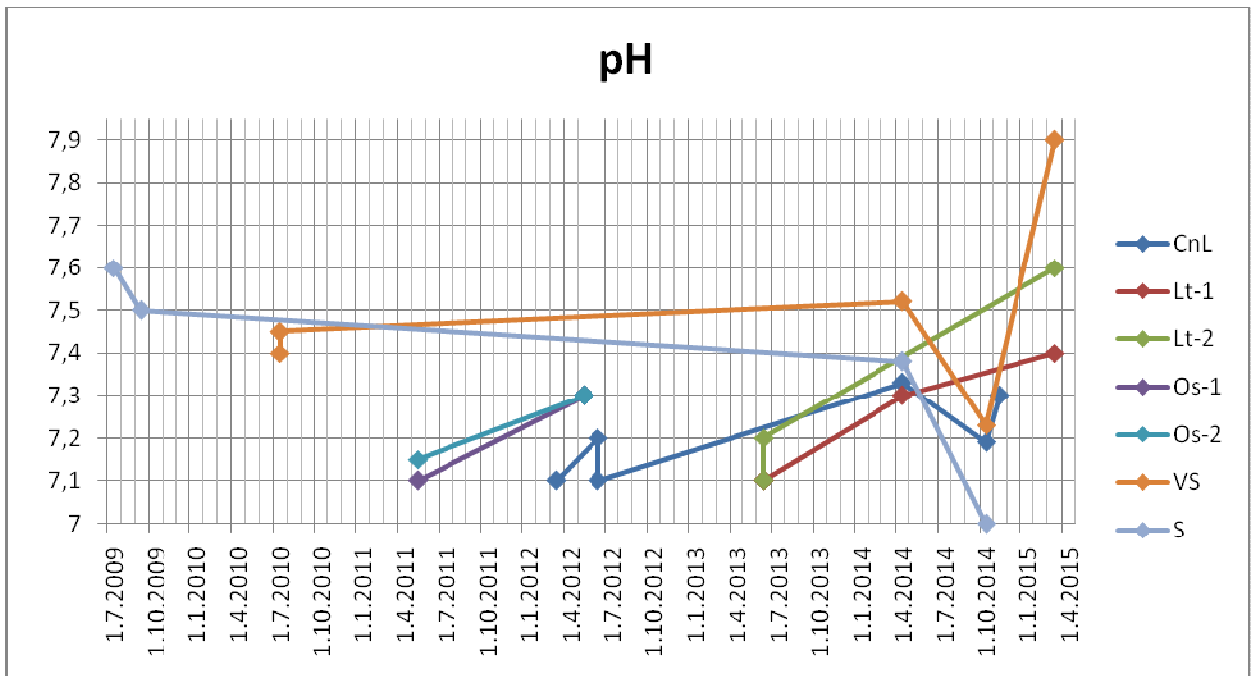
Obr. 17: Časové řady Os-2



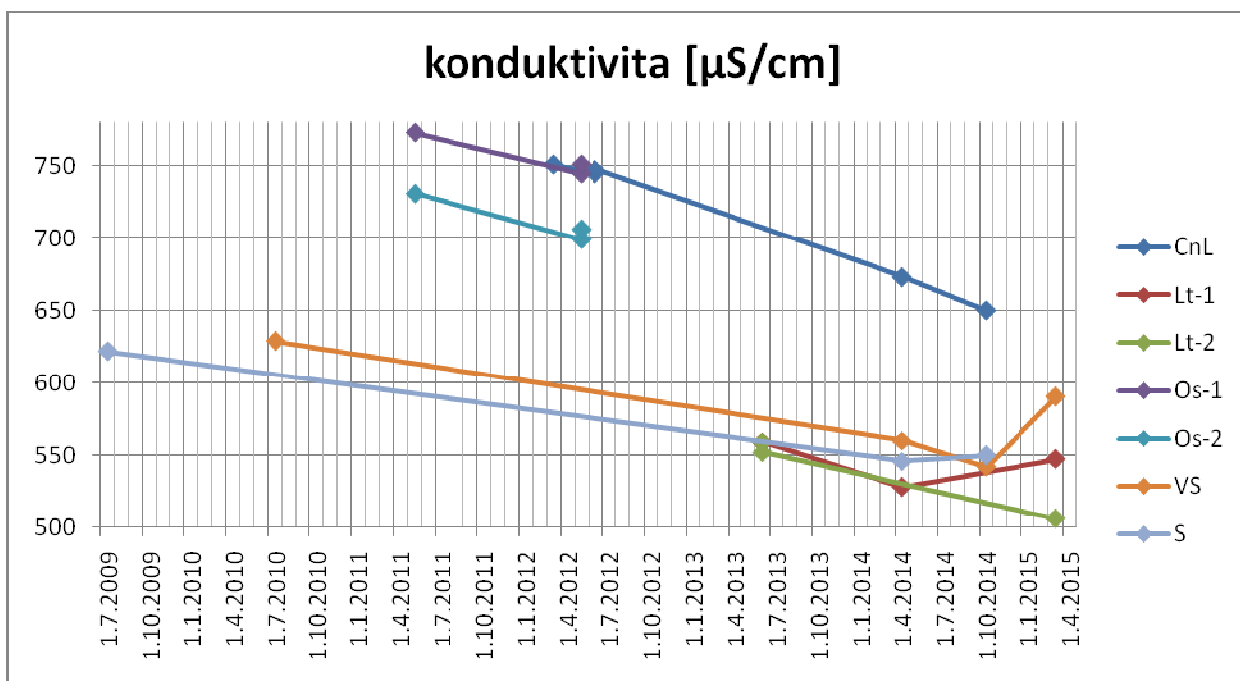
Obr. 18: Časové řady S-1



Obr. 19: Časové řady VS-1,2



Obr. 20: Časové řady pH



Obr. 21: Časové řady konduktivity

#### 9.4. Výpočet speciace

Pro výpočet speciace byly, jako vstupní data, použity vzorky podzemní vody, které jsem odebral na jednotlivých lokalitách v dubnu a říjnu 2014. K určení speciace a saturačních indexů (SI) byl použit hydrochemický program PHREEQC (Parkhurst a Appelo, 1999). Po dosazení neznámých, jako je: teplota vody, pH, pe (tj. redoxní stav vody) a koncentrace iontů v mg/l. Prvky a ionty, které byly zadávány do programu (viz. Tab. 30): Koncentrace kationtů draslíku ( $K^+$ ), sodíku ( $Na^+$ ), vápníku ( $Ca^{2+}$ ), hořčíku ( $Mg^{2+}$ ), železa (Fe a aniontů dusičnanů ( $NO_3^-$ ), chloridů ( $Cl^-$ ), síranů ( $SO_4^{2-}$ ), hydrogenuhličitanů ( $HCO_3^-$ ). Program pak vypočítal koncentrace iontů a komplexů.

V tabulce (viz. Tab. 30) jsou hlavní ionty a jejich tři hlavní formy vyjádřené v průměrném procentuálním zastoupením. Největší procentuální zastoupení má vždy první iont či komplex a to vždy nad 50% a více, další formy jsou zastoupeny jen v desítkách a jednotkách procent.

Výsledné saturační indexy (SI) jsou v tabulce (Tab. 31). Z této tabulky vyplývá, že podzemní vody jsou nenasyčené k většině vybraným minerálům. Můžeme pozorovat, že nejméně je voda nasycena sideritem, rodochrozeitem, dolomitom a aragonitem, a tudíž se mohou rozpouštět do vody. Naopak saturační index kalcitu je u většiny vrtů kladný, což znamená přesycení daným minerálem a může docházet k jeho srážení. U vrtu VS-1,2 je kalcit roven nule, což znamená že je daný minerál v rovnováze s podzemní vodou.



Tab. 30: Hlavní ionty a komplexy

K	%	Na	%	Ca	%	Mg	%	Mn	%
K <sup>+</sup>	99,89	Na <sup>+</sup>	99,68	Ca <sup>2+</sup>	94,5	Mg <sup>2+</sup>	94,27	Mn <sup>2+</sup>	68,88
KSO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	0,13	NaHCO <sub>3</sub>	0,20	CaSO <sub>4</sub>	2,92	MgHCO <sub>3</sub>	3,15	MnHCO <sub>3</sub> <sup>+</sup>	18,29
KOH	>1E-05	NaSO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	0,12	CaHCO <sub>3</sub>	2,32	MgSO <sub>4</sub>	2,46	MnCO <sub>3</sub>	11,21
Fe	%	Cl	%	S	%	N	%	C	%
Fe(OH) <sub>3</sub>	55,88	Cl <sup>-</sup>	99,93	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	79,05	N <sub>2</sub>	50	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	85,63
Fe(OH) <sub>2</sub> <sup>+</sup>	42,96	MnCl <sup>+</sup>	>1E-05	CaSO <sub>4</sub>	18,98	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	>1E-30	CO <sub>2</sub>	9,66
Fe(OH) <sub>4</sub> <sup>-</sup>	0,70	FeCl <sup>+</sup>	>1E-09	MgSO <sub>4</sub>	1,92	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	>1E-31	CaHCO <sub>3</sub>	1,61

Tab. 31: Saturační indexy pro podzemní vodu vůči vybraným minerálům

Vrt	Období	Aragonit CaCO <sub>3</sub>	Kalcit CaCO <sub>3</sub>	Dolomit CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	Rodochrozit MnCO <sub>3</sub>	Siderit FeCO <sub>3</sub>
CnL-1	Duben 2014	0,14	0,29	-0,73	-2,07	-3,94
CnL-1	Říjen 2014	-0,04	0,11	-1,09	-2,23	-3,83
Lt-1	Duben 2014	-0,07	0,08	-1,16	-2,14	-3,88
VS-1,2	Duben 2014	0,16	0,31	-0,44	-1,95	-4,11
VS-1,2	Říjen 2014	-0,15	0	-1,06	-2,22	-3,98
S-1	Duben 2014	-0,3	0,13	-0,49	-2,04	-4,42
S-1	Říjen 2014	-0,21	-0,05	-1,27	-2,42	-3,8

## 10. Diskuze

V tabulce (Tab. 28) jsou shrnuty vypočítané hodnoty jednotlivě pro každý vrt zvlášť. Dále v ní jsou jak výsledky hydraulických parametrů z vyhodnocených stoupacích zkoušek, tak indexy transmisivity  $Y$  a hydraulické vodivosti  $Z$  a další nezbytné veličiny potřebné k výpočtům podle uvedených vzorců.  $Z$  hodnot v tabulce (Tab. 28) lze určit intervaly, ve kterých se vypočítané hodnoty vyskytují. Transmisivita  $T$  nabývá hodnot  $6,10E-06 - 1,93E-03$  m<sup>2</sup>/s, hydraulická vodivost  $k$  hodnot  $6,43E-08 - 1,79E-06$  m/s. (viz. Obr. 9 a 10). Index  $Y - 4,52 - 7,19$  a index  $Z - 2,55 - 5,68$  (Obr. 11). V tabulce (Tab. 29) je odvozena propustnost hornin podle Jetela (1973), horniny vysokomýtské synklinály odpovídají třídě propustnosti III. – VI. Na grafech čerpacích zkoušek se projevují okrajové podmínky. Na vrtech CnL-1, Lt-1, Lt-2, Vs-1

a Vs-2 u křivky dochází k zálomu dolů, což indikuje nepropustnou hranici a na vrtech Os-1, Os-2 a S-1 naopak přímka narovnává, tzn. mezivrstevní přetékání.

Hydrochemický typ byl shodně určen u všech vrtů jako typ Ca-HCO<sub>3</sub>, určení bylo provedeno na základě vnesení hodnot z analýz podzemních vod do Piperova diagramu viz. kapitola 9.6. Analýzou časových řad vývoje chemismu bylo zjištěno, že se mění koncentrace iontů Ca<sup>2+</sup>, a to tak, že u vrtů CnL-1, Os-1, Os-2 a S-1 koncentrace stoupá. U vrtů Lt-1, Lt-2, VS-1,2 koncentrace iontů Ca<sup>2+</sup> klesá. Časové řady vývoje pH ukázaly, že u vrtů CnL-1, Lt-1, Lt-2, Os-1, Os-2, VS-1,2 pH stoupl z 7,1 na 7,9. U vrtu S-1 kleslo pH z 7,6 na 7.

Zvýšené hodnoty dusičnanů mohou být způsobeny nadměrným používáním hnojiv, za účelem udržení uspokojivé úrovně zemědělské výroby, tím se ale zvyšuje riziko jejich možného vyplavení do podzemní vody. K redukci dusičnanů dochází za využití organické hmoty nebo dvojmocného železa (Fe<sup>2+</sup>), jako elektronových donorů (Šrámek et al., 2002). Redukce dusičnanů elementárním železem je závislá především na hodnotě pH. Redukce probíhá významněji rychleji až při hodnotách pH 4 (Pitter 2009). V našem případě se u všech vrtů pohybujeme kolem pH 7. Na všech vrtech byly naměřeny hodnoty železa <0,009 mg/l a hodnoty dusičnanů se v pozorovaném čase příliš nemění, tím lze předpokládat, že k redukci dusičnanů železem nedochází a dusičnany jsou stabilní.

Hydrodynamickými zkouškami byla ověřena využitelná vydatnost vrtů, navržené odběry podzemní vody jsou z hlediska celkové hydrologické bilance kolektoru nevýznamné, neovlivňují kapacitní ani kvalitativní poměry vody, tím lze říci, že při dodržování doporučených odběrů se chemismus ve vrtech jeví, že je relativně v rovnováze. Z tabulky (Tab. 31) je zřejmé, že dochází k inkrustaci (zanášení) vrtů. Minerály, které by se mohly podílet na inkrustaci jsou: Siderit (FeCO<sub>3</sub>), rodochrozit (MnCO<sub>3</sub>), dolomit [CaMg(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>], aragonit (CaCO<sub>3</sub>) a kalcit (CaCO<sub>3</sub>).

Doporučené exploatace vrtů jsou závislé na jejich vydatnosti, na počtu zastižených kolektorů a na spotřebě v jednotlivých střediscích živočišné výroby. Zemědělské středisko v Cerekvici nad Loučnou má denní průměrnou spotřebu 80 m<sup>3</sup>/den. Tím lze tedy stanovit průměrné denní odběry v hodnotách do 1,0 l/s, respektive max. nárazově do 1,5 l/s. Vrt se nachází v areálu zemědělského družstva, tj. v oblasti se zdrojem znečištění spojené s živočišnou a zemědělskou výrobou. Z tohoto důvodu je zde navrženo ochranné pásmo I. stupně, tj. zabezpečení bezprostředního okolí vrtu proti možnosti přímé kontaminace z činnosti při živočišné a zemědělské výrobě a zamezení vstupu nepovolaných osob. Řešeno je oplocením okolí vrtu ve tvaru čtverce 10 x 10 m.

Zemědělské středisko Litomyšl má denní průměrnou spotřebu 25 m<sup>3</sup>/den. Tím lze tedy stanovit průměrné denní odběry pro oba vrty dohromady v hodnotách do 0,3 l/s, max. nárazově

do 0,6 l/s. Oba vrty se nachází v areálu zemědělského družstva, taktéž v oblasti se zdrojem znečištění spojené s živočišnou a zemědělskou výrobou. S přihlédnutím k hydrogeologické pozici zdroje (hlubší zvedeň vyššího středního turonu s překryvem mocným stropním izolátorem a tím pádem malé ohrožení povrchovými zdroji kontaminace ) lze ochranné pásmo stanovit tak, že zhlaví nad jímacími vrty se upraví podle ČSN 75 5115, tj. dojde k zamezení možného vlivu povrchové vody a vstup ke zhlaví je zabezpečen proti manipulaci a nepovolaným osobám.

Zemědělské středisko Osík má denní průměrnou spotřebu 65 m<sup>3</sup>/den. Tím lze tedy stanovit průměrné denní odběry pro oba vrty dohromady v hodnotách do 0,9 l/s, max. nárazově do 1,5 l/s. Z obou vrtů bude potrubí svedeno do objektu vodárny. Oba vrty se nachází v areálu zemědělského družstva, taktéž v oblasti se zdrojem znečištění spojené s živočišnou a zemědělskou výrobou. Z tohoto důvodu je pro vrt Os-1 navrženo ochranné pásmo I. stupně, tj. zabezpečení bezprostředního okolí vrtu proti možnosti přímé kontaminace doprovodných produktů živočišné výroby a zamezení vstupu nepovolaných osob. Řešeno je oplocením okolí vrtu ve tvaru čtverce 10 x 10 m. Vrt Os-2 se nachází v objektu seníku, který je uzamčen, stačí pouze zabezpečit šachtici proti poškození manipulační technikou.

Zemědělské středisko Vidlatá Seč má denní průměrnou spotřebu 74 m<sup>3</sup>/den. Tím lze tedy stanovit průměrné denní odběry pro oba vrty dohromady v hodnotách do 0,9 l/s, max. nárazově do 1,3 l/s. Z obou vrtů bude potrubí svedeno do objektu vodárny. Oba vrty se nachází v areálu zemědělského družstva, taktéž v oblasti se zdrojem znečištění spojené s živočišnou a zemědělskou výrobou. Ochranné pásmo je navrženo s ohledem na respektování současné hranice oplocení areálu družstva, přirozené hranice pozemků a tak, aby nebránilo možnosti pohybu techniky a osob. Řešeno je oplocením okolí vrtu.

Zemědělské středisko v Sebranicích má denní průměrnou spotřebu 35 m<sup>3</sup>/den. Tím lze tedy stanovit průměrné denní odběry v hodnotách do 0,5 l/s, respektive max. nárazově do 0,7 l/s. Vrt se nachází v areálu zemědělského družstva, tj. v oblasti se zdrojem znečištění spojené s živočišnou a zemědělskou výrobou. Z tohoto důvodu je zde navrženo ochranné pásmo I. stupně, tj. zabezpečení bezprostředního okolí vrtu proti možnosti přímé kontaminace z činnosti při živočišné a zemědělské výrobě a zamezení vstupu nepovolaných osob. Řešeno je oplocením okolí vrtu ve tvaru čtverce 10 x 10 m.

## 11. Závěr

Ve vysokomýtském zvodněném systému se nachází celkem pět superponovaných kolektorů oddělených izolátory. Jsou to, bazální křídový kolektor A – perucko-korycanské souvrství, spodní kolektor B – bělohorské souvrství, dva střední kolektory Ca, Cb – jizerské souvrství a v nejvyšší části teplického souvrství kolektor D. Mezilehlé izolátory představují především spodní části uvedených inverzních cyklů a dále teplické souvrství v pelitickém vývoji. V diplomové práci byly vyhodnoceny hydrodynamické zkoušky, které byly provedeny na hydrogeologických vrtech v bilančním celku bc-6. Ty byly interpretovány Jacobovou metodou za účelem určení hydraulických parametrů. Hydraulické parametry, jako je transmisivita a hydraulická vodivost, byla prezentována ve formě indexů  $Y$  a  $Z$ . Index  $Y$  nabýval hodnot 4,52 – 7,19 a index  $Z$  2,55 – 5,68. Zároveň bylo provedeno vzorkování na chemismus podzemní vody. Výsledky chemických analýz byly interpretovány v Piperově diagramu a výsledný hydrochemický typ je Ca-HCO<sub>3</sub>. Dále byly určeny časové trendy, byl proveden výpočet speciace za pomocí programu PHREEQC a bylo provedeno určení minerálů, jejichž vysrážení by mohlo kontrolovat koncentrace rozpuštěných látek. Výše uvedenými analýzami bylo zjištěno, že z dlouhodobého hlediska může docházet k inkrustaci vrtů vysrážením minerálů jako jsou siderit (FeCO<sub>3</sub>), rodochrozit (MnCO<sub>3</sub>), dolomit [CaMg(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>], aragonit (CaCO<sub>3</sub>) a kalcit (CaCO<sub>3</sub>).

## 12.Literatura

Appelo C.A.J., Postma D. (2005): *Geochemistry, groundwater and pollution*. — Vyd. 2. Leiden: A. A. Balkema publishers, 649 s.

Bujok P., Grmela, A. (1993): *Hydrodynamické zkoušky a výzkum sond*. — Vyd. 1. Ostrava: Vysoká škola báňská, 125 s.

Čech S., Holásek O., Sekyra J. (2001): *Geologie území*. In: Müller, V. (ed): *Vysvětlivky k souboru geologických a ekologických účelových map přírodních zdrojů 1: 50 000. List 14-31 Vysoké Mýto*. — Vyd. 1. Praha: Český geologický ústav.

Demek J., Mackovčín P., Balatka B., Buček A., Cibulková P., Culek M., Čermák P., Dobiáš D., Havlíček M., Hrádek M., Kirchner K., Lacina J., Pánek T., Slavík P., Vašátko J. (2006): *Zeměpisný lexikon ČR: Hory a nížiny*. — Vyd. 2. Brno: Agentura ochrany přírody a krajiny ČR, 2006, 582 s.

Herčík F., Hermann Z., Valečka J. (1999): *Hydrogeologie české křídové pánve*. — Vyd. 1. Praha: Český geologický ústav, 115 s.

Jetel J. (1973): *Logický systém pojmů – základní formalizace a matematizace v hydrogeologii*. — Praha. Geol. Průzk.

Jetel J. (1985): *Metody regionálního hodnocení hydraulických vlastností hornin*. — Vyd. 1. Praha: Ústřední ústav geologický, 147 s.

Jetel J. (1982): *Určování hydraulických parametrů hornin hydrodynamickými zkouškami ve vrtech*. — Vyd. 1. Praha: Academia, nakladatelství Československé akademie věd, 246 s.

Kačura G., Daňková H., Holnek I., Kněžek M., Kulhánek V., Trefná E. (1991): *Vysvětlivky k základní hydrogeologické mapě ČSSR 1:200 000, list 14 Šumperk*. — Vyd. 1. Praha: Ústřední ústav geologický, 143 s.

Krásný J., Císlarová M., Čurda S., Datel J., Dvořák J., Grmela A., Hrkal Z., Kříž H., Marszalek H., Šantrůček J., Šilar J. (2012): *Podzemní vody České republiky: regionální hydrogeologie prostých a minerálních vod* — Vyd. 1. Praha: Česká geologická služba, 1143 s

Krásný J., Daňková H., Kněžek M., Kulhánek V., Skořepa J., Trefná E. (1982): *Vysvětlivky k základní hydrogeologické mapě ČSSR 1:200 000, list 13 Hradec Králové*. — Vyd. 1. Praha: Ústřední ústav geologický, 159 s.

Mičke R. (2010): *Projekt geologických prací k zajištění vodního zdroje pro středisko živočišné výroby v Sebranicích*. — Jihlava: MS Radek Mičke – Geoservis, 18 s.

Mičke R. (2010): *Projekt geologických prací k zajištění vodního zdroje pro středisko živočišné výroby ve Vidlaté Seči*. — Jihlava: MS Radek Mičke – Geoservis, 51 s.

Mičke R. (2012a): *Projekt geologických prací k zajištění vodního zdroje pro středisko živočišné výroby v Cerekvici nad Loučnou*. — Jihlava: MS Radek Mičke – Geoservis, 75 s.

Mičke R. (2012b): *Projekt geologických prací k zajištění vodního zdroje pro středisko živočišné výroby v Osíku*. — Jihlava: MS Radek Mičke – Geoservis, 55 s.

Mičke R. (2013): *Projekt geologických prací k zajištění vodního zdroje pro středisko živočišné výroby v Litomyšli*. — Jihlava: MS Radek Mičke – Geoservis, 50 s.

Ministerstvo životního prostředí (2011): *Metodická příručka, Hodnocení průzkumu a sanací*. — Praha: MŽP, 67 s.

Parkhurst D.L., Appelo C.A.J. (1999): *User's guide to PhreeqC-2, A Hydrogeochemical Computer Program*. — U.S. Geological Survey, Water Resources Report, 236.

Pitter P. (2009): *Hydrochemie*. — 4. aktualiz. vyd. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 579 s

Šráček O., Datel J., Mls J. (2002): *Kontaminační hydrogeologie*. — Vyd. 2. Praha: Karolinum, 237 str.

Šráček O., Kuchovský T. (2003): *Základy hydrogeologie*. — Vyd. 1. Brno: MU, 186 s.

### **Internetové zdroje:**

Česká geologická služba Praha, s.r.o. (2014): *Geologická mapa*. — Dostupné na [www.geology.cz](http://www.geology.cz), 20. 8. 2014.

ČÚZK (2015): Mapa. — Dostupné na [www.nahlizenidokn.cz](http://www.nahlizenidokn.cz), 29. 4. 2015.

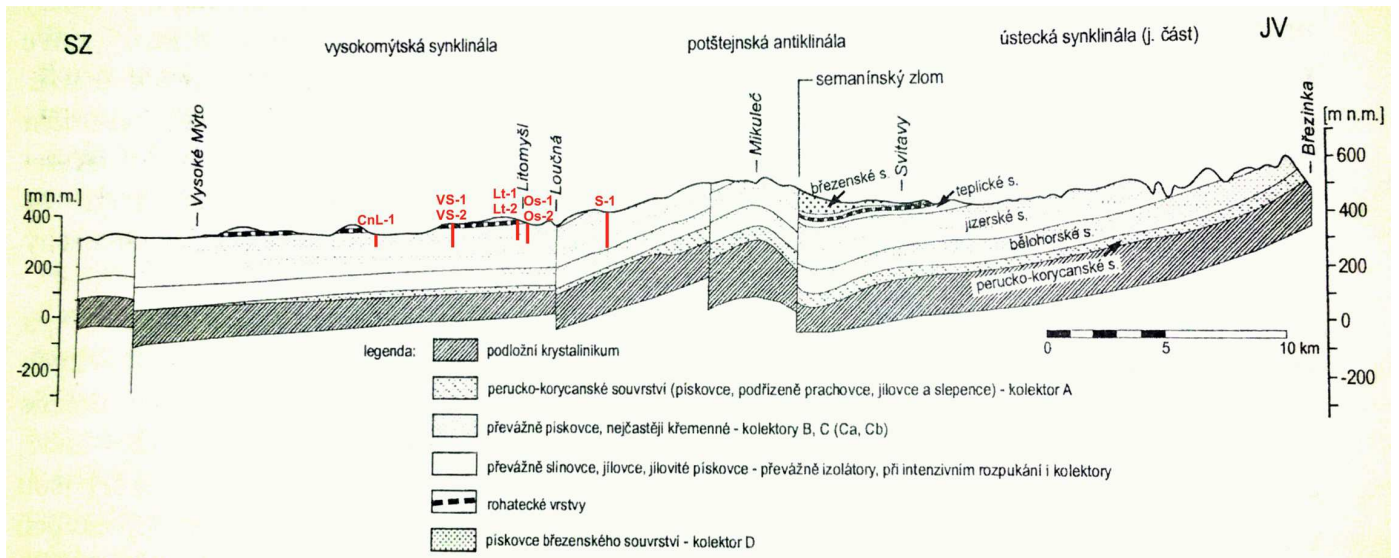
NAVTEQ Brno, s.r.o (2010): Mapa. — Dostupné na [www.mapy.cz](http://www.mapy.cz), 20. 8. 2014.

U.S. Geological Survey (2015): Excel for Hydrogeology. — Dostupné na [www.nevada.usgs.gov/tech/excelforhydrology](http://www.nevada.usgs.gov/tech/excelforhydrology), 29. 4. 2015.

### **13. Seznam příloh**

- 01 – Řez jižní částí ústecké a vysokomýtskou synklinálou
- 02 – Mapa odběrů vzorků vody Cerekvice nad Loučnou
- 03 – Mapa odběrů vzorků vody Litomyšl
- 04 – Mapa odběrů vzorků vody Osík
- 05 – Mapa odběrů vzorků vody Svitavy
- 06 – Mapa odběrů vzorků vody Vidlatá Seč
- 07 – Graf čerpací zkoušky CnL-1
- 08 – Graf čerpací zkoušky Lt-1
- 09 – Graf čerpací zkoušky Lt-2
- 10 – Graf čerpací zkoušky Os-1
- 11 – Graf čerpací zkoušky Os-2
- 12 – Graf čerpací zkoušky S-1
- 13 – Graf čerpací zkoušky VS-1
- 14 – Graf čerpací zkoušky VS-2
- 15 – Graf stoupací zkoušky CnL-1
- 16 – Graf stoupací zkoušky Lt-1
- 17 – Graf stoupací zkoušky Lt-2
- 18 – Graf stoupací zkoušky Os-1
- 19 – Graf stoupací zkoušky Os-2
- 20 – Graf stoupací zkoušky S-1
- 21 – Graf stoupací zkoušky VS-1
- 22 – Graf stoupací zkoušky VS-2





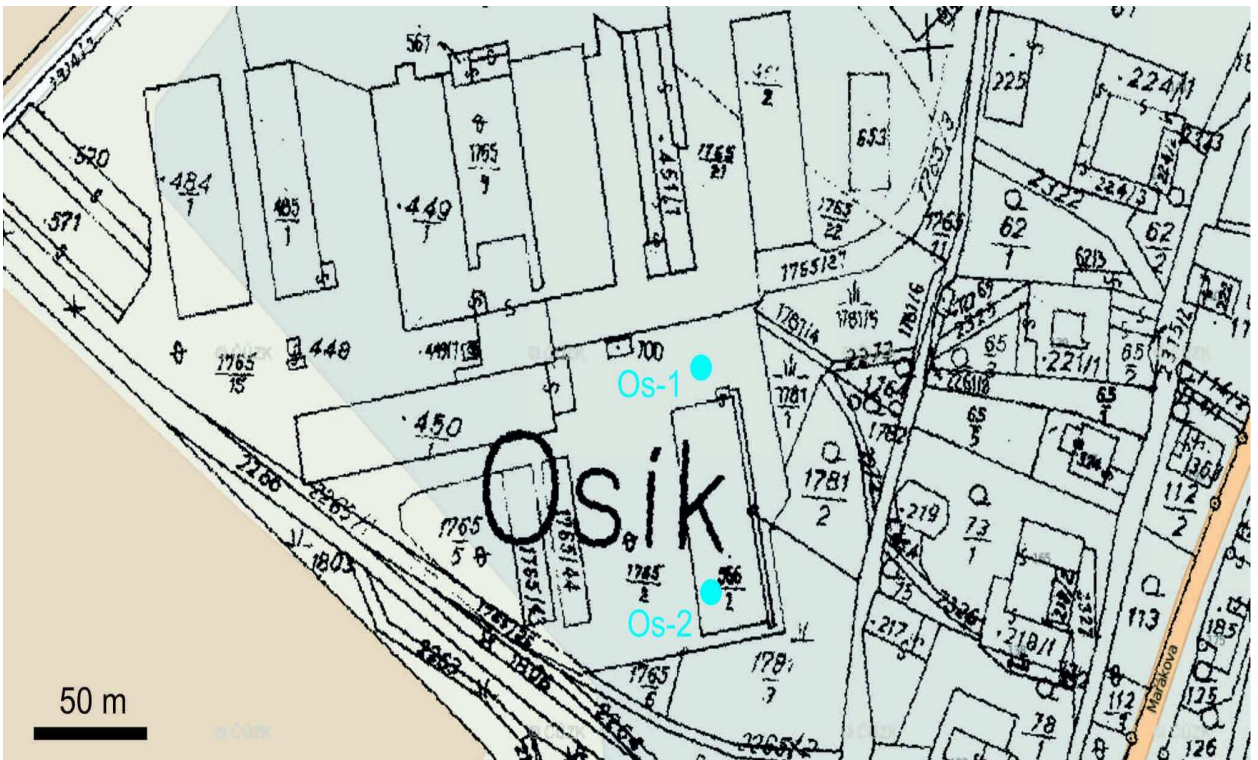
01 – Řez jižní částí ústecké a vysokomýtskou synklinálou (upraveno podle Herčík et. al., 1999)



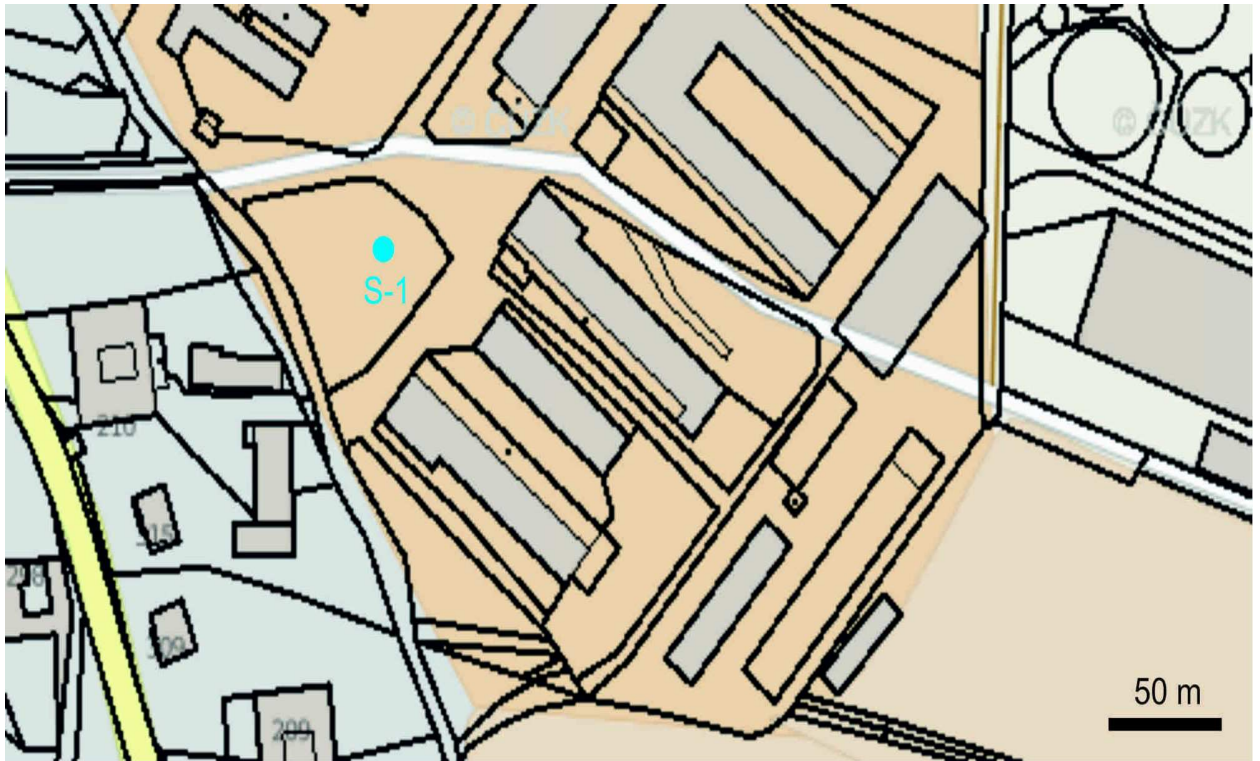
02 – Mapa odběrů vzorků vody Cerekvice nad Loučnou (ČÚZK, 2015)



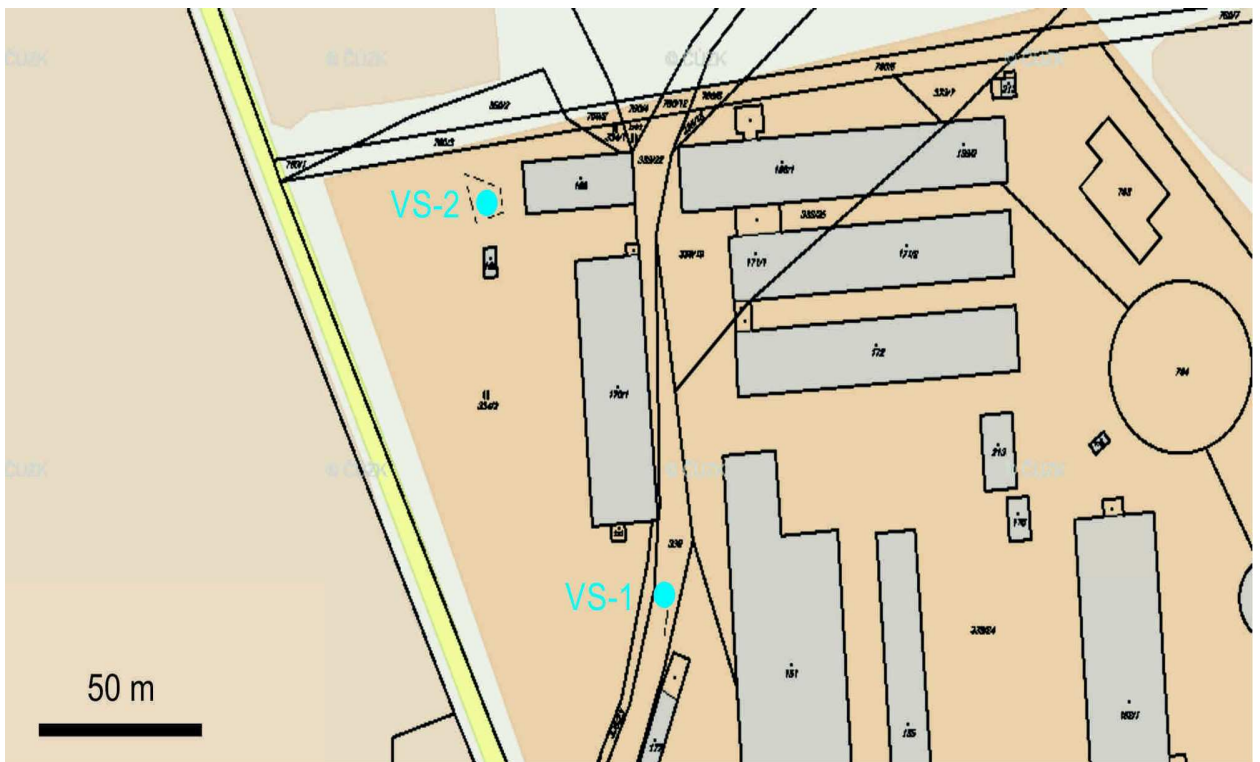
03 – Mapa odběrů vzorků vody Litomyšl (ČÚZK, 2015)



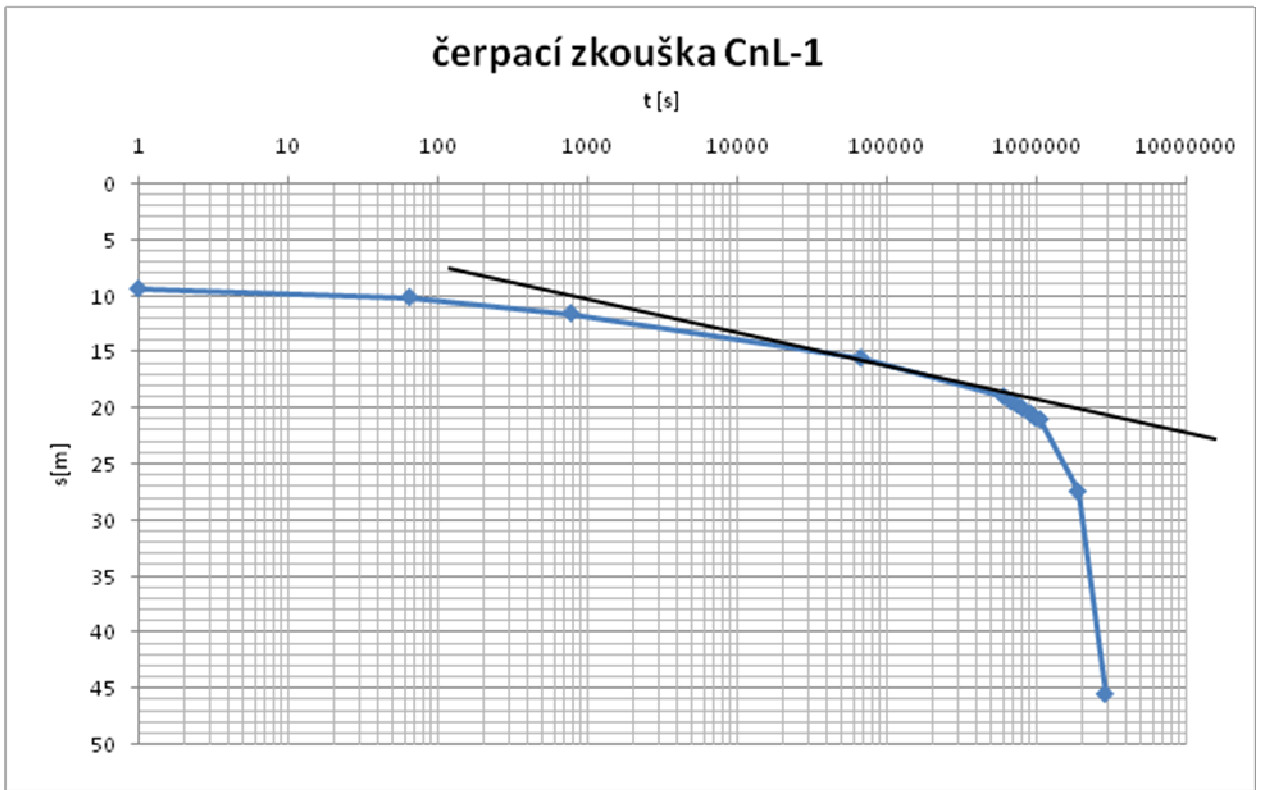
04 – Mapa odběrů vzorků vody Osík (ČÚZK, 2015)



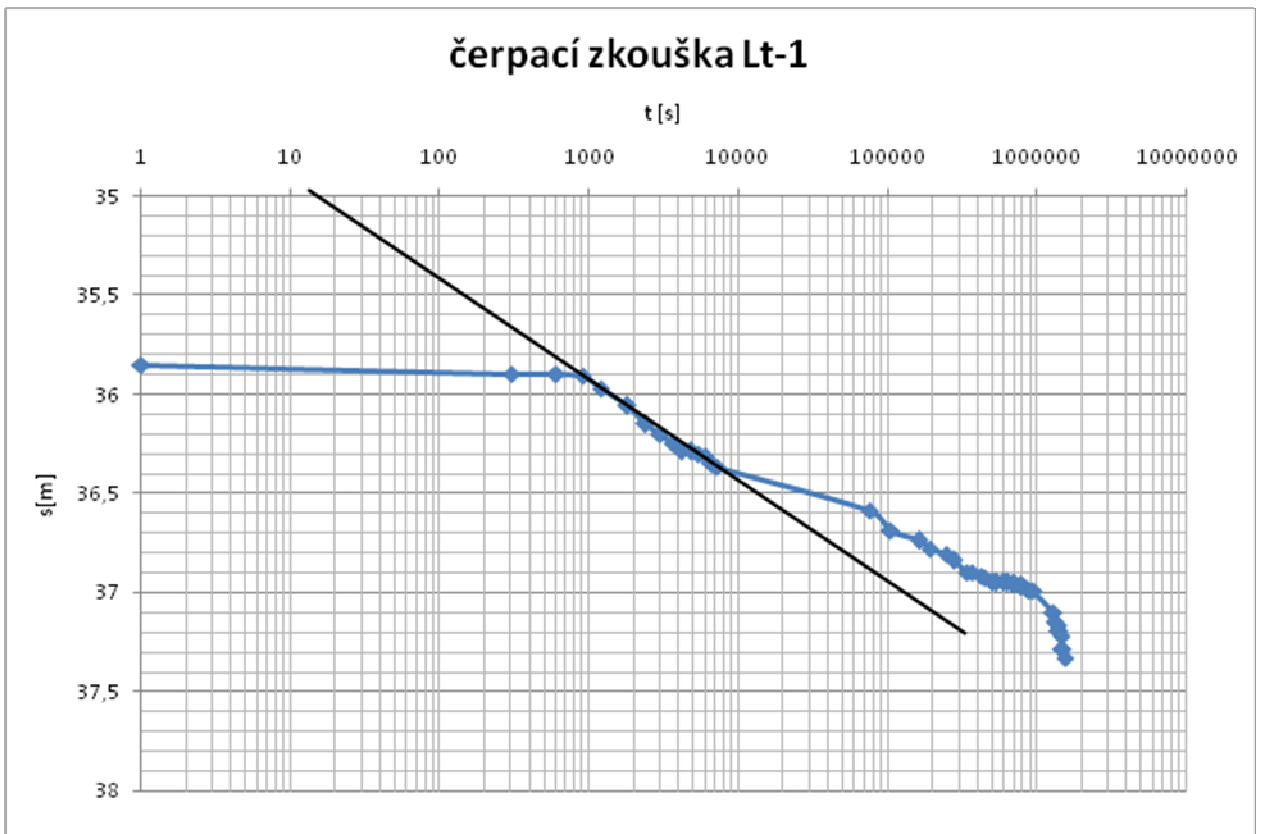
05 – Mapa odběrů vzorků vody Svitavy (ČÚZK, 2015)



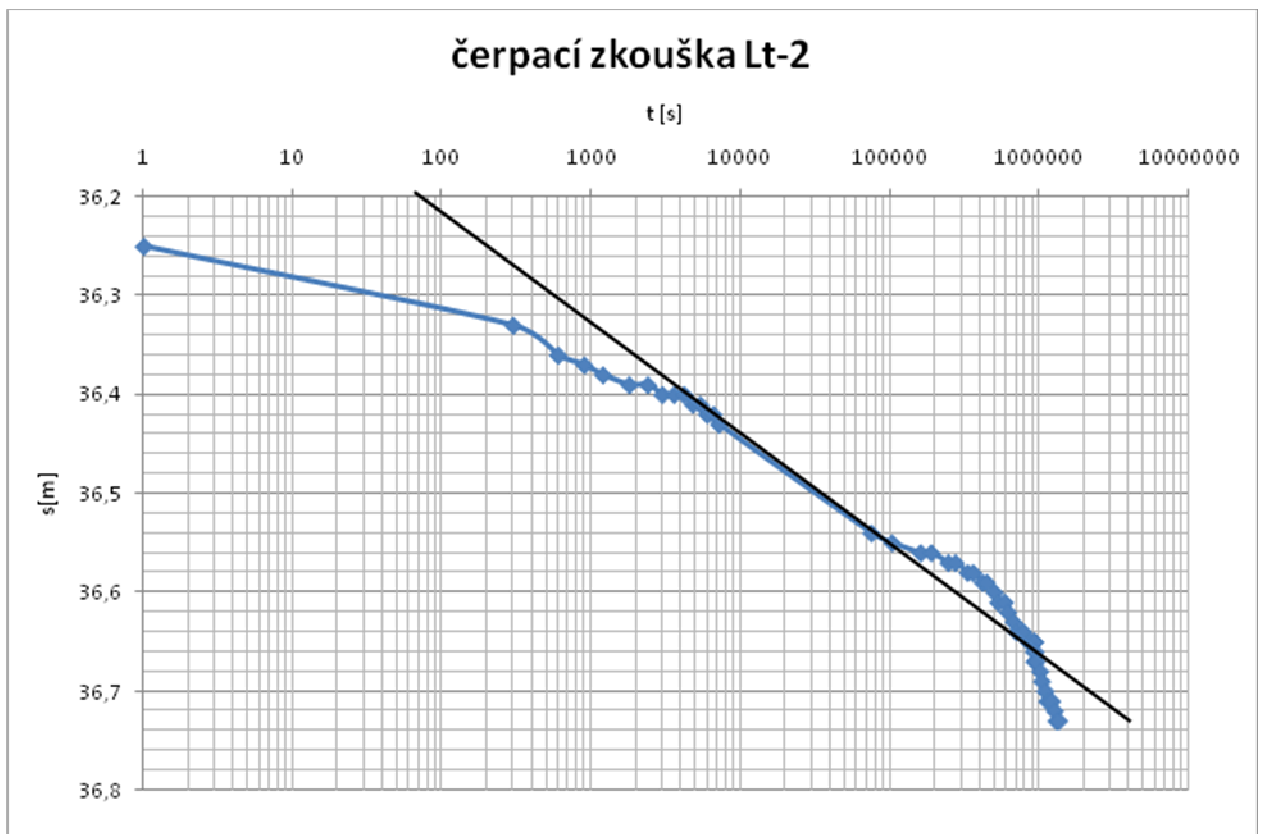
06 – Mapa odběrů vzorků vody Vidlatá Seč (ČÚZK, 2015)



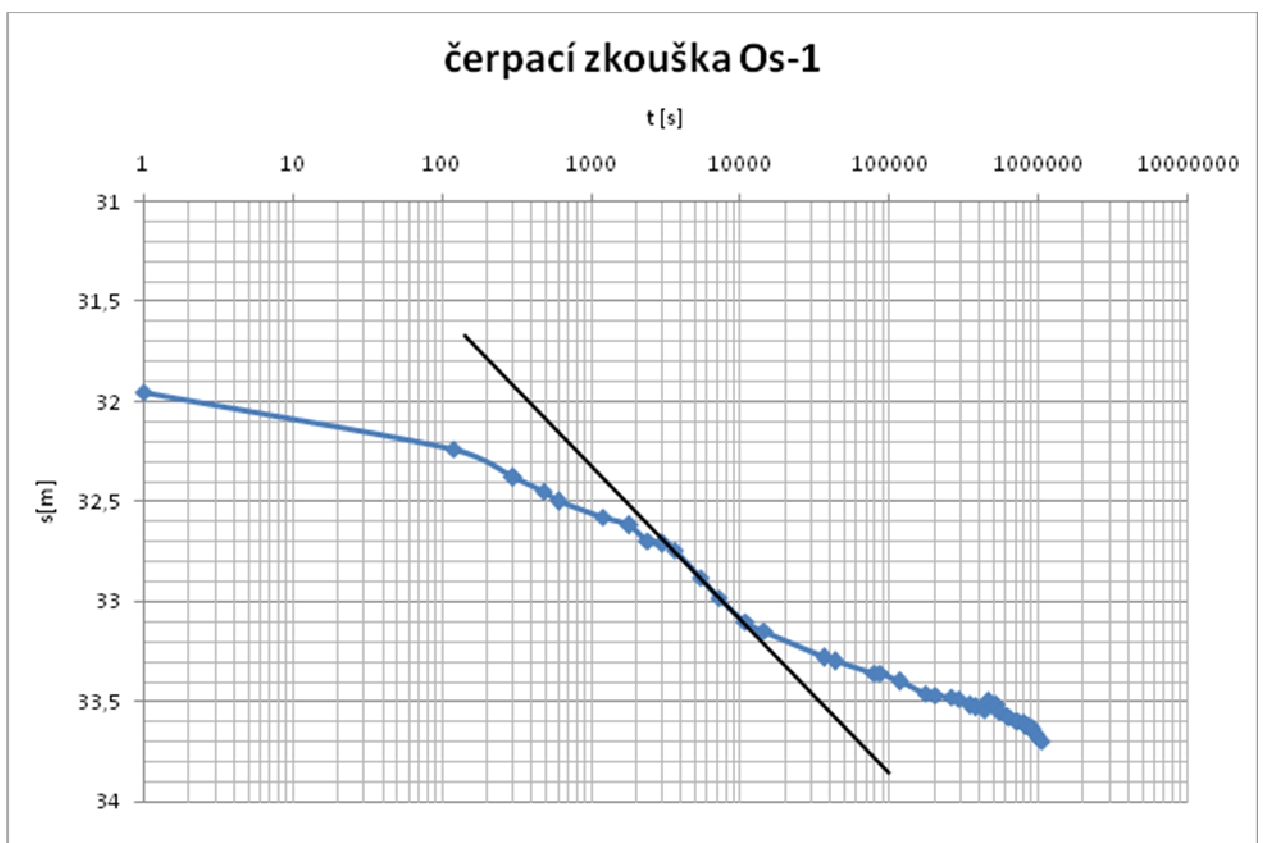
07 – Graf čerpací zkoušky CnL-1



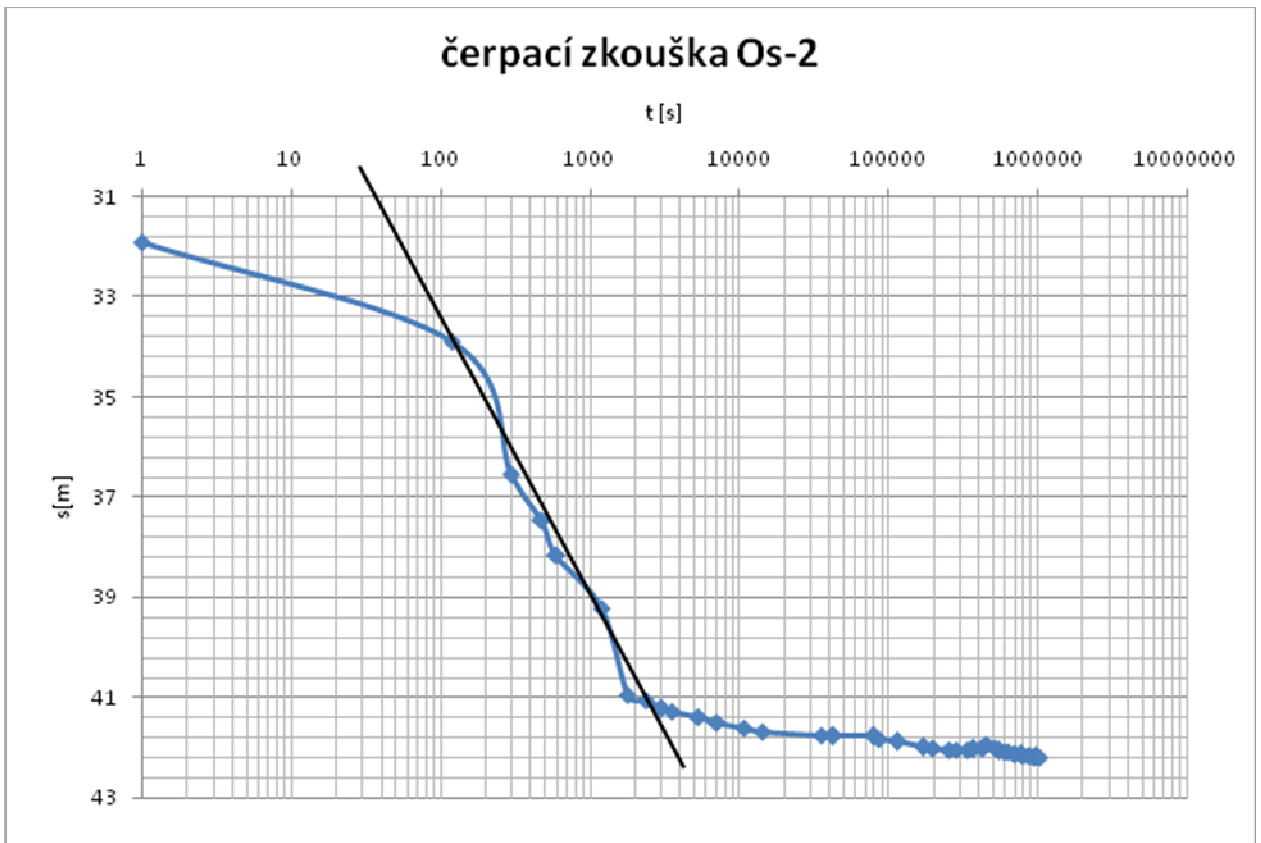
08 – Graf čerpací zkoušky Lt-1



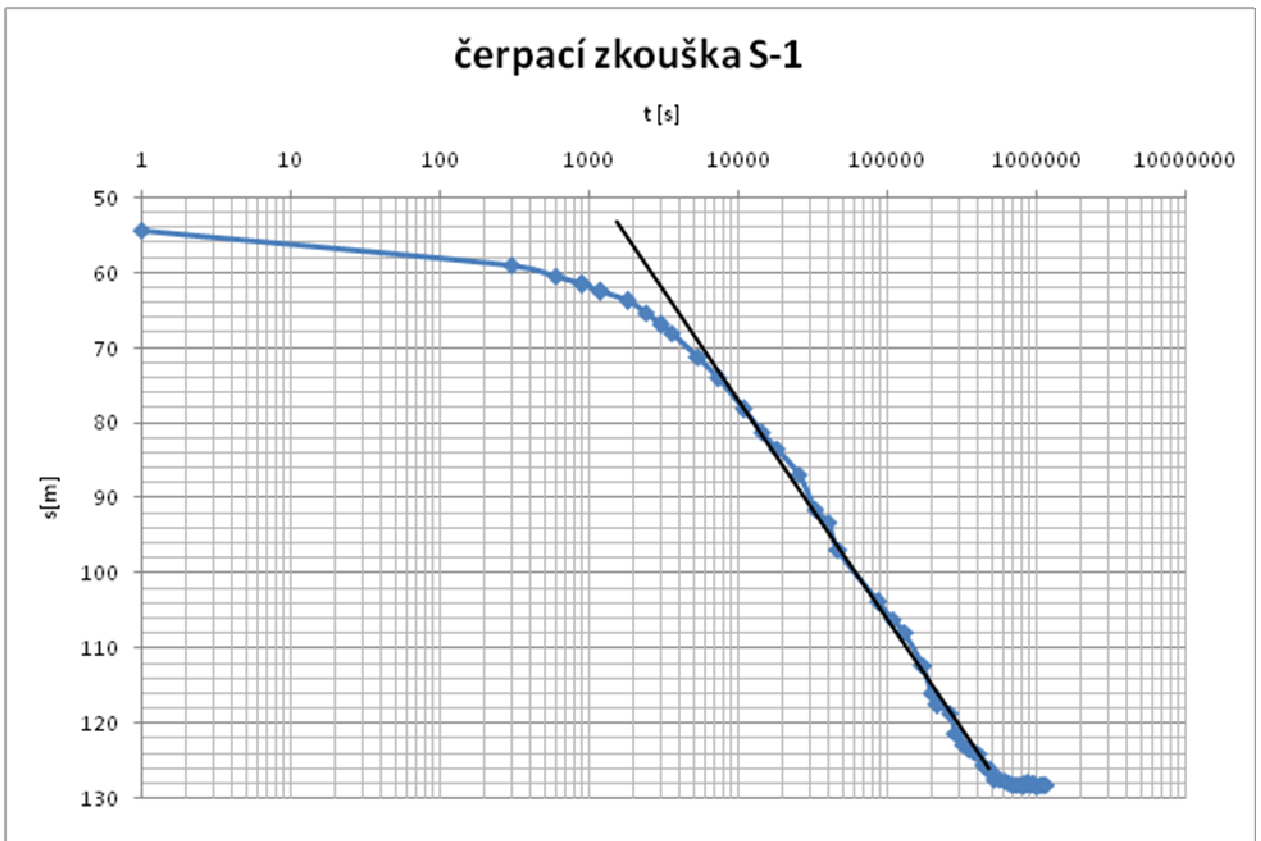
09 – Graf čerpací zkoušky Lt-2



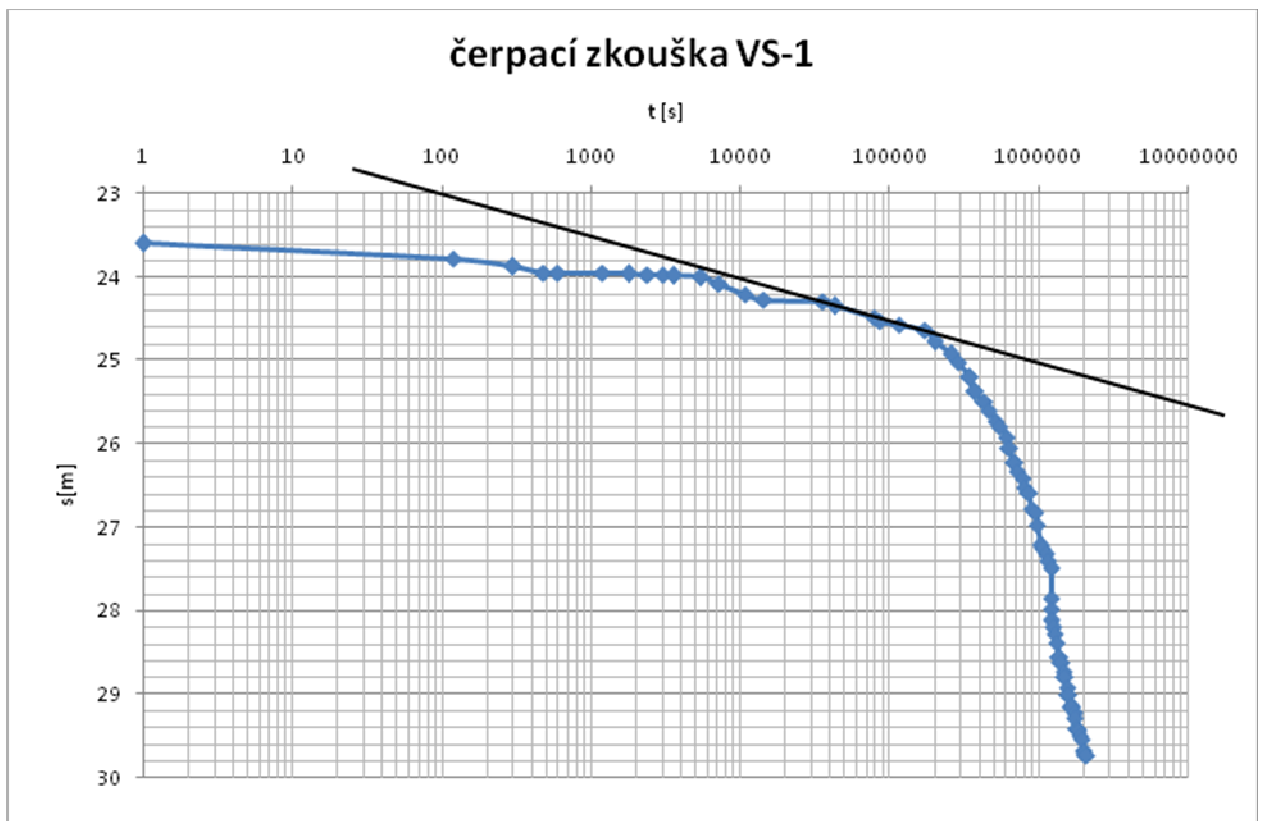
10 – Graf stoupací zkoušky Os-1



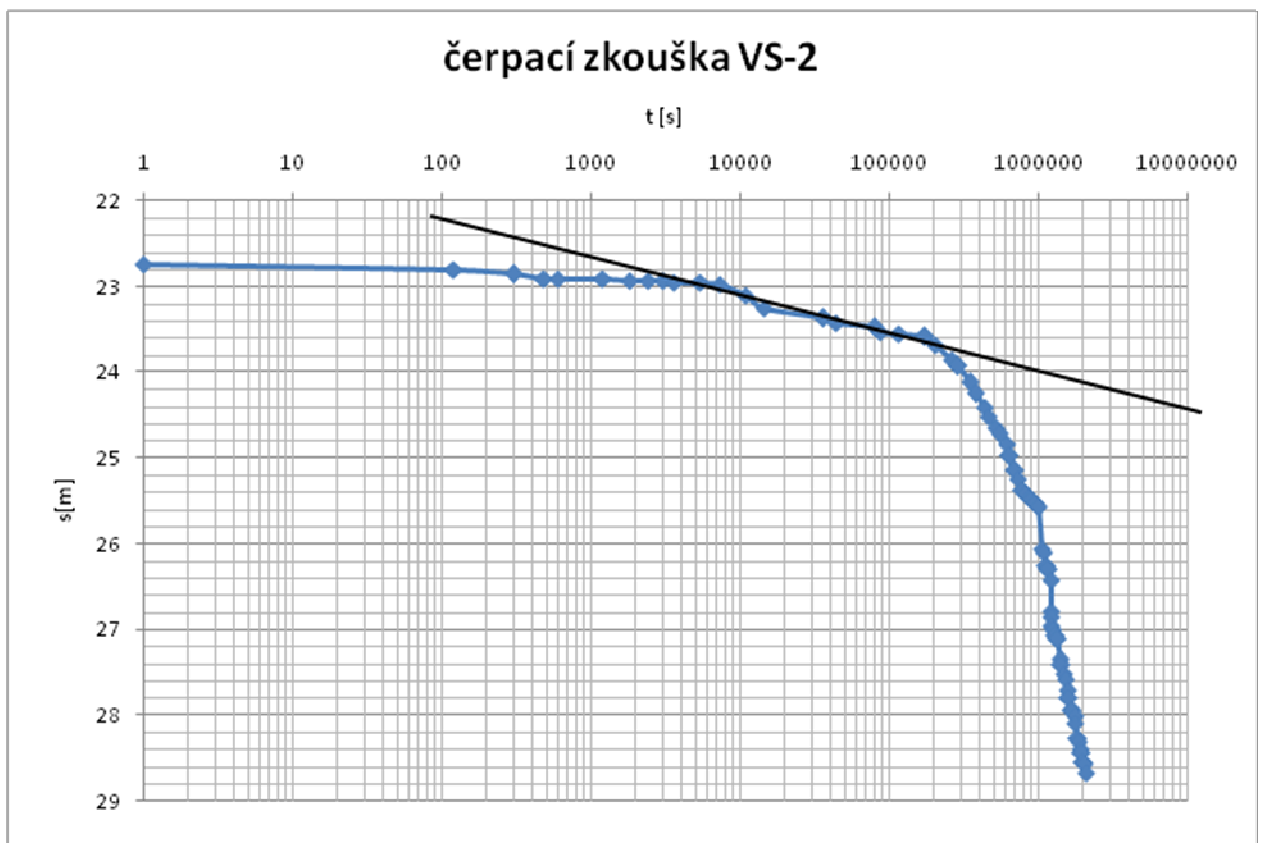
11 – Graf čerpací zkoušky Os-2



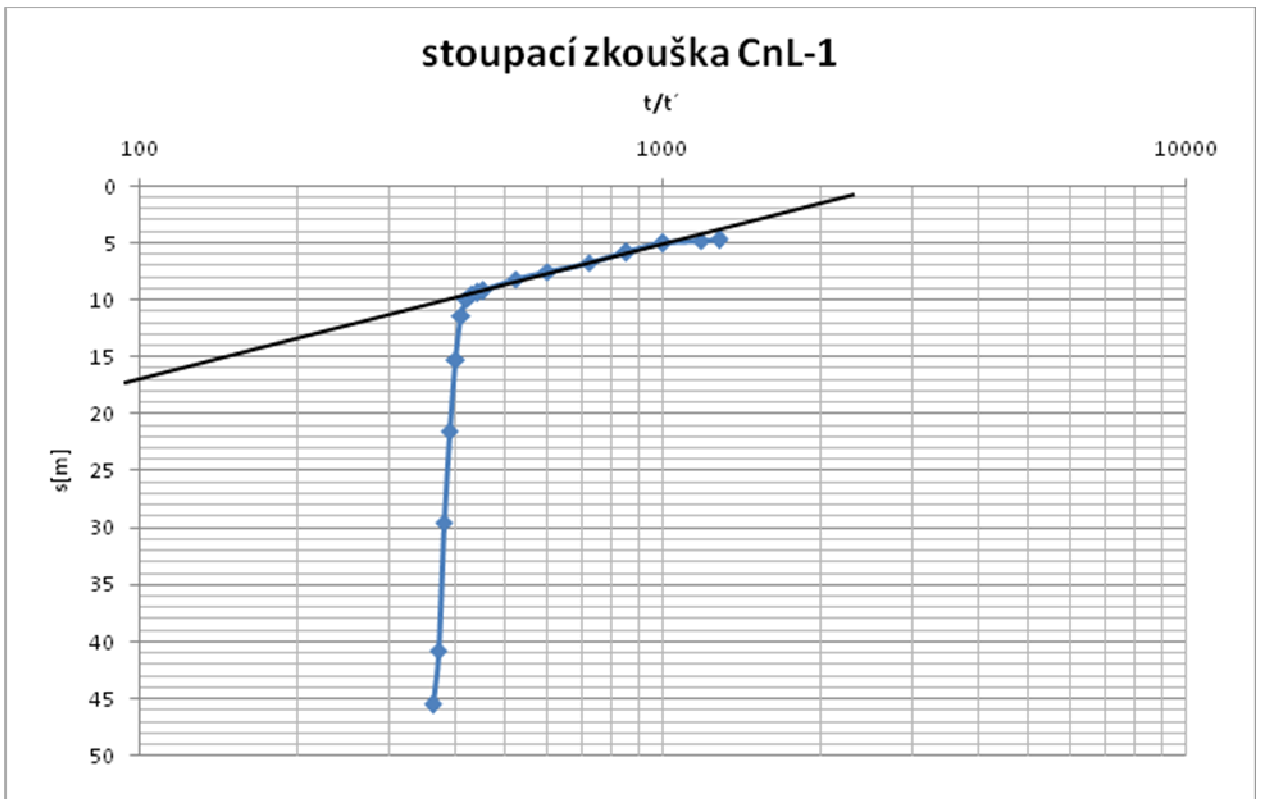
12 – Graf čerpací zkoušky S-1



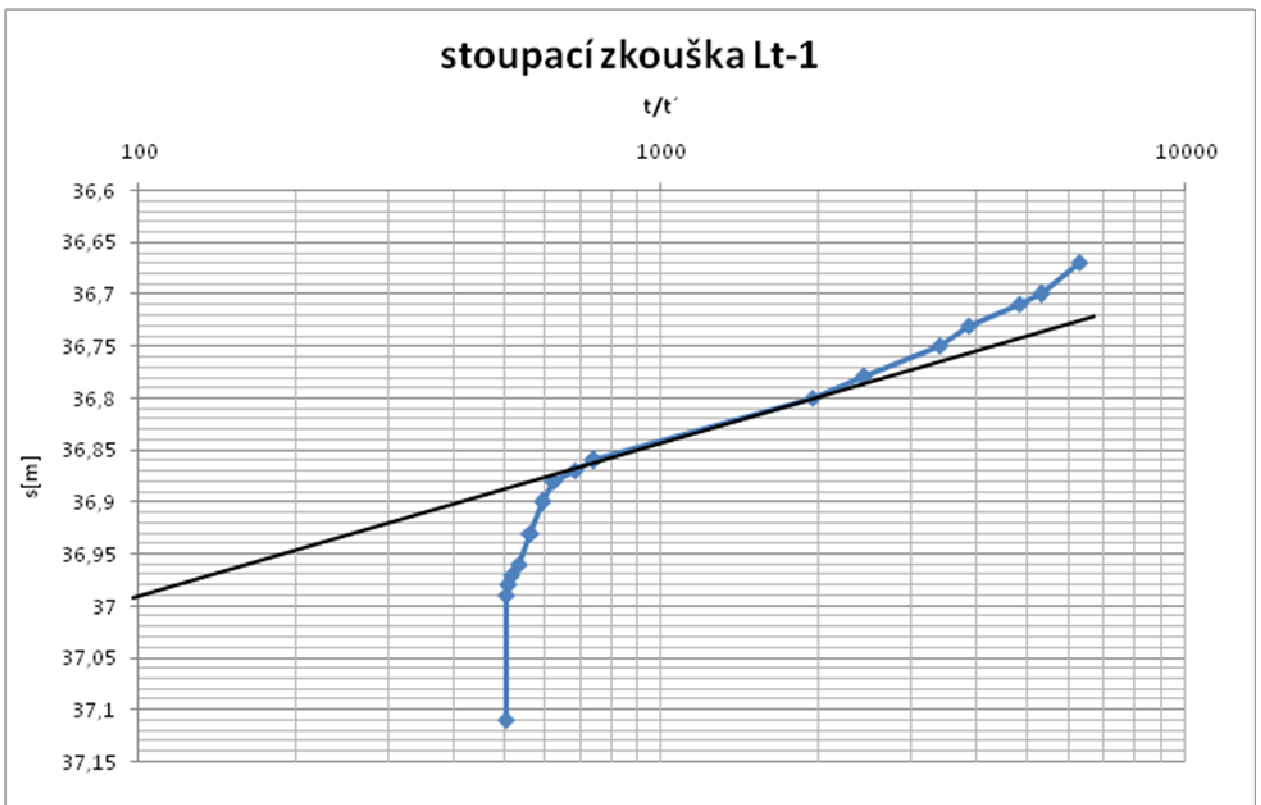
13 – Graf čerpací zkoušky VS-1



14 – Graf stoupací zkoušky VS-2

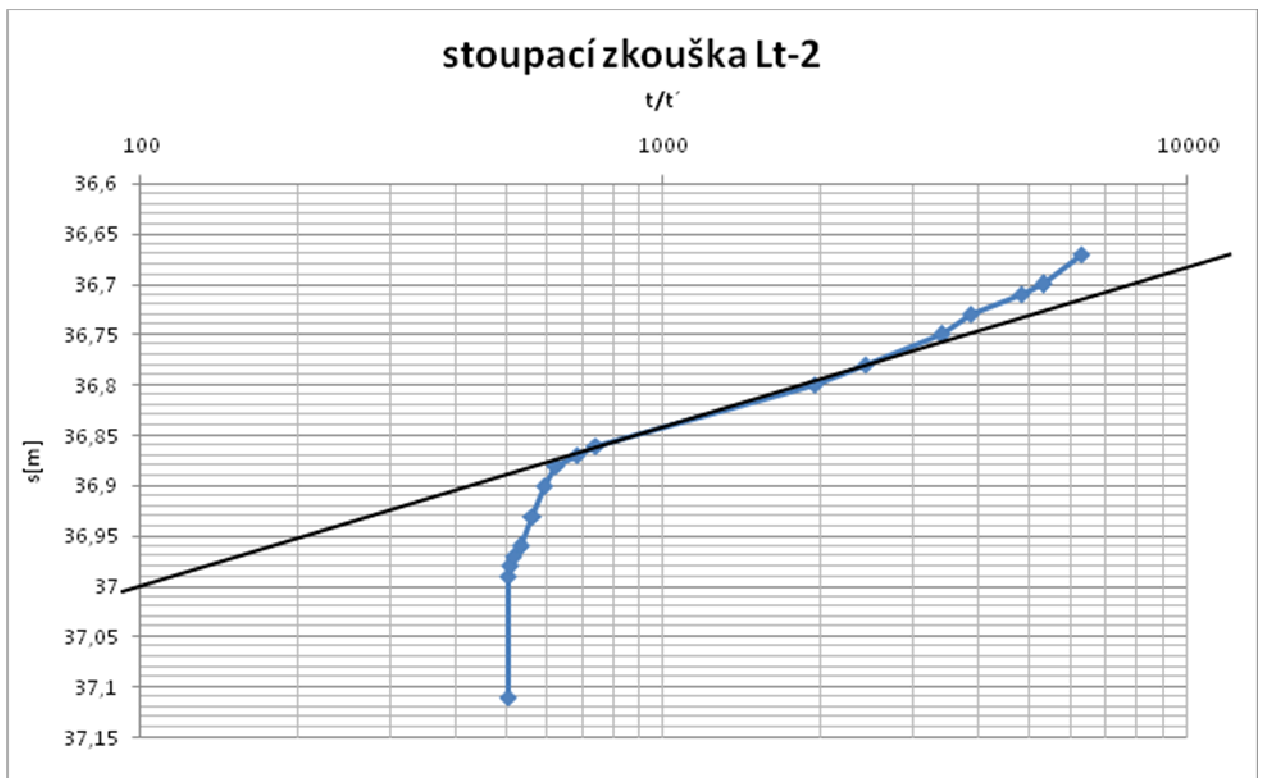


15 – Graf stoupací zkoušky CnL-1

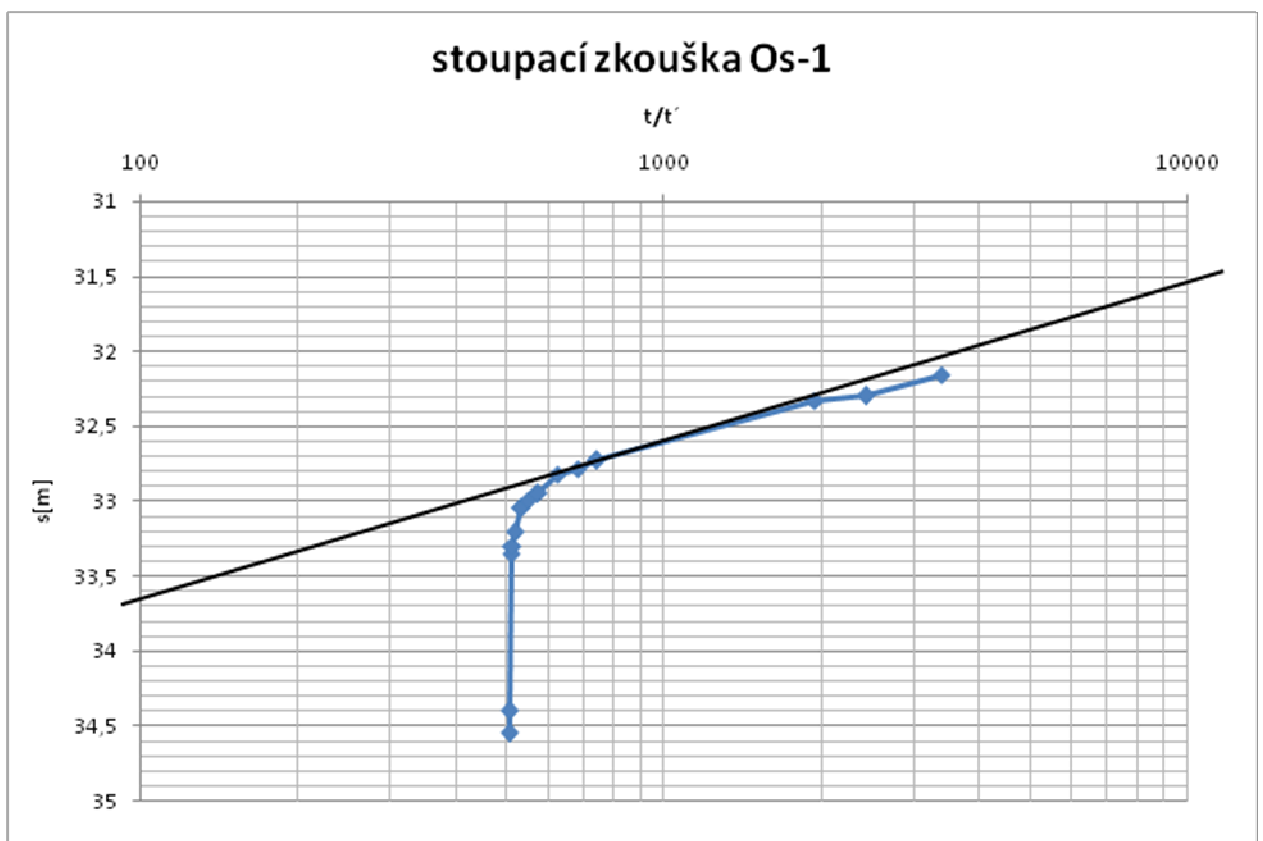


16 – Graf stoupací zkoušky Lt-1

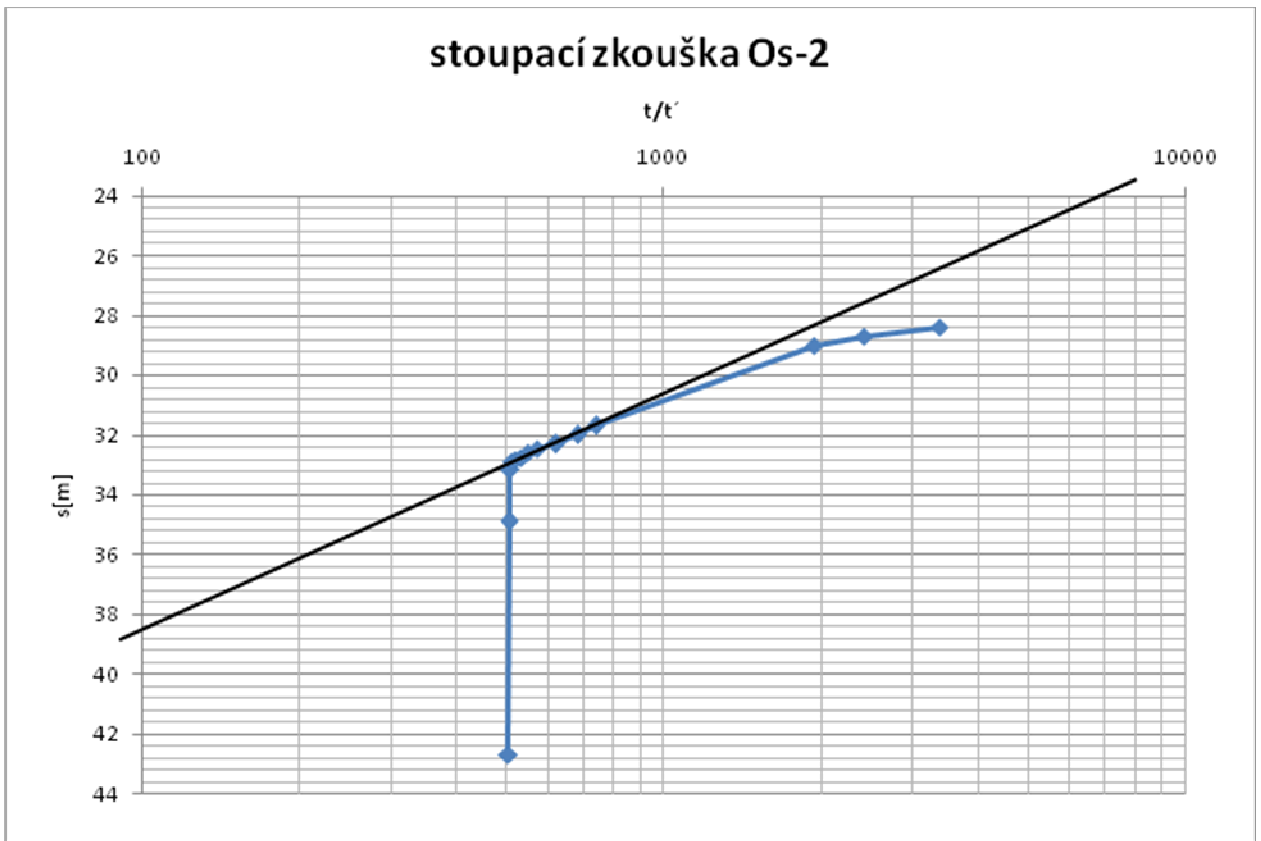




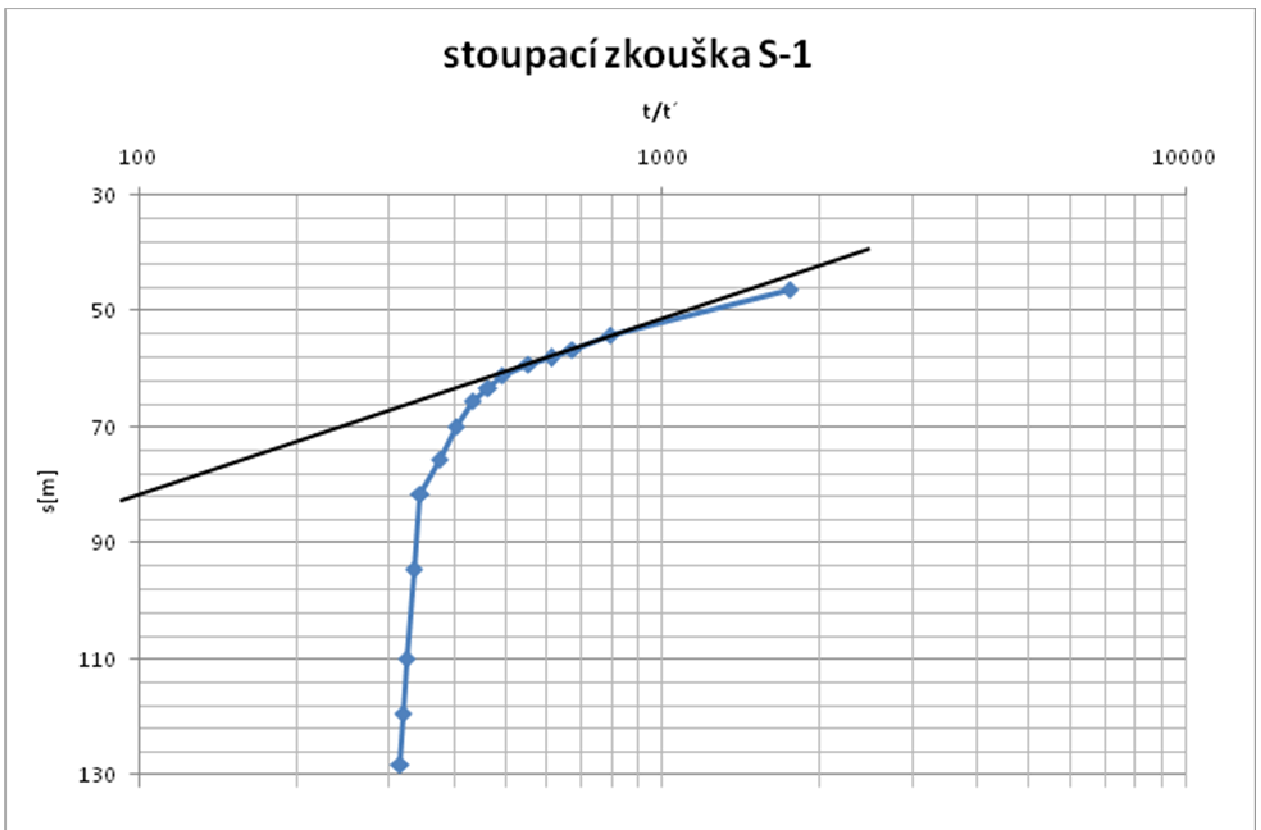
17 – Graf stoupací zkoušky Lt-2



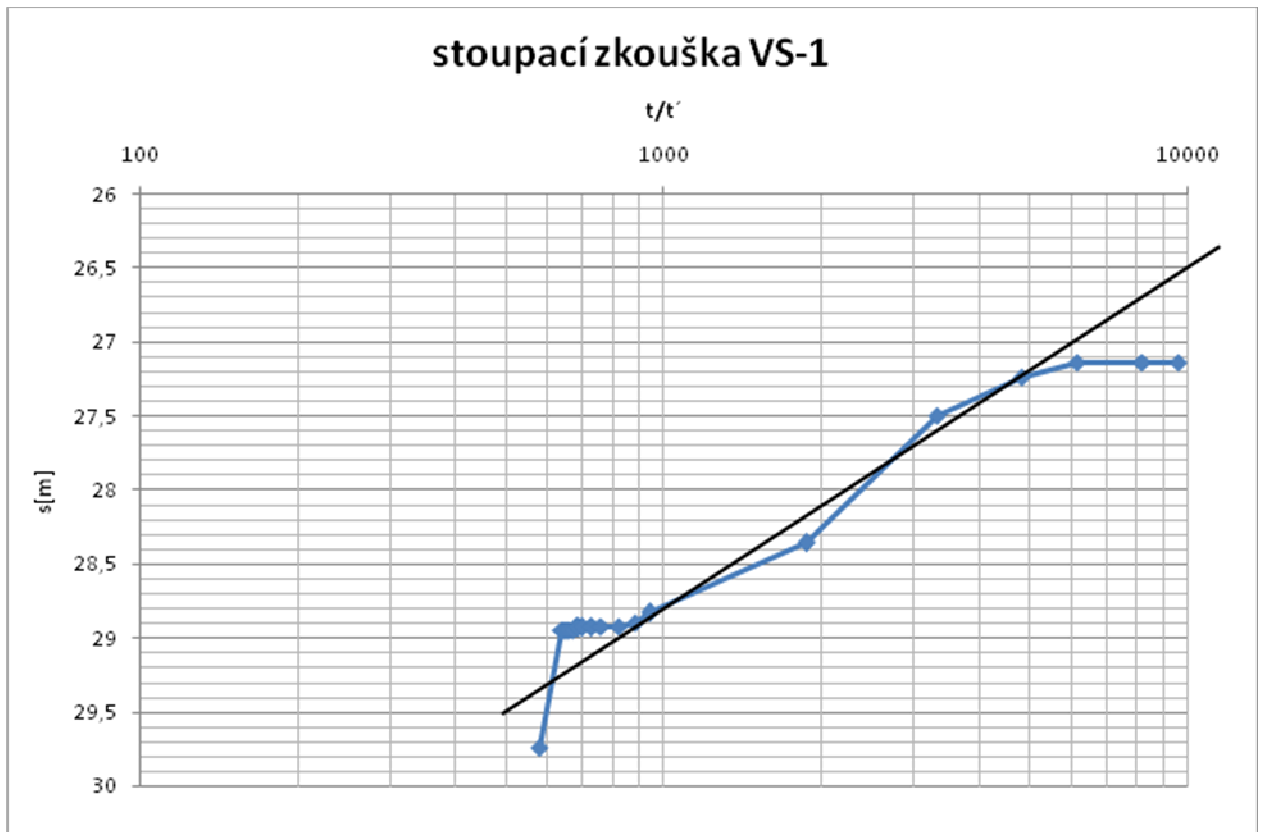
18 – Graf stoupací zkoušky Os-1



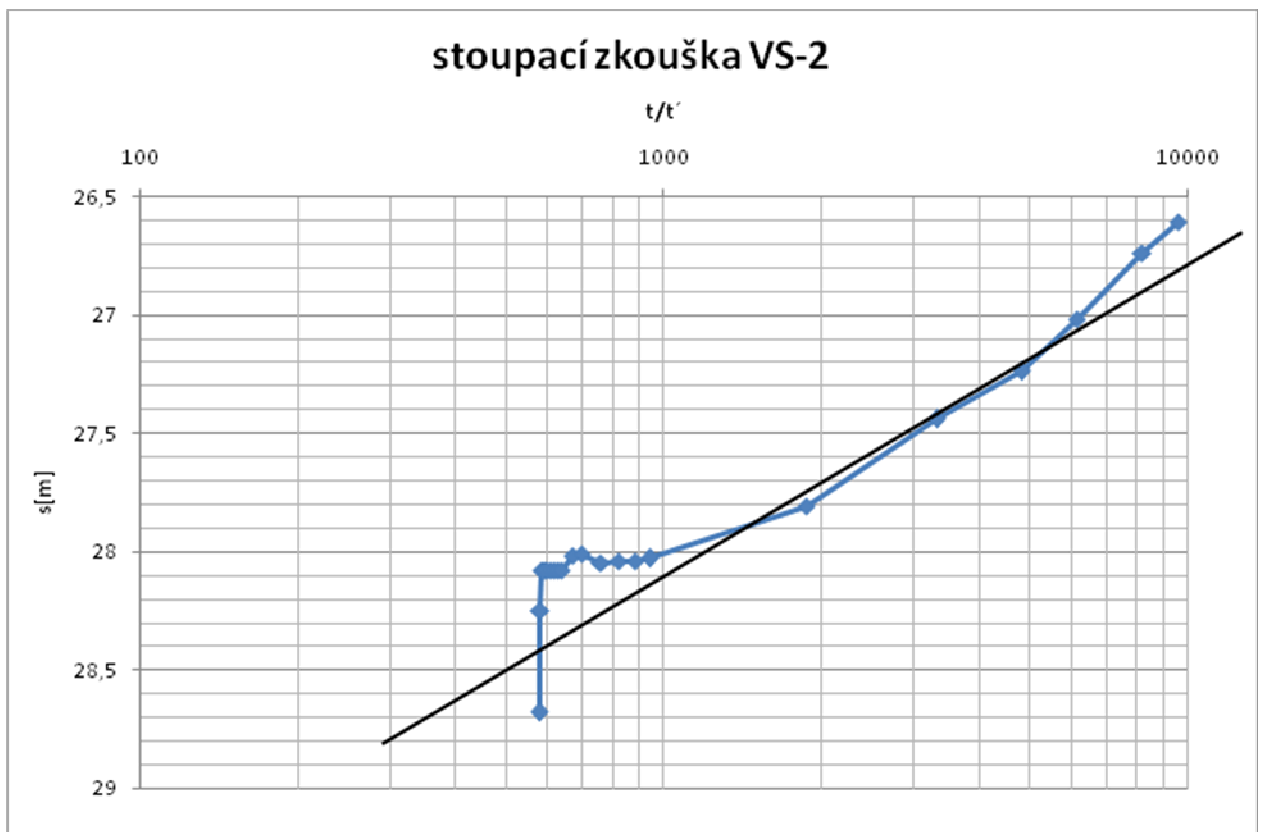
19 – Graf stoupací zkoušky Os-2



20 – Graf stoupací zkoušky S-1



21 – Graf stoupací zkoušky VS-1



22 – Graf stoupací zkoušky VS-2