

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



Režim a chemismus podzemních vod v širším okolí stavby metra A

Bakalářská práce

Jana Drábková

Vedoucí závěrečné práce/Školitel: RNDr. Jiří Bruthans, Ph.D.

Praha, 2012

Poděkování

Tímto chci poděkovat vedoucímu bakalářské práce panu RNDr. Jiřímu Bruthansovi, Ph. D. za pozornost, kterou věnoval mé práci a za jeho odborné rady při zpracování bakalářské práce. Dále chci poděkovat za data geomonitoringu a hydromonitoringu ze stavby Metra V.A, které mi laskavě poskytly společnosti Dopravní podnik hl. m. Prahy, akciová společnost a Inženýring dopravních staveb a.s. V neposlední řadě bych zde ráda poděkovala RNDr. Jindře Oberhelové, Mgr. Radku Klesnilovi a Mgr. Ondřejovi Jarošovi za podporu při zpracování mé práce.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracovala samostatně za použití zdrojů uvedených v seznamu literatury.

V Praze

Jana Drábková

Podpis.....

Obsah

1. Úvod.....	1
2. Charakteristika studované oblasti	1
2.1. Lokalizace oblasti.....	1
2.2. Klimatické poměry	1
2.3. Geologické a hydrogeologické poměry	3
2.3.1. Oblast Petřína	4
2.3.2. Oblast Břevnovského kláštera.....	5
3. Popis monitorovacích objektů	5
3.1. Štoly a prameny	6
3.1. Hydrogeologické monitorovací vrty.....	6
4. Využití environmentálních izotopů v hydrogeologii	7
4.1. Izotopové složení kyslíku a vodíku v meteorických vodách	9
4.2. Izotopové složení kyslíku a vodíku podzemních vod.....	10
4.3. Střední doba zdržení na základě $\delta^{18}\text{O}$	11
5. Metodika.....	11
5.1. Zdroj dat a přístroje využité při převzatých terénních pracích.....	11
5.2. Vlastní terénní práce.....	12
5.3. Zpracování dat	12
6. Základní statistické zhodnocení vydatností a fyzikálních veličin.....	14
6.1. Vydatnost objektů	14
6.2. Hodnoty pH	17
6.3. Konduktivita	17
6.4. Teplota.....	19
6.5. Výška hladiny v hydrogeologických vrtech	20
7. Vyhodnocení chemismu podzemních vod.....	22
7.1. Objekty v ordovické zvodni.....	22

7.2. Objekty v cenomanské zvodni	22
7.3. Objekty v kvartérní zvodni	23
7.4. Objekty z jiných oblastí.....	23
7.5. Index nasycení (SI) vůči vybraným minerálům.....	24
8. Interpretace záznamu o izotopovém složení vody	25
9. Závěr	29
10. Použité zdroje	30
PŘÍLOHY	32

Seznam obrázků a tabulek

Obr. 1: Průběh měsíčního úhrnu srážek na území Prahy za rok 2010, zdroj:www.portal.chmi.cz.....	2
Obr. 2: Průběh měsíčního úhrnu srážek na území Prahy za rok 2011, zdroj: www.portal.chmi.cz.....	2
Obr. 3: Ortofotomapa oblasti s polohou všech objektů v souřadnicích S- JTSK	5
Obr. 4: Průběh hodnot $\delta^{18}\text{O}$ a jeho závislost na teplotě (Appelo a Postma, 2005).....	10
Obr. 5: Graf vydatnosti Petřinských štol v závislosti na čase.....	15
Obr. 6: Graf vydatnosti štol hradního vodovodu v závislosti na čase.....	15
Obr. 7: Graf vydatnosti pramene Vojtěška (P1) a Brusnice (P7) v závislosti na čase.....	16
Obr. 8: Graf vydatnosti pramene Veleslavínka (P8) v závislosti na čase	16
Obr. 9: Průměrné hodnoty konduktivity v závislosti na průměrné vydatnosti objektu, s +/- směrodatnou odchylkou obou veličin. U objektů P8, P1 a HV5 není směrodatná odchylka vydatnosti zakreslena v grafu ($s < 0,15$)	18
Obr. 10: Časový průběh konduktivity u objektu P8, ve srovnání s vybranými objekty.....	19
Obr. 11: Průběh výšky hladiny ve vrtu HG4 za dané období.....	20
Obr. 12: Průběh výšky hladiny ve vrtu HG8 za dané období.....	21
Obr. 13: Průběh výšky hladiny u vrtu HG9 v daném období	21
Obr. 14: Průběh výšky hladiny u vrtu HG14 v daném období	21
Obr. 15: Průběh výšky hladin u vrtů HG10, HG11 a HG13 za dané období	22
Obr. 16: Závislost mezi $\delta^2\text{H}$ a $\delta^{18}\text{O}$ naměřených v terénu.....	26
Obr. 17: Hodnoty $\delta^{18}\text{O}$ u Petřinských štol a pramenů v čase.....	26

Obr. 18: Hodnoty $\delta^{18}\text{O}$ u Petřínských štol a pramenů v čase.....	27
Obr. 19: Hodnoty $\delta^{18}\text{O}$ Brusnice (P7) v čase ve srovnání s vybranými objekty	27
Tabulka 1: Základní popis monitorovacích objektů (štol, prameny a potok Brusnice)	6
Tabulka 2: Základní popis vrtů.....	6
Tabulka 3: Nejdůležitější environmentální izotopy a jejich mezinárodně uznané standardy (Appelo a Postma, 2005).....	8
Tabulka 4: Shrnutí základní statistiky k hodnotám vydatnosti, pro výpočet variačního koeficientu C_v byla použita data z hydrologického roku 1.11.2010 – 31.10.2011, / ... rozděluje dva statistické údaje za daného období v kap. 6.1 vysvětleno.....	14
Tabulka 5: Průměrné, maximální a minimální hodnoty pH, s- směrodatná odchylka hodnot, míra variability spočítaná ze směrodatné odchylky dělené průměrnou hodnotou a korelační koeficient mezi veličinami pH a vydatností.....	17
Tabulka 6: Průměrné, maximální a minimální hodnoty konduktivity, s - směrodatná odchylka hodnot, míra variability spočítaná ze směrodatné odchylky dělené průměrnou hodnotou, korelační koeficient spočítán mezi konduktivitou a vydatností	17
Tabulka 7: Průměrné, maximální a minimální hodnoty teploty, s- směrodatná odchylka hodnot, míra variability vypočtená ze směrodatné odchylky vydělené průměrnou hodnotou a korelační koeficient mezi teplotou a vydatností.....	19
Tabulka 8: Průměrné, maximální a minimální hodnoty výšky hladiny v hydrogeologických vrtech ...	20
Tabulka 9: Míra nasycení vody vzhledem k vybraným minerálům. + ... voda z daného objektu je přesycena vzhledem k danému minerálu ($SI > +0,3$); - ... voda z daného objektu je nenasycená ($SI < -0,3$); 0... vody je v rovnováze s minerálem (SI je $-0,3$ až $+0,3$). Kombinace znaků +/-, +/-0 nebo +/-0/- ukazují, že pro stejný objekt vykazovaly jednotlivé analýzy různé hodnoty SI	24
Tabulka 10: Hodnoty $\delta^{18}\text{O}$ všech objektů v čase.....	25
Tabulka 11: Vypočtená amplituda hodnot $\delta^{18}\text{O}$ a přibližný odhad střední doby zdržení dle vzorce (6)	28

1. Úvod

V létě 2010 jsem brigádně pracovala ve firmě Geotest a.s., která provádí terénní monitoring podzemních vod okolo stavby metra A ze stanice Dejvická do stanice Motol. Dohodou mi posléze firma poskytla naměřená data z monitorovacího období 21.4.2010 – 31.8.2011. Monitorovacími objekty jsou štol, prameny a hydrogeologické vrty. U štol a pramenů byla pravidelně měřena vydatnost, konduktivita, pH a teplota vody. U hydrogeologických vrtů byla pravidelně snímána výška hladiny vody. Za dané období byly u každého monitorovacího objektu provedeny tři chemické rozboru vody (duben 2010, 2011 a září 2011).

Cílem mé práce bylo zpracovat a vyhodnotit naměřená data. K tomu neodmyslitelně patří stručná rešerše o oblasti, ve které metro prochází, a popis vybraných monitorovacích objektů. Ve své práci zpracovávám naměřená data a následně vyhodnocuji jejich časových průběh a základní statistické ukazatele dané fyzikální veličiny. Chemické analýzy vyhodnocuji s ohledem na zveřejněné, ze které voda pochází a porovnávám je s objekty z jiných oblastí.

Dále jsem v období od 1.2.2012 do 6.6. 2012 odebírala z vybraných objektů vzorky pro zjištění izotopového složení kyslíku a vodíku v molekulách vody za účelem odhadu střední doby zdržení ve zvodni. Pro tyto účely jsem vypracovala stručnou rešerši o využití izotopů O a H v hydrogeologii, která se hlavně zaměřuje na použití $\delta^{18}\text{O}$ k určení střední doby zdržení.

2. Charakteristika studované oblasti

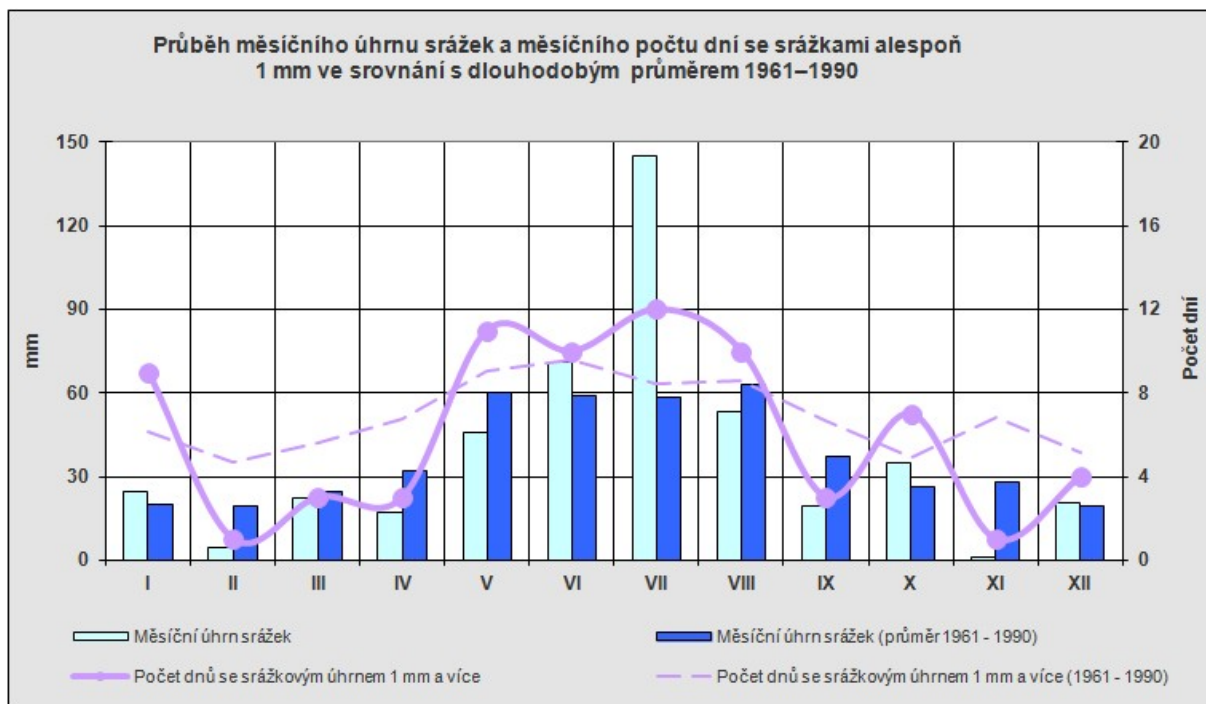
2.1. Lokalizace oblasti

Objekty monitoringu podzemních vod v okolí rozestavěné trasy metra A se nacházejí v severozápadní části Prahy. Většinu objektů se nachází v katastrální oblasti Prahy 1 a 6 (Dejvice, Veleslavín, Liboc, Břevnov, Červený vrch, Petřín, Vypich). Oblast je převážně zastavěná obytnými domy, rodinnými domy se zahradami a místními komunikacemi. Větší plochy lesních a travnatých porostů najdeme v obci Veleslavín a Vypich (obora Hvězda, les v okolí Libockého rybníka). Další významné zelené plochy v oblasti jsou parky a zahrady v okolí Strahovského a Břevnovského kláštera a Petřína.

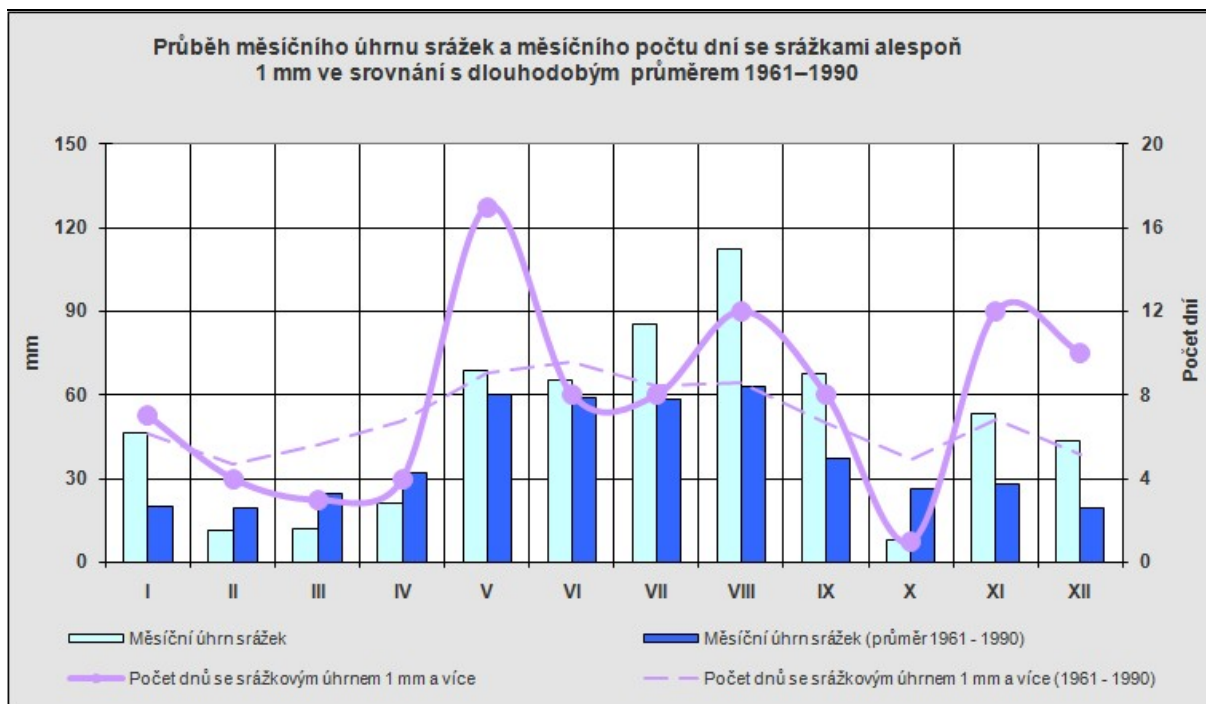
2.2. Klimatické poměry

Dle Quitta (1971) oblast spadá do teplé klimatické oblasti T2. Pro oblast jsou charakteristická dlouhá a suchá léta, teplá až mírně teplá krátká období jara a podzimu a mírně teplé, suché zimy, s krátkým trváním sněhové pokrývky. Nejteplejším měsícem je červenec (průměrná teplota 18 až 19°C), nejchladnějším měsícem je leden (průměrná teplota -2 až -3 °C) (Quitt, 1971).

Obr. 1 a 2 popisují průběh měsíčních úhrnů srážek na území Prahy v letech 2010 a 2011, naměřené ve stanici Praha - Klárovo. Za monitorovací období (21.4.2010 – 31.8.2011) byly nejvyšší srážky v jarních a letních měsících, kdy měsíční úhrn srážek dosahoval okolo 60 mm. S největším počtem dnů se srážkovým úhrnem nad 1 mm je měsíc duben 2011, srpen 2011 a červenec 2010.



Obr. 1: Průběh měsíčního úhrnu srážek na území Prahy za rok 2010, zdroj: www.portal.chmi.cz



Obr. 2: Průběh měsíčního úhrnu srážek na území Prahy za rok 2011, zdroj: www.portal.chmi.cz

2.3. Geologické a hydrogeologické poměry

Trasa metra je vedena severozápadním křídle pražské pánve. Skalní podklad oblasti tvoří horniny ordoviku zejména břidlice (souvrvství dobrotivské, šárecké a bohdalecké) (Kunovjánek a Říha, 2010). Šárecké vrstvy jsou reprezentovány prachovitými a jemně slídnatými břidlicemi (Chlupáč et. al., 2002). Dobrotivské souvrství má dvě hlavní facie – písčitou a břidličnou. V oblasti Červeného vrchu bude procházet trasa metra pruhem skaleckých křemenců (Kunovjánek a Říha, 2010). Jedná se o písčitou facii dobrotivských vrstev, které vznikaly po regresi mělkého vodního prostředí (Chlupáč, et. al., 2002). Ordovické sedimenty jsou uloženy ve směru vsv-zjz s úklonem k jihu, stavba ordoviku je porušena příčnými zlomy (Kunovjánek a Říha, 2010). V nadloží ordovických hornin jsou svrchnokřídové horniny (cenoman, turon). Na bázi cenomanských hornin vystupují jílovce a uhelné jílovce. Jedná se o perucké vrstvy vzniklé ještě před mořskou transgresí v sladkovodním prostředí (Chlupáč, 1988), nad kterými v nadloží najdeme sled korycanských pískovců. V oblasti jsou četné výchozy korycanských pískovců, jejich upravené profily uvádí Ziegler (1994). V horních polohách profilů se vyskytuje kaolinitický pískovec s glaukonitem, který je typický nazelenalou barvou. Výskyt glaukonitu dokazuje sedimentaci v mořském prostředí (Chlupáč, 1988). V místech elevací jsou nad cenomanem horniny bělohorského souvrství. Sedimenty bělohorského souvrství byly při výkopech zjištěny v šedesátých letech i na Větrníku a Červeném vrchu (Ziegler, 1994). Kvartér je v oblasti u Vítězného náměstí tvořen štěrkovými a písčitými fluviálními sedimenty, krytými mocnou polohou spraše a sprašových hlín. Dále se v oblasti vyskytují deluviální a fluviodeluviální polohy jílovitých sedimentů s vloženými písčitými polohami. Nejsvrchnější část profilu je tvořena navázkou (Kunovjánek a Říha, 2010).

Skalní ordovický podklad z hydrogeologického hlediska v oblasti tvoří puklinovou zvědeň v připovrchové zóně a v nadložní zvětralinové zóně (Kunovjánek a Říha, 2010). Ordovické břidlice jsou v neporušeném a nezvětralém stavu málo propustné. Ve větších hloubkách lze předpokládat oběh podzemní vody pouze po výraznějších tektonických liniích (Kovanda et. al., 2001). Polohy křemenců pro malý rozsah se chovají podobně jako okolní břidlice (Kunovjánek a Říha, 2010). Cenomanské pískovce jsou nejvýznamnějším vodohospodářským horizontem oblasti, jedná se o kolektor s puklino-průlinovou porozitou (Kunovjánek a Říha, 2010). Zvědeň vznikla nad nepropustnou vrstvou peruckých lupků, místně může být vyvinuta i bazální zvědeň nad ordovickým podkladem, jestliže pod peruckými lupky je poloha pískovců a slepenců. Vyšší zvědeň vzniká lokálně na bázi bělohorského souvrství v opukách (Záruba, 1948). Hladina vody je zde volná. Mocnost cenomanské zvědeň roste od Vypichu k S a SSV (Kunovjánek a Říha, 2010). Jak už je výše řečeno, kvartér je v oblasti tvořen dvěma podobnými typy. U obou typů poloh o průlinové zvonění s volnou, či s mírně napjatou hladinou (Kunovjánek a Říha, 2010).

Z hydrogeologického hlediska jsem vyčlenila dvě oblasti, které jsou významné: oblast Petřina a oblast Břevnovského kláštera.

2.3.1. Oblast Petřína

Petřín je známým vrchem Prahy s nadmořskou výškou 324 m.n.m. Petřín patří k východnímu výběžku bělohorské tabulové plošiny. Vrch tvoří komplex křídových sedimentů na skalním ordovickém podloží (Ziegler, 1994). Skalní ordovický podklad je tvořen psamito-pelitickými břidlicemi, které jsou zvrásněné a denudované mořskou transgresí. Skalní podklad, který se nachází až ve výšce 297 m.n.m., se mírně uklání východním a severovýchodním směrem do oblasti Nebozízku (Řepka, 1987). Na ordovik nasedá cenomanská sedimentace, zde je zastoupena staršími peruckými vrstvami a mladšími korycanskými vrstvami. Perucké vrstvy (sladkovodní sedimentace) jsou tvořeny rezavě žlutým a šedým pískovcem, ve vyšších polohách předcházejí do černých, slídnatých jílovců s hojnými uhelnými sloji. Navazující korycanské vrstvy jsou tvořeny pískovcem. Jedná se o pískovec kaolinitický až limonitický, s velmi častým obsahem glaukonitu, který směrem nahoru přibývá (Ziegler, 1994). Sedimentace je zde ukončena bělohorským souvrstvím – tzv. opukami (jemné křemičité vápenité písčité prachovce) (Řepka, 1987), které jsou nejmladším zachovalým sedimentem (Chlupáč, 1988).

Dle Řepky (1987) lze z hydrogeologického hlediska odlišit na Petříně 3 horizonty podzemních vod:

1. ordovické horniny – nesouvislé puklinové vody, které bývají silně mineralizované
2. horizont křídových vod, které jsou vázány na pískovce perucko-korycanského souvrství
3. horizont kvartérních podzemních vod, které se vyskytují v deluviích a sesuvných materiálech

Významná je z hydrogeologického hlediska zejména křídová zvodeň, která je bohatě dotována z hydrogeologického povodí Strahovské tabule. Hlavní pramenní linie se nachází při vrstevnici 295 – 297 m.n.m na severních svazích Petřína (Řepka, 1987).

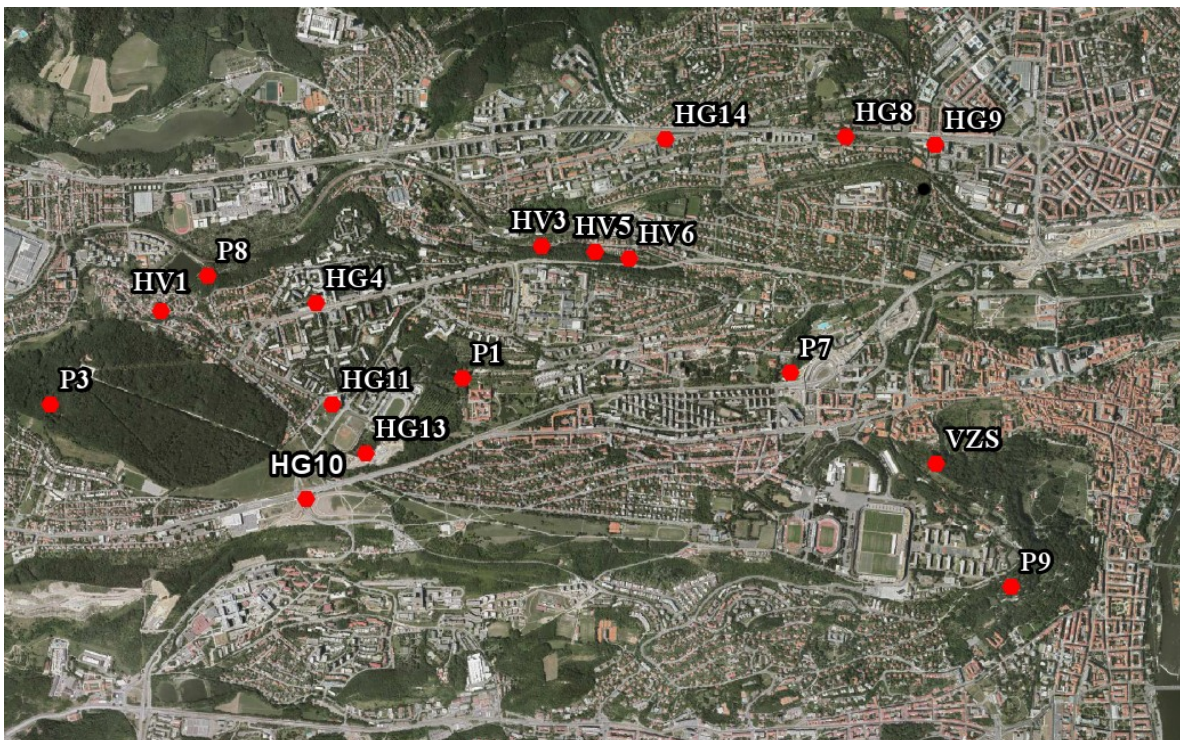
Většina podzemních vod stéká po nepropustné vrstvě jílovců a uhelných jílovců (Chlupáč, 1988). Podzemní voda směřuje do oblasti Nebozízku a areálu Strahovského kláštera. Zvodnění snižuje stabilitu svahu a bylo příčinou svahového sesuvu na Nebozízku, po kterém v roce 1965 byl zastaven provoz lanovky na Petřín (Chlupáč, 1988). Příčinou vzniku sesuvu dle Řepky (1969) byla změna režimu podzemní vody, vlivem špatného drenážního systému. Sanační práce započala v roce 1965. Nejprve byla podzemní voda z pramenní linie odvodněna mírně ukloněnou štolou. Dále byl proveden inženýrsko-geologický průzkum včetně geotechnického zhodnocení hornin. Po úpravách terénu a celkové rekonstrukci byl provoz lanovky znovu spuštěn až v roce 1985. Oblast Nebozízku je nyní stabilizována. V oblasti Petřína a v dalších oblastech (Strahov, okolí Vypichu a Bílé hory) vznikaly v minulosti lomy písčitého slínovce, dokonce zde byly i pokusy o těžbu uhelných slojek v peruckých vrstvách. Antropogenní zásahy vedly k propojení křídové a povrchové ordovické zvodně (Řepka, 1984).

2.3.2. Oblast Břevnovského kláštera

Klášter je pravděpodobně založen na náplavech potoka Brusnice. Břevnovský klášter stojí v údolí, které je vytvořené v křídových pískovcích a vodorovně uložených slínovcích. Podklad tvoří tmavošedé a černošedé ordovické břidlice (vrstvy vinické) (Řepka, 1985).

Velmi významný horizont oblasti jsou křídové sedimenty (perucko-korycanské souvrství). Při bázi tohoto kolektoru A (báze na kótě 322,3 m.n.m., přetok v úrovni 324,2 m.n.m.) jsou přirozené pramenní vývěry. Podzemní voda z pramene Vojtěška a z ostatních pramenů stéká do dvou klášterních rybníků, které dotují potok Brusnice (Čurda, 2006). Buchtík (1973) uvádí, že mezi Břevnovským a Strahovským klášterem byly tyto prameny podchyceny tzv. Břevnovským hradním vodovodem.

3. Popis monitorovacích objektů



Obr. 3: Ortofotomapa oblasti s polohou všech objektů v souřadnicích S- JTSK

3.1. Štoly a prameny

Tabulka 1: Základní popis monitorovacích objektů (štoly, prameny a potok Brusnice)

Objekt	typ objektu	název objektu	kóta výtoku ze štoly/vývěru pramene (m.n.m.)	délka štol (m)	zvodeň
P1	pramen	Vojtěška	324,2		cenoman
P3	štola	Světluška	329	292	cenoman
P7	potok	Brusnice	275		cenoman
P8	pramen	Veleslavínka	329		cenoman
P9	štola	Strahovská š.	291	287	cenoman
HV1	štola	Královka	325,5	97	cenoman
HV3	štola	U Bahenského	314,52	121	cenoman
HV5	štola	proti Strnadovi	314,45	20	cenoman
HV6	štola	před Bůzkem	314,45	59	cenoman
VZS	štola	Velká zahradní š.	295,7	365	cenoman

Monitoring probíhal ve vybraných štolách v širším okolí stavby metra A. Rozdělila jsem štoly do dvou skupin. První je z oblastí Petřína a Strahovského kláštera (VZS a P9). Druhou skupinu tvoří štoly hradního vodovodu (HV1, HV3, HV5, HV6 a P3), které se nacházejí na území Střešovic, Veleslavína, Liboce a obory Hvězda. Mezi monitorovacími objekty jsou prameny Vojtěška (P1), který se nachází ve sklepení Břevnovského kláštera a pramen Veleslavínka (P8), který vyvěrá v zalesněném svahu v blízkosti Libockého rybníka. Mezi monitorovací objekty byl i zařazen potok Brusnice (P7) na území Břevnova. Každý výše uvedený objekt (tabulka 1) drénuje cenomanskou zvodeň. Jejich podrobnější popis uvádím v příloze č. 1.

3.1. Hydrogeologické monitorovací vrty

Vrty HG 4,8 a 9 byly hloubeny v přelomu července a srpna v roce 2007. Vrty HG 11 a 10 byly vyhloubeny v dubnu 2008 a poslední vrty HG13 a 14 doplnily monitorovací síť v únoru 2011.

Tabulka 2: Základní popis vrtů

vrty	kóta (m.n.m.) odměrného bodu	hloubka vrtu (m)	perforace od-do (m)	zvodeň
HG4	363,3	45	32,00-43,00	cenoman
HG8	238	25	6,00-24,00	ordovik
HG9	230	32	20,00-31,00	kvartér
HG10	367,5	52	34,00-51,00	cenoman
HG11	365,9	52	34,00-51,00	cenoman
HG13	346,91	46,6	17,50 – 23,50	cenoman
HG14	272,4	28	4,00-24,00	kvatér

Vrty jsem rozdělila do tří skupin podle zvodně, ze které podzemní voda pochází. Vrty perforované na úrovni kvartérní, cenomanské a ordovické zvodně podrobněji popisují v příloze č. 2.

4. Využití environmentálních izotopů v hydrogeologii

Studium stabilních i radiogenních izotopů nám pomáhá určit původ a stáří vod. Dále pomáhá určovat kvalitu podzemních vod, jejich geochemický vývoj, obohacovací procesy, studium interakce voda – hornina, původ složení a kontaminační procesy (Clark a Fritz, 1997). Do skupiny environmentálních izotopů patří H, C, N, O a S a další (tabulka 3). Tyto prvky hrají klíčovou roli v hydrologických, geologických a biologických systémech. V této skupině jsou také izotopy uvolněné díky lidské činnosti, které jsou však distribuovány do prostředí v důsledku přírodních procesů (Yurtsever a Araguas, 1993). Zastoupení izotopů v jednotlivých materiálech ovlivňují dva procesy, radioaktivní rozpad a izotopová frakcionace. Izotopovou frakcionací rozumíme rozdělení jednotlivých stabilních izotopů zkoumaného prvku do sloučenin nebo fází na základě jejich různých fyzikálně – chemických vlastností. Rozdělení izotopů jednoho prvku lze vyjádřit izotopovým frakcionačním faktorem α :

$$\alpha = \frac{R_{\text{reaktantů}}}{R_{\text{produktů}}} \quad (1)$$

Kde R značí jednotlivé poměry těžšího ku lehčímu izotopu ve zkoumaných látkách. Existuje více způsobů frakcionace. Může jít o fyzikálně – chemické reakce v rovnovážných a v nerovnovážných (kinetických) podmínkách, a také o frakcionaci vyskytující se z důvodu molekulární difuze (Clark a Fritz, 1997).

Pomůckou pro měření rozdílných hodnot jednotlivých izotopů v různých látkách a prostředích jsou mezinárodně uznávané standardy. Pro vodu je v současnosti používán standard – tzv. Vienna Standard Mean Ocean Water (VSMOW), který byl odvozen od standardu SMOW, který byl definován Craigem (1961).

Tabulka 3: Nejdůležitější environmentální izotopy a jejich mezinárodně uznané standardy (Appelo a Postma, 2005)

Isotope	Standard	Ratio R	Measured phases/process	δ -range (‰)
^2H	VSMOW ¹	$^2\text{H} / ^1\text{H} = 1.5576 \times 10^{-4}$	H_2O , CH_2O , CH_4 , H_2 , OH minerals	-450 (CH_4), -200 (arctic ice), +50 (evap. lakes)
^3He	Air	$^3\text{He} / ^4\text{He} = 1.3 \times 10^{-6}$	Gas-sources, dating	
^6Li	NBS ² L-SVEC	$^6\text{Li} / ^7\text{Li} = 0.0832$	Water, rocks	
^{11}B	NBS 951	$^{11}\text{B} / ^{10}\text{B} = 4.0436$	Water, pollution from waste sites	
^{13}C	VPDB ³	$^{13}\text{C} / ^{12}\text{C} = 0.011237$	TIC, CH_4 , carbonates, ^{14}C dating	-120 (bact. CH_4), +20 (non-marine carb.)
^{15}N	Air	$^{15}\text{N} / ^{14}\text{N} = 3.677 \times 10^{-3}$	NO_3^- , N_2 , NH_4^+ , N-organics	
^{18}O	VSMOW	$^{18}\text{O} / ^{16}\text{O} = 2.005 \times 10^{-3}$	H_2O , CH_2O , HCO_3^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , O minerals	-60 (arctic ice) +40 ($\text{CO}_{2(\text{g})}$)
^{34}S	CDT ⁴	$^{34}\text{S} / ^{32}\text{S} = 0.045$	SO_4^{2-} , S^{2-}	
^{37}Cl	SMOC ⁵	$^{37}\text{Cl} / ^{35}\text{Cl} = 0.32398$	Water, salts, diffusion	-1.5 to +1.0
^{87}Sr	-	$^{87}\text{Sr} / ^{86}\text{Sr} \approx 0.710$	Water, minerals, weathering	

¹Vienna Standard Mean Ocean water; ²National Bureau of Standards; ³Vienna Pee Dee Belemnite; ⁴Cañon Diablo Troilite; ⁵Standard Mean Ocean Chloride, ratio from natural abundances (Wedepohl, 1969).

Izotopové složení látky se vyjadřuje v δ notaci:

$$\delta_{\text{vzorek}}(\text{‰}) = \frac{R_{\text{vzorek}} - R_{\text{standard}}}{R_{\text{standard}}} \cdot 1000 \quad (2)$$

Pokud je $\delta < 0$, je zkoumaný vzorek izotopicky lehčí než daný standard, je-li $\delta > 0$, znamená to, že vzorek je izotopicky těžší (Gat, 2010).

Informace, které poskytují izotopová data získaná studiem frakcionace environmentálních izotopů, pomáhají porozumět problematice cirkulace vody na Zemi. Jedná se o procesy probíhající v podzemní i povrchové vodě.

U **podzemních vod** se jedná především o (Yurtsever a Araguas, 1993):

- objasnění hranic hydrologických systémů
- původ vody
- hydraulické propojení s povrchovými vodami nebo mezi rozdílnými zvodněmi
- zdroje, procesy a míru doplňování podzemních vod
- zdroje a mechanismy zasolování
- mísení vod pocházejících z různých zdrojů
- dobu zdržení podzemní vody a distribuci dob zdržení
- dynamiku geotermálních systémů

U **povrchových vod** pak:

- dynamiku povodí
- dynamiku srážek a jejich odtoku
- doby zdržení vody
- vztahy mezi podzemní a povrchovou vodou

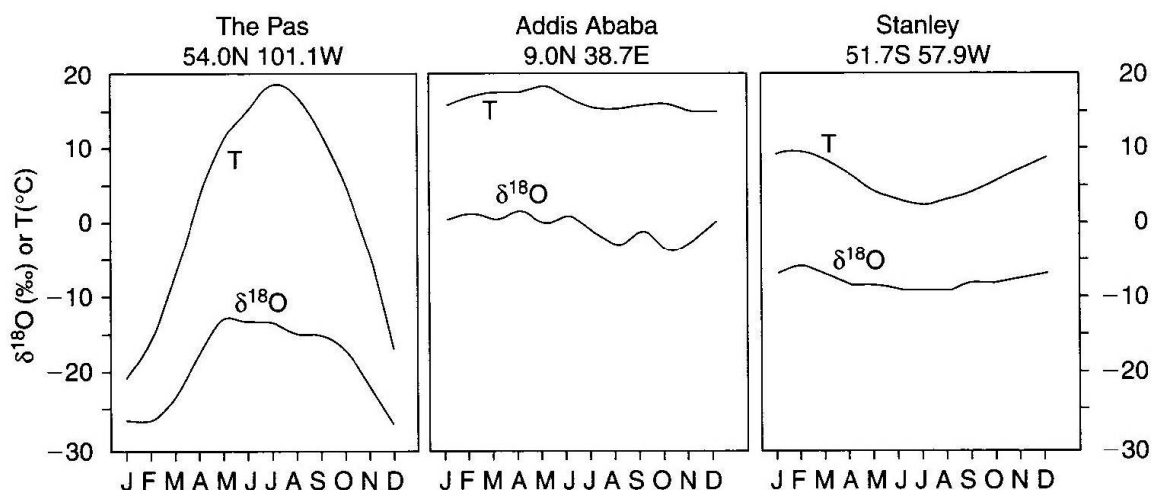
4.1. Izotopové složení kyslíku a vodíku v meteorických vodách

Mezi hlavní izotopy sledované v souvislosti s povrchovými a podzemními vodami patří především izotopy vodíku (H) a kyslíku (O). Oba prvky mají své stabilní i radioaktivní izotopy. U vodíku se jedná o izotopy ^1H (99.985%), ^2H (0.015%) a radioaktivní ^3H (pol. rozp. 12,43 roku). U kyslíku jde o ^{16}O (99.762%), ^{17}O (0.0379%), ^{18}O (0.200%) a dále o radioaktivní izotopy ^{14}O , ^{15}O , ^{19}O , ^{20}O (Gat, 2010). Co se týká poměrů stabilních izotopů, jsou pro studium vod důležité především $^2\text{H}/^1\text{H}$ a $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$. Vysvětlit vztahy ve vodním cyklu je komplikovaná záležitost a záleží zde na mnoha vlastnostech systému a jejich působení. Kupříkladu zda se jedná o uzavřený nebo otevřený systém. Jednotlivé situace shrnuje např. Gat (2010). Důležitým procesem, který se uplatňuje při izotopovém složení srážek, je tzv. Rayleighův proces založený na frakcionační destilaci směsi kapalin. Jedná se o souhrn rovnic, které jsou použitelné i pro studium vzájemných vztahů mezi izotopovým složením kyslíku a vodíku meteorických vod, nebo-li dělení izotopů mezi 2 rezervoáry (Kendall a McDonell, 1998). Jedná se o exponenciální vztah aplikovatelný na jakýkoliv proces doprovázející frakcionaci s konstantním frakcionačním faktorem. Dále podmínkou je, aby byl materiál ze smíšeného systému, který obsahuje atomy dvou izotopových druhů (např. ^{18}O a ^{16}O), byl postupně odstraňován (Kendall a McDonell, 1998). Například když molekula vody H^{18}O kondenzuje snáze než lehčí molekula H^{16}O . Vzniklá voda je tak izotopicky těžší než pára (Appelo a Postma, 2005).

Pokud vezmeme v úvahu globální izotopové složení srážek, lze zde vypořádat určitý trend mezi $\delta^{18}\text{O}$ a $\delta^2\text{H}$, jedná se o tzv. Globální linii meteorické vody (GMWL) (Craig, 1961):

$$\delta^2\text{H} = 8 \delta^{18}\text{O} + 10 \quad (3)$$

Z výše uvedeného vztahu vyplývá, že mezi $\delta^{18}\text{O}$ a $\delta^2\text{H}$ existuje poměrně těsná závislost. Jednotlivé lokální linie meteorické vody se mírně odchylují od GMWL z důvodu rozdílných klimatických a geografických parametrů. Craig provedl klíčové pozorování, ve kterém zjistil, že izotopicky výrazněji ochuzené meteorické vody jsou vázány na chladné oblasti, zatímco v teplých oblastech jsou meteorické vody jen mírně ochuzené vůči SMOW. Dnes je tento poznatek klíčovým nástrojem pro studium doplňování podzemních vod a jejich původu (Clark a Fritz 1997). Celkově izotopové složení deště závisí na GMWL. Při odpařování oceánské vody vstupují do plynné fáze převážně lehčí izotopy. Během transportu vzdušných mas do vyšších zeměpisných šířek a výšek se pára ochlazuje a následně kondenzuje, do deště se tak dostávají těžší izotopy kyslíku a vodíku. Závislost složení srážek $\delta^{18}\text{O}$ na residuální frakci páry a teplotě je ukázána na obr. 4 (Clark a Fritz 1997).



Obr. 4: Průběh hodnot $\delta^{18}\text{O}$ a jeho závislost na teplotě (Appelo a Postma, 2005)

Během globálního měření bylo vypořádováno několik trendů, které celosvětově odrážejí izotopické složení srážek. Jedná se o efekt zeměpisné šířky, efekt nadmořské výšky, kontinentální efekt, množství spadlých srážek a sezonní efekt, jak shrnuje Daansgard (1964) při prvním vyhodnocení projektu IAEA (viz níže).

Efekty odrážející se v izotopovém složení srážek popisuje Appelo a Postma (2005) :

- **Efekt nadmořské výšky** – klesající trend zastoupení těžkých izotopů ve srážkách se vzrůstající nadmořskou výškou
- **Efekty zeměpisné šířky** – srážky z vyšších zeměpisných šířek mají menší zastoupení těžkých izotopů
- **Kontinentální efekt** – čím dále od pobřeží, tím lehčí izotopové složení srážek

Daangard (1964) uvádí, že izotopové složení též závisí na množství srážek, ukazuje pokles $\delta^{18}\text{O}$ o 1,5 ‰ na každém přírůstku 100 mm ročního úhrnu srážek. Při shrnutí uváděných efektů je zřejmé, že teplota a její změny mají na izotopové složení vod v globálním vodním cyklu klíčový vliv. Od roku 1961 probíhá pod záštitou IAEA (International Atomic Energy Agency) a WMO (World Meteorological Organisation) program, který sleduje obsahy izotopů kyslíku a vodíku ve srážkách. Spolu s údaji o izotopickém složení srážek se zaznamenávají i další údaje, jako je typ a množství srážek, průměrná teplota a tlak vzduchu.

4.2. Izotopové složení kyslíku a vodíku podzemních vod

Izotopové složení kyslíku a vodíku podzemních vod a srážek se liší. Gat (1971) uvádí hlavní procesy, které ovlivňují izotopové složení podzemních vod:

- infiltrace povrchové vody (vliv evaporace)
- infiltrace v minulosti, kdy složení srážek bylo jiné než dnes
- frakcionace izotopů vyplývající z rozdílného pohybu vody v kolektoru nebo v půdě

Jeden z faktorů ovlivňující izotopové složení podzemních vod je i mísení podzemních vod (Clark a Fritz 1997). V mírném a vlhkém podnebí je izotopové složení podzemních vod podobné se složením srážek v infiltrační oblasti. V subtropickém podnebí roste význam odpařování, vedoucí k obohacení vody o těžké izotopy. V chladných oblastech je izotopové složení podzemní vody dáno sezónními obdobími tání sněhu, popřípadě permafrostu (Gat, 1971).

4.3. Střední doba zdržení na základě $\delta^{18}\text{O}$

Izotopy kyslíku a vodíku, které jsou součástí molekuly vody, jsou v současnosti v hydrogeologii hojně využívány jako stopovače vody. Vzhledem k tomu, že izotopové složení srážek úzce souvisí s klimatickými a hydrologickými parametry, jako například teplotní závislost, izotopové složení ve vodách vykazuje sezónní kolísání $\delta^{18}\text{O}$ a $\delta^2\text{H}$, které může být využíváno pro datování podzemní vody (Clark a Fritz, 1997). Střední doba zdržení je průměrná doba, kterou molekula vody stráví v horninovém prostředí. Srážky spadlé v určitém období mají své typické hodnoty $\delta^{18}\text{O}$, tyto hodnoty lze porovnat s hodnotami $\delta^{18}\text{O}$ vody vytékající z horninového prostředí. Amplituda sezónních variací $\delta^{18}\text{O}$ a $\delta^2\text{H}$ je snižována infiltračními, tlumícími procesy horninového prostředí, a tedy zachování těchto sezónních variací znamená krátkou střední dobu zdržení vody v horninovém prostředí (Clark a Fritz, 1997).

5. Metodika

5.1. Zdroj dat a přístroje využité při převzatých terénních pracích

Ve své práci jsem vyhodnotila data z monitoringu podzemních vod z období 21.4.2010 – 31.8.2011. Jedná se o měření v týdenním intervalu a v případě hradního vodovodu ve 14 denním intervalu. V terénu byly měřeny vydatnosti, konduktivity, teploty a pH vod. Ve stejném období byly provedeny tři analýzy pro zjištění základního chemického složení (duben 2010, 2011 a září 2010). Vydatnost byla měřena pomocí stopek a nádoby o známém objemu (1,4- 10,6 l).

Hodnoty pH byly měřeny přímo v terénu kapesním měřicím přístrojem WTW – Multi 340i (Německo) pomocí elektrody Sentix 21 s měrným rozsahem -2,00 až 19,99 a s přesností 0,03 %. Hodnoty pH podzemních vod jsou klíčové pro posouzení rovnováhy vody vůči různým minerálům. V čistých prostých podzemních vodách je hodnota pH asi od 4,5 do 9,5 dána obvykle uhličitánovou rovnováhou (Pitter, 1999). Hodnoty pH rozdělují vody do tří skupin: kyselé, neutrální a alkalické.

Konduktivita byla měřena kapesním přístrojem WTW – Multi 340i (Německo) pomocí elektrody TetroCon 325 s měrným rozsahem 1 – 1999 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. Přesnost měření je 0,5 %. Konduktivita je míra koncentrace ionizovatelných anorganických a organických součástí vody. Závisí na koncentraci iontů, pohyblivosti vody a teplotě vody. Jednotkou konduktivity je $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ (Pitter, 1999).

K měření teploty vody byl použit digitální teploměr GTH175/Pt (Německo) s měrným rozsahem -70 – 199 °C a s přesností 0,1 %. Teplota je jedním z klíčových fyzikálních parametrů. Významně ovlivňuje chemickou a biochemickou reaktivitu (Pitter, 1999). Podzemní voda má většinou konstantní teplotu, většinou málo závislou na ročním období. Větší kolísání teploty podzemních vod svědčí o rychlém prolínání atmosférických a povrchových vod (Pitter, 1999).

Každý hydrogeologický vrt uváděný v této práci je vybaven manometrickým hladinoměrem NOEL – ALA typ 4020 s přesností záznamu hladiny 1 mm. Hladinoměr zaznamenává data každou 1 hodinu. Program AlaTOP je využíván na sběr dat ze všech hladinoměrů, každý týden se data přímo na místě nahrávají do programu.

Analýzy základního chemického složení vody byly provedeny v laboratoři Geotest, a.s. v Brně. Použité metody jsou: atomová emisní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem (Na, K, Ca, Mg, Fe, Li, Mn, sírany), argentometrická titrace (chloridy), titrace (alkalinita) a stanovení dusičnanů s kyselinou sulfasalicylovou. Součástí rozboru vody byl i výpočet celkové mineralizace. Jedná se o výpočet tuhých látek rozpuštěných ve vodě. Celková mineralizace je objektivním hodnocením anorganických látek (Pitter, 1998).

5.2. Vlastní terénní práce

V rámci své bakalářské práce jsem dostala možnost vzorkovat v objektech P1, P3, P7, P8, P9, HV1, HV3, HV5, HV6 a VZS po dobu 4 měsíců (od začátku února až do začátku června) a získala jsem krátký záznam o izotopovém složení vody. Vzorky jsem odebírala do plastových vzorkovnic s intervalem 14 dní.

5.3. Zpracování dat

V programu MS Excel jsem vykreslila grafy vydatnosti v závislosti na čase a také jsem jej použila na výpočet základních statistických charakteristik vydatnosti (průměr, maximum, minimum, směrodatná odchylka - s). Dále jsem vypočítala koeficient vyjadřující statistickou míru variability variační koeficient C_v pro hydrologický rok 1.11.2010 -31.10.2011 podle vzorce (4).

$$C_v = \frac{\sqrt{\frac{(Q_m - Q_a)^2}{n}}}{Q_a} \quad (4)$$

kde Q_m je průměrná měsíční vydatnost, Q_a je průměr vydatností za hydrologický rok, n je počet měsíců.

V programu MS Excel jsem vykreslila grafy pro každou fyzikální veličinu v závislosti na vydatnosti daného objektu, dále jsem jej použila pro výpočet základních statistických charakteristik dané fyzikální veličiny (průměr, maximum, minimum, směrodatná odchylka – s a korelační koeficient).

Korelační koeficient jsem vypočítala pro zjištění lineární závislosti či nezávislosti vydatnosti a dané veličiny. Korelační koeficient r může nabývat hodnot od -1 do +1 a čím vyšší je absolutní hodnota r , tím větší je závislost mezi oběma veličinami.

Naměřená data hladiny jsem vykreslila do grafů ukazujících průběh výšky hladiny v čase.

PHREEQC je počítačový program, který se používá pro simulaci různých reakcí a procesů v přírodních a znečištěných vodách nebo v laboratorních experimentech (Parkhurst a Appelo, 1999). Ve své práci jsem program PHREEQC využila k výpočtu saturačních indexů (indexů nasycení – SI) kalcitu, dolomitu a sádrovce. Saturační indexy (SI) se počítají pro zjištění rovnováhy mezi sledovaným minerálem a roztokem. Je-li $SI=0$, je minerál v rovnováze s daným roztokem. Záporná hodnota $SI<0$ ukazuje, že daný roztok je minerálem nenasyčen a je tendence minerál rozpouštět. Kladná hodnota $SI>0$ ukazuje na přesycení roztoku minerálem, tedy minerál bude mít tendenci se srážet (Appelo a Postma, 2005).

Pro výpočet saturačních indexů jsem do programu PHREEQC pro každý objekt zadala hodnoty ze všech tří analýz: pH naměřené v terénu, teplotu vody a koncentrace následujících iontů: K^+ , Cl^- , Ca^{2+} , SO_4^{2-} , Mg^{2+} , Ca^{2+} , NO_3^- , Cl^- , Ca^{2+} , HCO_3^- , SO_4^{2-} , Na^+ . Program PHREEQC počítá i chybu rozboru z následujícího vzorce (5). Pokud je chyba rozboru nižší než 5 %, je možné výsledky chemické analýzy vody považovat za důvěryhodné (Domenico a Schwartz, 1998). Pro SI v tabulce 9 byly použity pouze analýzy s chybou rozboru pod 10 %.

$$\% \text{ chyba} = \frac{\sum_{\text{kationtů}} - \sum_{\text{aniontů}}}{\sum_{\text{kationtů}} + \sum_{\text{aniontů}}} \cdot 100 \quad (5)$$

Z odebraných vzorků na izotopy jsem nechala analyzovat každý druhý odebraný vzorek (zhruba interval jednoho měsíce) v laboratoři ČVUT na laserovém spektroskopu LGR Inc. Pro změření izotopového složení laserem je potřeba 1,5 ml vody. Naměřené hodnoty jsem dále zpracovávala v programu MS Excel, kde jsem vykreslila grafy hodnot $\delta^{18}O$ v čase. Střední dobu zdržení (Mean Residence Time - MRT) jsem určila dle vzorce (6), vyjadřujícího pokles amplitudy hodnot $\delta^{18}O$ srážek A_p a amplitudy hodnot $\delta^{18}O$ vzorkované vody A sinusové funkce v tzv. lineární $((1/b')=6/\pi)$ (Šanda et. al., 2011).

$$MRT = \frac{6}{\pi} \left[\left[\left(\frac{A_p}{A} \right)^2 - 1 \right]^{0.5} \right] \quad (6)$$

Je ovšem nutno vzít na vědomí, že sezónní výkyvy koncentrací $\delta^{18}O$ ve srážkách mírného klimatického pásu mizí během 4-5 let mísení ve zvodni (Šanda et. al., 2011).

Amplitudu hodnot $\delta^{18}\text{O}$ ve srážkách jsem převzala z průběhu koncentrací $\delta^{18}\text{O}$ ve srážkách naměřeném v oblasti Jizerských hor v povodí Uhlířská a Kopaninského toku uvedené Šandou et. al. (2011). Amplitudu hodnot $\delta^{18}\text{O}$ vzorkované vody jsem spočítala jako rozdíl mezi nejnižší naměřenou hodnotou $\delta^{18}\text{O}$ daného objektu a nejvyšší hodnotou $\delta^{18}\text{O}$ daného objektu.

6. Základní statistické zhodnocení vydatností a fyzikálních veličin

6.1. Vydatnost objektů

Tabulka 4: Shrnutí základní statistiky k hodnotám vydatnosti, pro výpočet variačního koeficientu C_v byla použita data z hydrologického roku 1.11.2010 – 31.10.2011, /... rozděluje dva statistické údaje za daného období v kap. 6.1 vysvětleno

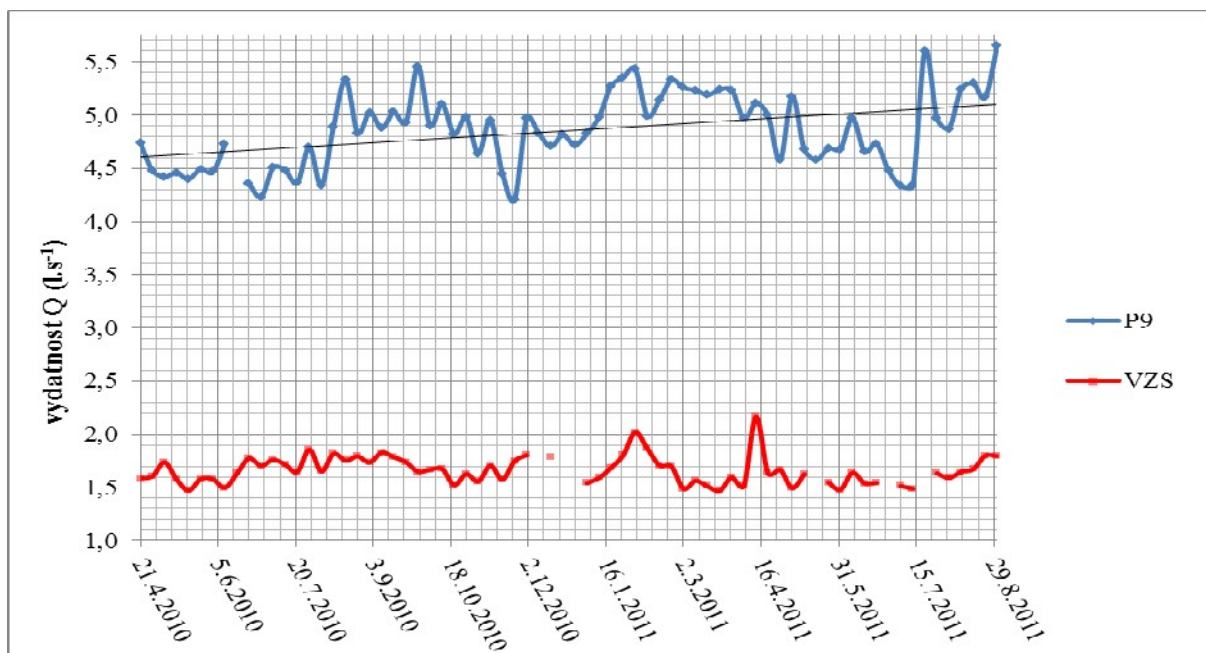
Objekt	průměr (l/s)	max (l/s)	min (l/s)	s	variační koeficient C_v
P1	0,28	0,59	0,02	0,12	0,062
P3	2,07	3,33	0,17	0,67	0,023
P7	0,87	4,23	0,06	0,64	0,035
P8	0,07	0,14	0,03	0,03	0,0008
P9	4,86	5,65	4,21	0,35	0,001
HV1	1,10	1,40	0,92	0,01	0,017
HV3	2,61	3,93	1,94	0,46	0,012
HV5	0,25	0,48	0,20	0,05	0,011
HV6	1,01/0,48	1,52/0,45	0,80/0,29	0,19/0,04	
VZS	1,66	2,17	1,47	0,13	0,004

Objekt P9 má největší průměrnou vydatnost (tabulka 4), velmi nízké hodnoty vydatnosti vykazuje objekt P8 ($0,02 - 0,14 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$). V tabulce 4 jsem u objektu HV6 uvedla u každé statistiky dva údaje. Ve štolě se v monitorovacím období měřilo s pauzou 4 měsíců (17.11.2010 – 16.3.2011), kdy byl odtok zahlcen. Poté byla nainstalována nová přepadová hrana. Průměrná hodnota za první období do 17.11.2010 byla $1,01 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$, druhé období od 16.3.2011 klesla průměrná hodnota o $0,69 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$. V obou obdobích byla vydatnost dosti stálá, ovšem s různou střední hodnotou, což ukazuje, že po vybudování nového přepadu došlo ke ztrátě části vydatnosti.

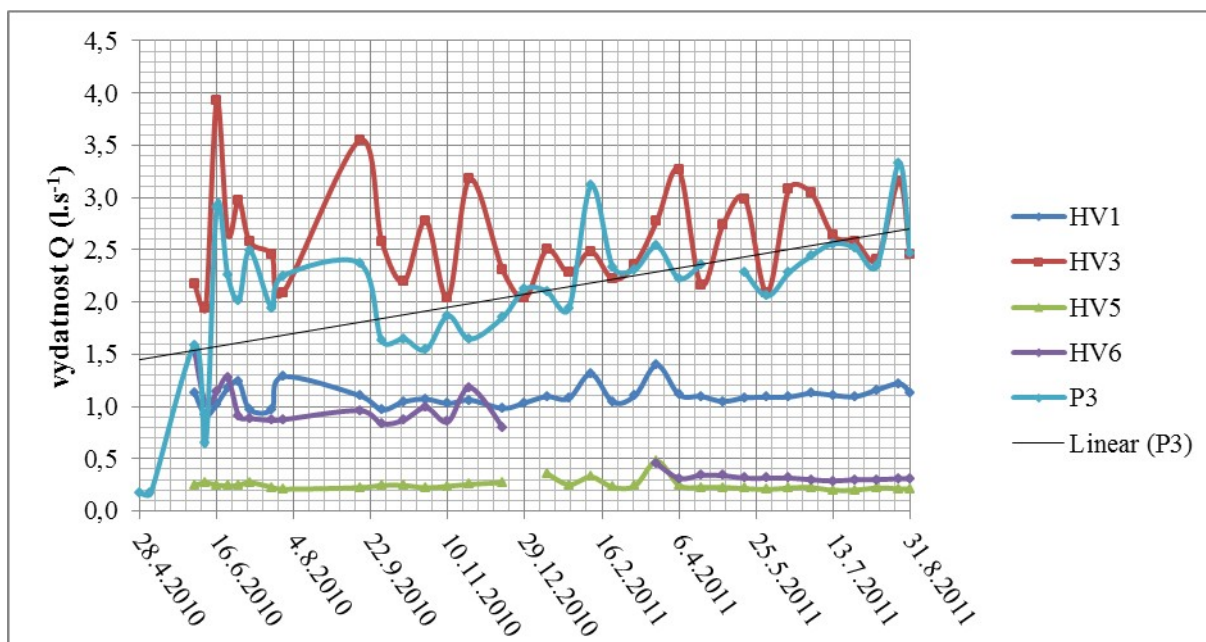
Ostré odchylky vydatnosti (obr.5) u objektů VZS a P9 byly naměřeny v zimním a jarním období, kdy byla naměřena maximální hodnota. Časový průběh vydatností štol hradního vodovodu jsou na obr.6. Maximální vydatnost u objektu HV3 byla naměřena na začátku letního období. Vydatnost osciluje okolo střední hodnoty s periodou okolo 1 až 2 měsíců. Průběh vydatnosti objektu P3 se na začátku monitorovacího období propadá na minimum. Dále až do konce sledování vydatnost roste na úroveň nejvýše naměřených hodnot. Objekt HV1 vykazuje výjimečné hodnoty na konci jarního a zimního období, kdy byla naměřena maximální hodnota, křivka nemá klesající, ani rostoucí charakter. Objekt HV5 vykazuje nejnižší vydatnost ze štol hradního vodovodu. Větší odchylky od střední hodnoty během sledování nebyly zaznamenány. Maximální hodnota byla naměřena na konci zimního období. Vydatnost u objektu P8 se zvyšuje na podzim a svého maxima dosahuje v lednu 2012. Do dubna 2012

se vydatnost pramene P8 pohybovala v rozmezí $0,1 - 0,14 \text{ l.s}^{-1}$, poté klesala ke svému průměru (obr.8). Objekt Vojtěška (P1) vykazoval na začátku sledovacího období výraznější rozkolísání vydatnosti (obr.7). V následujícím období se ustálily hodnoty blízké průměrné hodnotě. Celkově vydatnost vykazuje mírný pokles. Ostré vrcholy vydatnosti u povrchového toku Brusnice (P7) byly zaznamenány vždy v letním období.

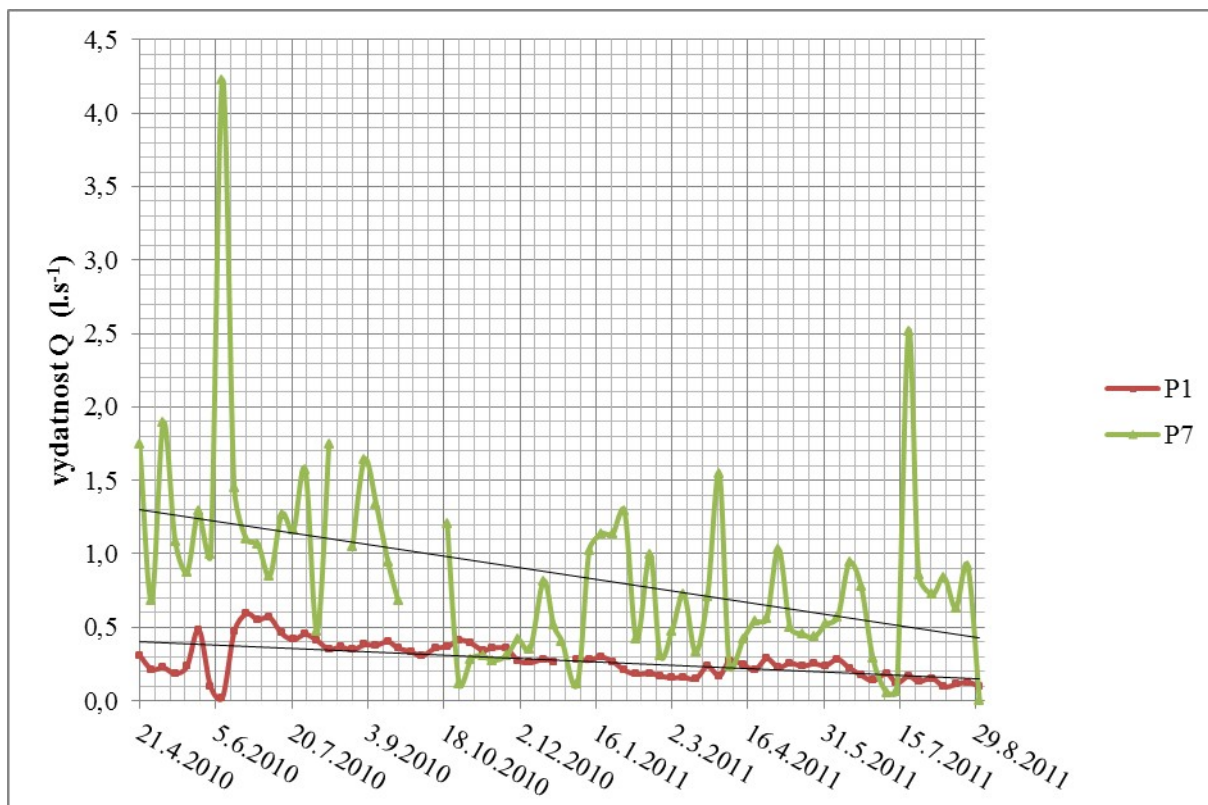
Vydatnost všech objektů je velmi vyrovnaná ($C_v = 0,001 - 0,062$). Výrazné odchylky od střední hodnoty u každého z objektů výjimečné.



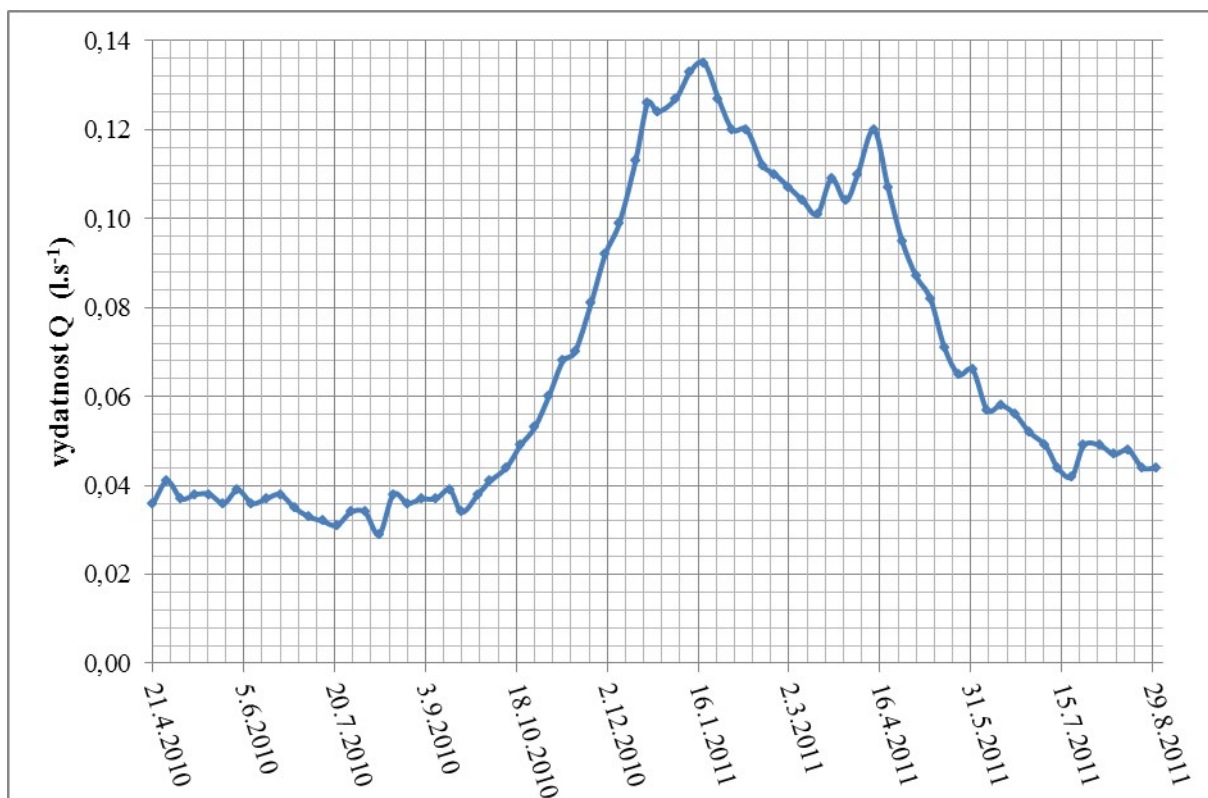
Obr. 5: Graf vydatnosti Petřínských štol v závislosti na čase



Obr. 6: Graf vydatnosti štol hradního vodovodu v závislosti na čase



Obr. 7: Graf vydatnosti pramene Vojtěška (P1) a Brusnice (P7) v závislosti na čase



Obr. 8: Graf vydatnosti pramene Veeslavínka (P8) v závislosti na čase

6.2. Hodnoty pH

Tabulka 5: Průměrné, maximální a minimální hodnoty pH, s - směrodatná odchylka hodnot, míra variability spočítaná ze směrodatné odchylky dělené průměrnou hodnotou a korelační koeficient mezi veličinami pH a vydatností

objekt	průměr	max	min	s	míra variability	korelační k.
P1	7,5	8,1	7,0	0,2	0,024	-0,40
P3	7,0	7,8	6,6	0,2	0,035	-0,07
P7	7,9	8,9	7,2	0,3	0,037	-0,27
P8	7,5	7,9	6,9	0,2	0,024	0,05
P9	7,7	8,2	7,4	0,2	0,025	-0,12
HV1	7,3	7,8	6,9	0,2	0,023	0,15
HV3	7,5	7,9	7,0	0,2	0,026	0,00
HV5	7,3	7,8	7,0	0,2	0,022	-0,04
HV6	7,4	7,8	7,0	0,2	0,022	-0,49
VZS	7,7	8,2	7,4	0,2	0,025	-0,12

Průměrné hodnoty pH všech objektů, pohybující se v rozmezí 7,0-7,9, spadají do oblasti neutrálních vod. Největší průměrné a maximální hodnoty najdeme u objektu P7 – Brusnice (tabulka 5) Nejnižší hodnoty pH vykazuje objekt P3. Míra variability hodnot je u všech objektů velmi nízká (tabulka 5). Během monitorovacího období nebyly naměřeny žádné větší odchylky od střední hodnoty. Z výpočtu korelačního koeficientu nebyla zjištěna lineární závislost mezi veličinami pH a vydatností (příloha č.3). Výjimkou jsou objekty P1 a HV6, kde byla zjištěna velmi nízká lineární závislost (tabulka 5).

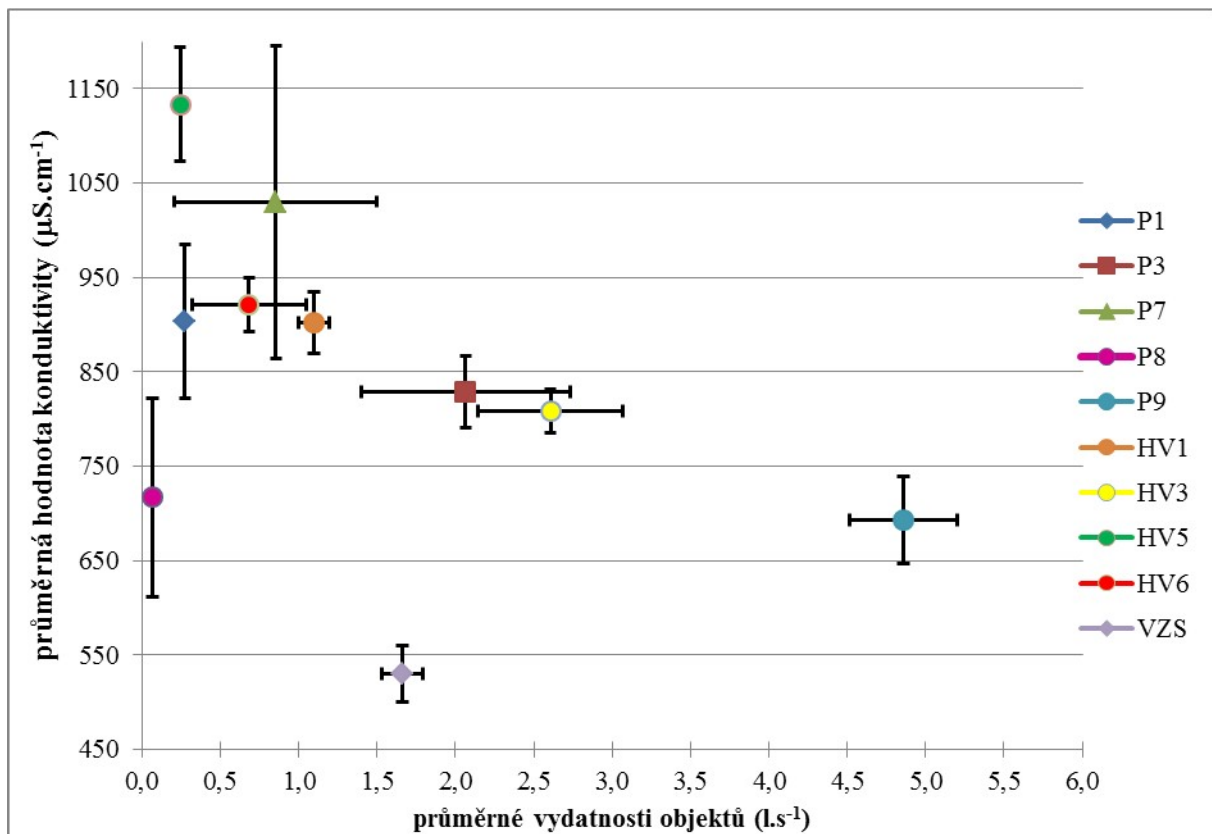
6.3. Konduktivita

Tabulka 6: Průměrné, maximální a minimální hodnoty konduktivity, s - směrodatná odchylka hodnot, míra variability spočítaná ze směrodatné odchylky dělené průměrnou hodnotou, korelační koeficient spočítán mezi konduktivitou a vydatností

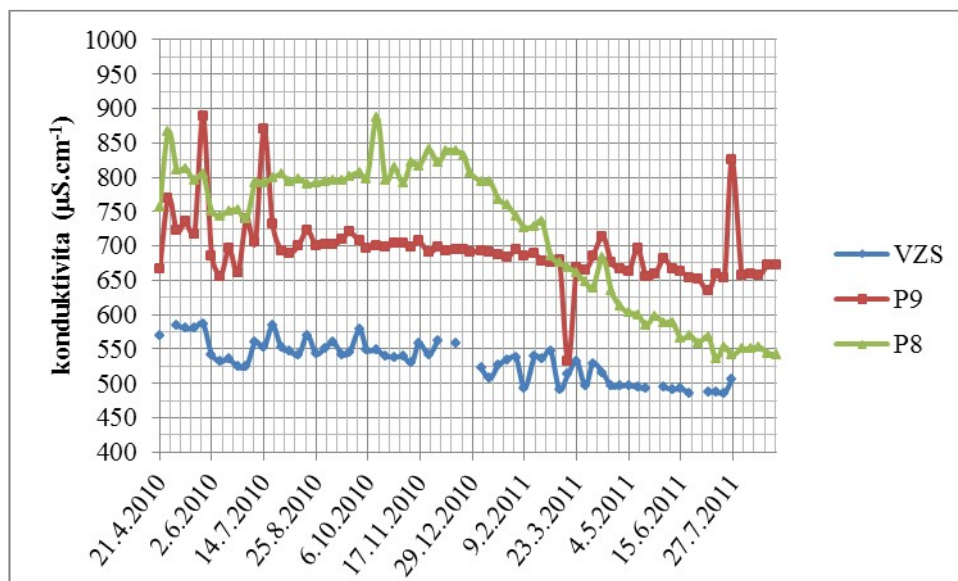
objekt	průměr ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)	max ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)	min ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)	s ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)	míra variability	korelační koeficient r
P1	896	1035	724	47,8	0,053	-0,05
P3	829	954	716	37,7	0,046	0,29
P7	1030	1920	733	166,0	0,161	0,01
P8	717	887	533	104,9	0,146	-0,08
P9	692	888	532	46,0	0,066	-0,19
HV1	902	943	828	32,5	0,036	0,24
HV3	808	902	762	23,3	0,029	-0,37
HV5	1133	1215	902	60,1	0,053	-0,27
HV6	921	953	813	28,9	0,031	-0,61
VZS	530	587	486	29,5	0,056	-0,01

Průměrné hodnoty konduktivity se pohybují v rozmezí 530 – 1133 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ (tabulka 6), což naznačuje nižší až střední mineralizaci vody. Nejvyšší průměrné hodnoty konduktivity vykazují objekty P7 a

HV5 (obr.9). Nejnižší hodnoty nalezneme u objektů P9 a VZS. Nejvyšší variabilitu dat vykazují objekty P8 a P7 (tabulka 6). Jinak ostatní objekty mají velmi nízkou variabilitu (kolísání) konduktivity. Výrazný časový průběh konduktivity zaznamenal objekt P8 (obr. 10), u kterého hodnota konduktivity začala ostřeji klesat v prosinci 2010, kdy zvyšovala vydatnost objektu P8 (obr.8). Pokles je zřejmě způsoben náhlým přítokem podzemní vody s nižší mineralizací. U ostatních objektů výrazný časový průběh není pozorován. Z výpočtu korelačních koeficientů jsem zjistila jedinou lineární závislost mezi vydatností a konduktivitou u objektu HV6 ($r = -0,61$). Vztah mezi konduktivitou a vydatností jednotlivých objektů jsou znázorněny na grafech v příloze č. 4.



Obr. 9: Průměrné hodnoty konduktivity v závislosti na průměrné vydatnosti objektu, s +/- směrodatnou odchylkou obou veličin. U objektů P8, P1 a HV5 není směrodatná odchylka vydatnosti zakreslena v grafu ($s < 0,15$)



Obr. 10: Časový průběh konduktivity u objektu P8, ve srovnání s vybranými objekty

6.4. Teplota

Tabulka 7: Průměrné, maximální a minimální hodnoty teploty, s- směrodatná odchylka hodnot, míra variability vypočtená ze směrodatné odchylky vydělené průměrnou hodnotou a korelační koeficient mezi teplotou a vydatností

objekt	průměr (°C)	max (°C)	min (°C)	s (°C)	míra variability	korelační koeficient r
P1	10,8	13,7	7,7	1,6	0,148	0,11
P3	10,0	11,3	7,1	0,7	0,068	0,18
P7	12,9	25,0	0,3	6,9	0,538	0,20
P8	9,5	13,2	7,2	1,3	0,139	-0,67
P9	13,3	14,1	10,3	0,6	0,043	-0,13
HV1	9,9	11,6	8,4	0,5	0,055	0,09
HV3	11,2	12,8	9,6	0,6	0,053	0,34
HV5	11,9	17,4	9,5	1,2	0,099	-0,10
HV6	11,0	13,1	10,0	0,6	0,055	0,27
VZS	10,2	11,0	9,7	0,2	0,017	-0,01

Ve srovnání s průměrnou teplotou vzduchu (za rok 2010 7,8 °C a za rok 2011 9,2 °C dle ČHMÚ) jsou průměrné teploty vody u objektů mírně vyšší (tabulka 7). Nejvyšší průměrné teploty vykazují objekty P7 a P9. Většina objektů nereaguje výrazněji na změnu teploty vzduchu, výjimkou je objekt P7, teplota vody u P7 se pohybuje od 0,3 do 25°C, tedy vykazuje největší variabilitu dat (tabulka 7). Z výpočtu korelačního koeficientu jsem zjistila jedinou lineární závislost mezi teplotou vody a vydatností u objektu P8 (tabulka 7). Vztah mezi teplotou a vydatností jednotlivých objektů jsou znázorněny na grafech v příloze č. 5.

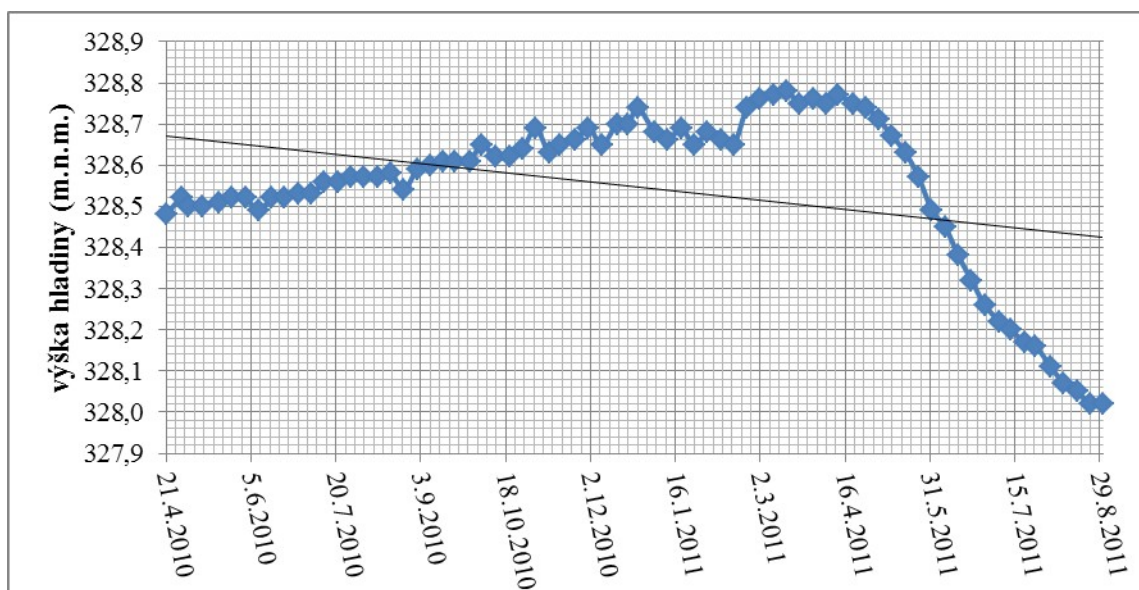
6.5. Výška hladiny v hydrogeologických vrtech

Tabulka 8: Průměrné, maximální a minimální hodnoty výšky hladiny v hydrogeologických vrtech

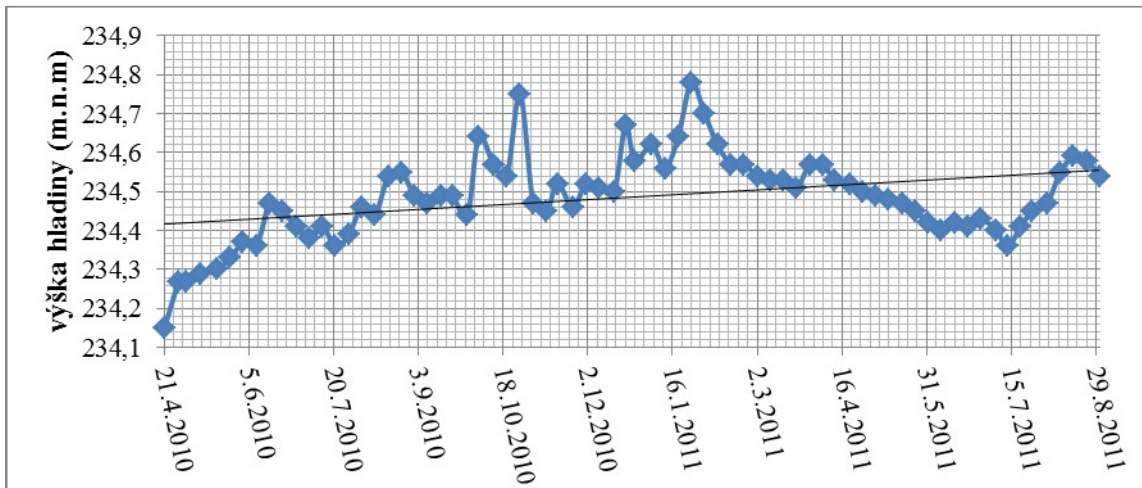
statistika/objekt	HG4	HG8	HG9	HG10	HG11	HG13	HG14
Průměr (m.n.m.)	328,55	234,49	202,77	331,13	327,5	327,53	266,92
Maximum (m.n.m.)	328,78	234,78	202,89	331,47	328,02	328,48	267,41
Minimum (m.n.m.)	328,02	234,15	202,59	330,86	327,09	326,82	266,57
s- směrodatná odchylka	0,2	0,11	0,1	0,13	0,32	0,52	0,2
max-min (m.n.m.)	0,76	0,63	0,3	0,61	0,93	1,66	0,84

U vrtů HG9 a HG10 nebyl zaznamenán výraznější ostřejší růst či pokles křivky za celé monitorovací období (obr. 13,15). Též tomu odpovídá nejmenší rozptyl výšky hladiny za celé monitorovací období (tabulka 8). Vrt HG 8 také nevykazuje vysoký rozptyl hladiny (tabulka 8) a v období zimy 2011 až na začátek léta hladina klesala k minimu, poté hodnoty strměji stoupaly vůči střední hodnotě (obr.12). Strmější poklesy křivky výšky hladiny zaznamenaly vrty HG4, HG11, HG13 a HG14. Hladina vrtu HG4 od začátku monitorování stoupá ke svému maximu (obr. 11) poté byl zaznamenán ostrý pokles v polovině dubna 2011. Podobná situace nastala u vrtu HG14 (obr.14), kdy hladina vrtu s větším rozkolísáním než u vrtu HG4 stoupala k maximu a poté v únoru 2011 ostře klesala až do poloviny léta 2011. Hladiny vrtů HG11 a HG 13 (obr.15) v průběhu celého období mírně klesaly. U vrtu HG11 na konci období (polovina léta 2011) byl zaznamenán ostřejší nárůst.

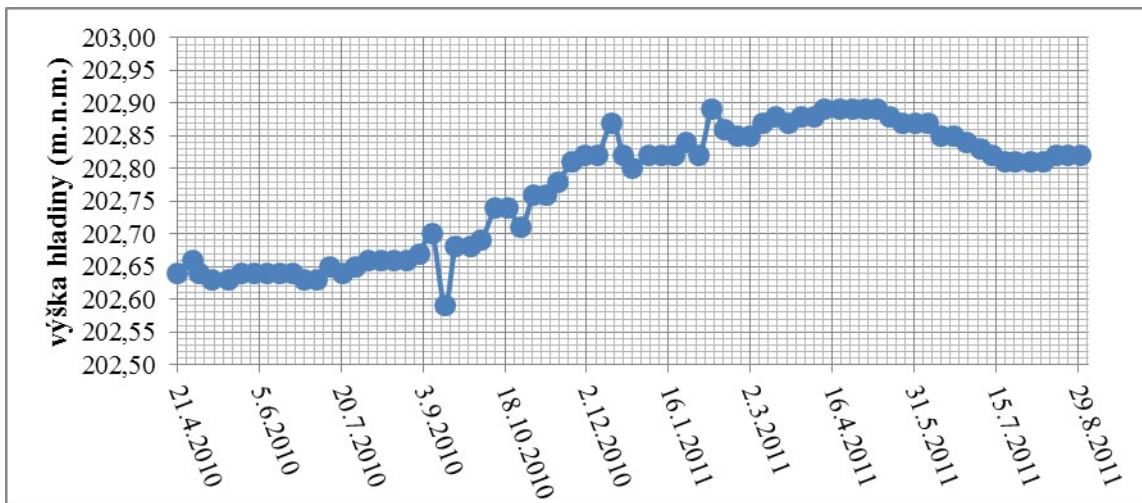
Data o průběhu ražby mi nebyla poskytnuta. Domnívám se, že většina ostřejších poklesů hladiny jsou vyvolány ražbou v blízkosti vrtu. Následný růst hladiny je způsoben zatěsněním po ražbě. Největší pokles hladiny byl zaznamenán u vrtů HG11 a HG13, tedy v oblasti Vypichu, kde započala ražba.



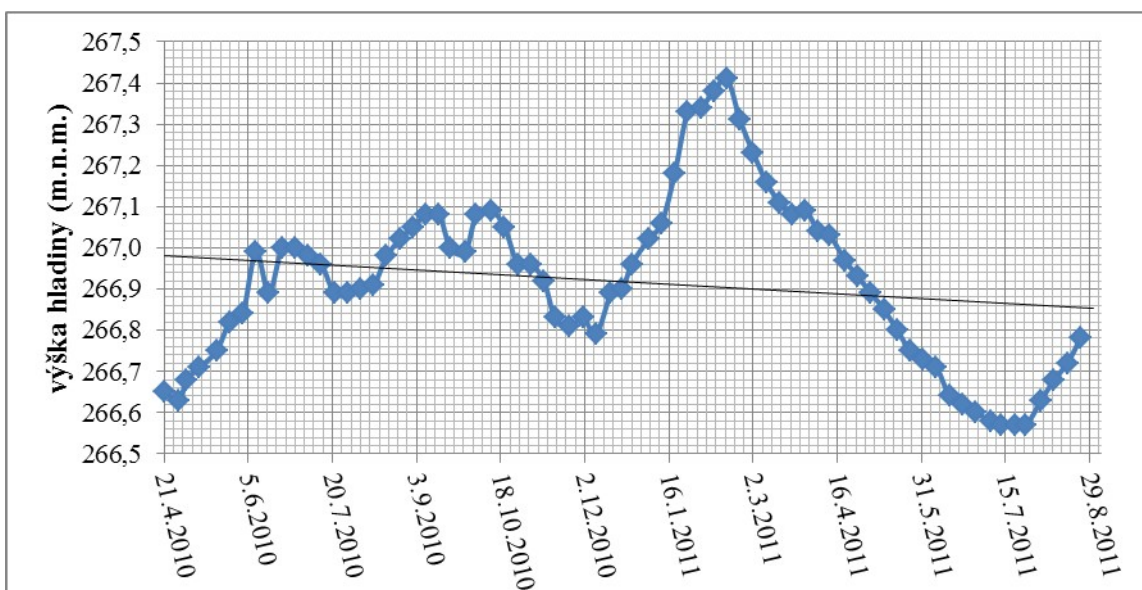
Obr. 11: Průběh výšky hladiny ve vrtu HG4 za dané období



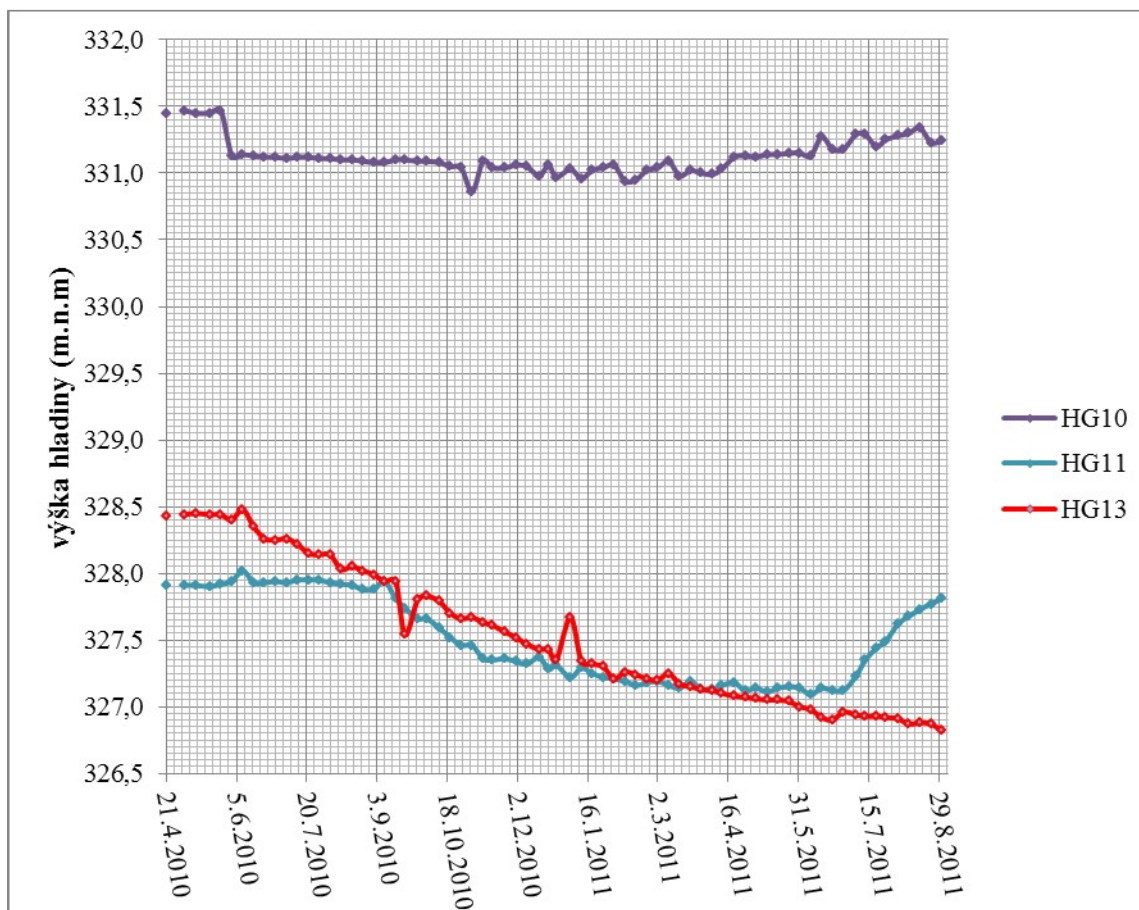
Obr. 12: Průběh výšky hladiny ve vrtu HG8 za dané období



Obr. 13: Průběh výšky hladiny u vrtu HG9 v daném období



Obr. 14: Průběh výšky hladiny u vrtu HG14 v daném období



Obr. 15: Průběh výšky hladin u vrtů HG10, HG11 a HG13 za dané období

7. Vyhodnocení chemismu podzemních vod

7.1. Objekty v ordovické zvodni

Připovrchová zvodně ordovických břidlic (HG8) vykazuje nejvyšší hodnoty síranů (příloha č.8) ($336 - 345 \text{ mg.l}^{-1}$), uvolňovaných zřejmě z oxidace pyritu. Dalším významným aniontem těchto vod je HCO_3^- ($297 - 320 \text{ mg.l}^{-1}$). Z kationtů je nejvíce zastoupen vápník ($131 - 190 \text{ mg.l}^{-1}$). Celková mineralizace se pohybuje v rozmezí $1060 - 1078 \text{ mg.l}^{-1}$.

7.2. Objekty v cenomanské zvodni

Podzemní vody z objektů v cenomanské zvodni mají hlavní aniont HCO_3^- . Koncentrace hydrogenuhličitanových aniontů u štol a pramenů se pohybuje mezi $85 - 300 \text{ mg.l}^{-1}$. Vápník je nejvýznamnější kationt těchto vod ($71 - 134 \text{ mg.l}^{-1}$). Zdrojem vápníku ve vodách svrchnokřídových hornin je převážně karbonátový tmel, ostatní zdroje vápníku ze srážek a plagioklasů jsou pravděpodobně podřadné (Pačes, 1982). Zvýšené koncentrace chloridů byly zjištěny jen u objektů HV5 a HV6 (příloha č.9) ($104 - 199 \text{ mg.l}^{-1}$). Dusičnany jsou též významným aniontem těchto vod (příloha č.10). Jejich koncentrace se pohybuje v rozmezí $13 - 117 \text{ mg.l}^{-1}$. U objektů P7, P8 a VZS nepřesahuje koncentrace dusičnanů limit ($<50 \text{ mg.l}^{-1}$) pro pitné vody dle Vyhlášky 252/2004 Sb. Obsah síranů se pohybuje v rozmezí $69 - 143 \text{ mg.l}^{-1}$. Koncentrace hořčíku se pohybuje $6 - 28 \text{ mg.l}^{-1}$.

V příloze č.6 a č.7 ukazuje téměř přímou úměru mezi koncentracemi Ca^{2+} - Mg^{+} a HCO_3^- - Ca^{2+} . Výraznější koncentrace sodíku byly zjištěny jen u objektu HV5 (97 mg.l^{-1}) a koncentrace draslíku u objektu P7 (příloha č.9), souvisí zřejmě s úniky splaškových vod. Obsah Fe^{2+} ve vzorcích vod byl téměř vždy pod analyzovatelným limitem ($<0,1 \text{ mg.l}^{-1}$). Výjimečné nadlimitní hodnoty (0,14-0,33 mg.l^{-1}) byly zjištěny u objektů P1, P7, P8 a HV6. Nejvyšší celkovou mineralizaci (vždy $> 700 \text{ mg.l}^{-1}$) vykazují objekty HV5 a P7. U ostatních objektů se celková mineralizace pohybuje v rozmezí 378 – 690 mg.l^{-1} .

7.3. Objekty v kvartérní zvodni

V kvartérní zvodni (HG9 a HG14) je nejvýznamnějším aniontem HCO_3 (314- 341 mg.l^{-1}). U vrtů HG9 a HG14 byly také zjištěny vysoké obsahy síranů (příloha č.8) (173 – 313 mg.l^{-1}). Z kationtů je nejvýznamnější vápník, u vrtu HG14 bylo zjištěno větší zastoupení hořčíku (90 – 93 mg.l^{-1}), sodíku (73 – 80 mg.l^{-1}) a chloridů (290-295 mg.l^{-1}). Vody z kvartérních hornin vykazují největší celkovou mineralizaci ze všech uvedených objektů (1245- 1655 mg.l^{-1}).

Z výsledků analýz vyplývá, že se jedná o vody typu Ca- HCO_3 , neboli kalcium hydrogenkarbonátový typ, u některých objektů se zvýšenou koncentrací chloridů, dusičnanů a síranů. Tyto zvýšené koncentrace napovídají o ovlivnění antropogenní činností (např. posyp vozovek, výskyt zvýšených koncentrací ve splaškových vodách a městské a průmyslové exhalace, které pronikají do atmosférických vod) (Pitter, 1999). Podle Alekina (1962) vody z cenomanských objektů spadají do třídy středně mineralizovaných vod (200-500 mg.l^{-1}), vody z kolektoru ordovických břidlic se pohybují v rozmezí vod se zvýšenou mineralizací (500-1000 mg.l^{-1}). Vody z vrtů HG9 a HG14 jsou vysoce mineralizované (nad 1000 mg.l^{-1}).

7.4. Objekty z jiných oblastí

Hodnoty chemického složení vod monitorovacích objektů jsem vykreslila na grafech K^+ - Cl^- , Ca^{2+} - SO_4^{2+} , Mg^{+} - Ca^{2+} , NO_3^- - Cl^- , Ca^{2+} - HCO_3^- a SO_4^{2+} - Na^+ (příloha č.6-11). Do grafů pro porovnání jsem vykreslila hodnoty chemického složení vod z jiných oblastí uvedené Záhrubským (2002). Jedná se o prameny z křídové plošiny v Dolní Chabrech (pramen Prdlavá a V rybníčkách), z křivoklátsko - rokycanského komplexu (pramen Kolouch a Tři prameny) a z Českého krasu (pramen Sv. Jan a Mariánský pramen). Křivoklátsko - rokycanský komplex je tvořen vyvělinami kambrického stáří. Jsou to suchozemské výlevy různých typů andezitů, dacitů a ryolitů, mezi nimiž jsou zastoupeny jak vápenato – alkalické, tak tholeiitické typy (Chlupáč et.al., 2002). Geologický podklad území Českého krasu tvoří především karbonáty a břidlice stáří ordoviku až devonu (Chlupáč et.al., 2002).

Všechny výše uvedené prameny mají hlavní aniont HCO_3^- a kationt Ca^{2+} .

Prameny z křídové plošiny (pramen Prdlavá a V rybníčkách) hodnotami chemického složení spadají na grafech (příloha č. 6-11) do bodového shluku tvořeného převážně monitorovacími objekty

v cenomanské zvodni. Výjimkou jsou velmi vysoké obsahy HCO_3^- (309 – 484 mg.l^{-1}) a Ca^{2+} (181 – 267 mg.l^{-1}), zvýšené koncentrace draslíku u pramene Prdlavá jsou srovnatelné se zvýšenými koncentracemi draslíku u P7 (příloha č.9) a též zvýšené obsahy síranů jsou srovnatelné s HG14 (kvartérní zvoďeň) a HG8 (ordovická připovrchová zvoďeň)(příloha č.8). Prameny z křivoklátsko – rokycanského komplexu (pramen Kolouch a Tři prameny) vykazují nejnižší hodnoty koncentrací u daných chemických složek (příloha č.6-11). Ve srovnání s monitorovacími objekty tyto prameny vykazují nižší obsahy chloridů a draslíku (příloha č.9), síranů a sodíku (příloha č.11), též jsou u obou pramenů velmi nízké koncentrace dusičnanů (příloha č.10). U Tři pramenů jsou též velmi nízké obsahy Ca^{2+} (24 – 35 mg.l^{-1}) a Mg^+ (příloha č.7). Prameny se svým složením nepodobají žádnému monitorovacímu objektu. Prameny z Českého krasu (pramen Sv. Jan a Mariánský pramen) se svým chemickým složením přibližují nejvíce monitorovacím objektům v kvartérní zvodni (HG9 a HG14). Výjimkou jsou nízké koncentrace chloridů, draslíku a dusičnanů (příloha č. 9 a 10).

7.5. Index nasycení (SI) vůči vybraným minerálům

Tabulka 9: Míra nasycení vody vzhledem k vybraným minerálům. + ... voda z daného objektu je přesycena vzhledem k danému minerálu ($\text{SI} > +0,3$); - ... voda z daného objektu je nenasycená ($\text{SI} < -0,3$); 0... vody je v rovnováze s minerálem (SI je -0,3 až +0,3). Kombinace znaků +/-, +/0 nebo +/0/- ukazují, že pro stejný objekt vykazovaly jednotlivé analýzy různé hodnoty SI.

objekt	zvoďeň	kalcit (CaCO_3)	dolomit ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$)	sádrovec ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)
P1	cenoman	+ / 0	+ / -	-
P3	cenoman	-	-	-
P7	cenoman	+	+	-
P8	cenoman	+ / 0	+ / -	-
P9	cenoman	0	-	-
HV1	cenoman	- / 0	-	-
HV3	cenoman	0	-	-
HV5	cenoman	- / 0	-	-
HV6	cenoman	- / 0 / +	- / +	-
VZS	cenoman	- / 0	-	-
HG4	cenoman	0	-	-
HG8	ordovik	0	-	-
HG9	kvartér	0	0	-
HG10	cenoman	- / 0	-	-
HG11	cenoman	0	-	-
HG13	cenoman	0	-	-
HG14	kvartér	0	- / 0	-

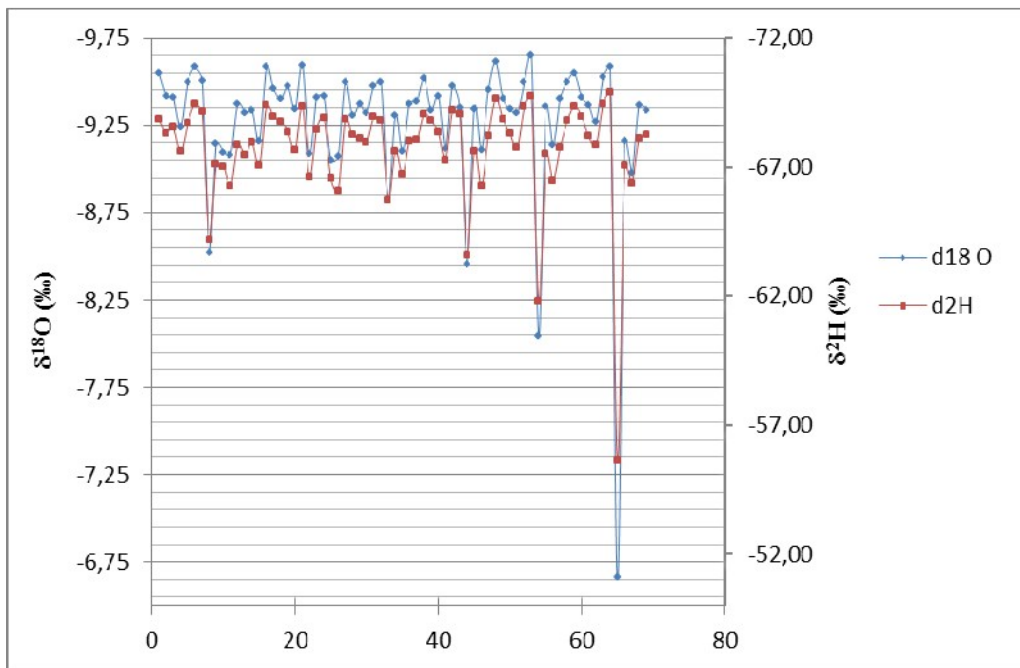
Z tabulky 9 je zřejmé, že ve všech případech jsou podzemní vody vzhledem k sádrovci nenasycené. Podzemní vody jsou vesměs nenasycené vzhledem dolomitu s výjimkou některých objektů cenomanské zvodně (P1, P7, P8 a HV6) a kvartérní zvodně (HG9 a HG14). Nenasycené, nebo

občasné nenasycené vůči kalcitu jsou vody u objektů P1, P7, P8, HV1, HV5, HV6, VZS a HG10. Naopak přesycené, nebo občasné přesycené vůči kalcitu jsou vody z objektů P1, P7, P8 a HV6. Vody z vrtů HG4, HG8, HG11, HG13 a HG14 jsou v rovnováze s kalcitem.

8. Interpretace záznamu o izotopovém složení vody

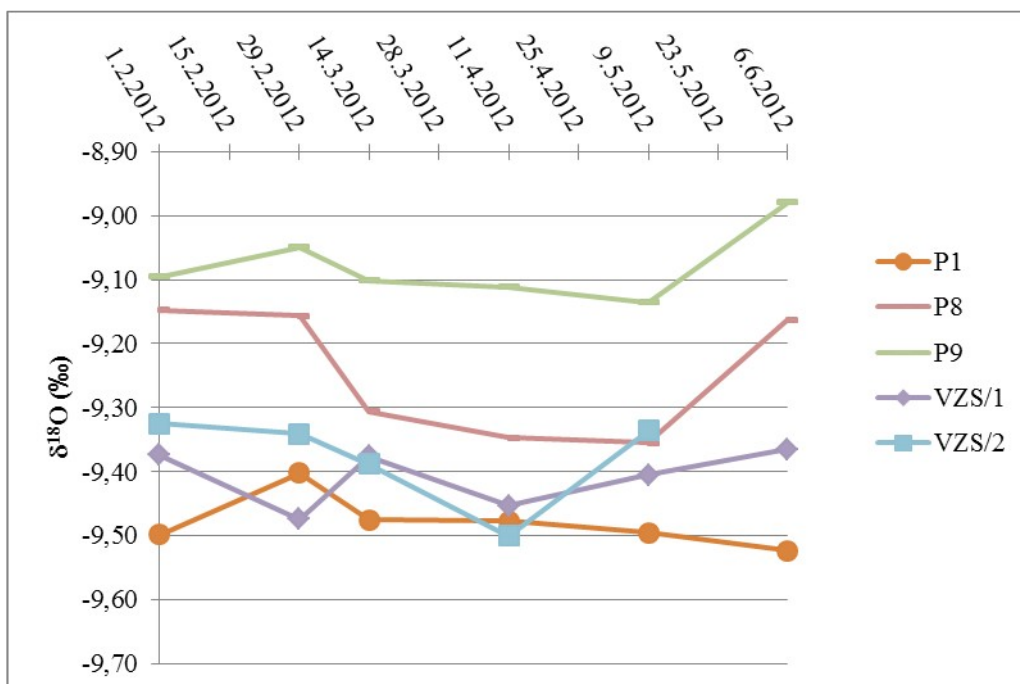
Tabulka 10: Hodnoty $\delta^{18}\text{O}$ všech objektů v čase

Název objektu	Den odběru	$\delta^{18}\text{O}$	$\delta^2\text{H}$	Název objektu	Den odběru	$\delta^{18}\text{O}$	$\delta^2\text{H}$
HV1	1.2.2012	-9,55	-68,85	VZS/1	14.3.2012	-9,38	-68,02
HV3	1.2.2012	-9,42	-68,29	VZS/2	14.3.2012	-9,39	-68,04
HV5	1.2.2012	-9,41	-68,54	HV1	11.4.2012	-9,52	-69,06
HV6	1.2.2012	-9,24	-67,59	HV3	11.4.2012	-9,34	-68,79
P1	1.2.2012	-9,50	-68,69	HV5	11.4.2012	-9,42	-68,33
P3/1	1.2.2012	-9,58	-69,43	HV6	11.4.2012	-9,11	-67,28
P3/2	1.2.2012	-9,51	-69,13	P1	11.4.2012	-9,48	-69,17
P7	1.2.2012	-8,52	-64,17	P3	11.4.2012	-9,35	-69,04
P8	1.2.2012	-9,15	-67,10	P7	11.4.2012	-8,46	-63,57
P9/1	1.2.2012	-9,10	-67,00	P8	11.4.2012	-9,35	-67,62
P9/2	1.2.2012	-9,08	-66,25	P9	11.4.2012	-9,11	-66,28
VZS/1	1.2.2012	-9,37	-67,86	VZS/1	11.4.2012	-9,45	-68,22
VZS/2	1.2.2012	-9,33	-67,45	HV1	9.5.2012	-9,61	-69,65
HV6	29.2.2012	-9,34	-67,93	HV3	9.5.2012	-9,40	-68,85
P8	29.2.2012	-9,16	-67,04	HV5	9.5.2012	-9,34	-68,28
P3/1	24.2.2012	-9,58	-69,39	HV6	9.5.2012	-9,32	-67,75
P3/2	29.2.2012	-9,46	-68,96	P1	9.5.2012	-9,50	-69,35
P1	29.2.2012	-9,40	-68,77	P3	9.5.2012	-9,65	-69,74
VZS/1	29.2.2012	-9,47	-68,37	P7	9.5.2012	-8,04	-61,77
VZS/2	29.2.2012	-9,34	-67,67	P8	9.5.2012	-9,35	-67,49
HV1	29.2.2012	-9,60	-69,36	P9	9.5.2012	-9,14	-66,49
P7	29.2.2012	-9,09	-66,62	VZS/1	9.5.2012	-9,40	-67,77
HV5	29.2.2012	-9,41	-68,45	VZS/2	9.5.2012	-9,50	-68,78
HV3	29.2.2012	-9,41	-68,92	HV1	6.6.2012	-9,55	-69,36
P9/1	29.2.2012	-9,05	-66,55	HV3	6.6.2012	-9,41	-68,96
P9/2	29.2.2012	-9,07	-66,08	HV5	6.6.2012	-9,37	-68,19
HV1	14.3.2012	-9,50	-68,85	HV6	6.6.2012	-9,27	-67,84
HV3	14.3.2012	-9,31	-68,24	P1	6.6.2012	-9,52	-69,46
HV5	14.3.2012	-9,37	-68,13	P3	6.6.2012	-9,58	-69,87
HV6	14.3.2012	-9,32	-67,95	P7	6.6.2012	-6,66	-55,63
P1	14.3.2012	-9,48	-68,93	P8	6.6.2012	-9,16	-67,05
P3	14.3.2012	-9,50	-68,82	P9	6.6.2012	-8,98	-66,37
P7	14.3.2012	-8,83	-65,73	VZS/1	6.6.2012	-9,37	-68,09
P8	14.3.2012	-9,31	-67,61	VZS/2	6.6.2012	-9,34	-68,25
P9	14.3.2012	-9,10	-66,73				

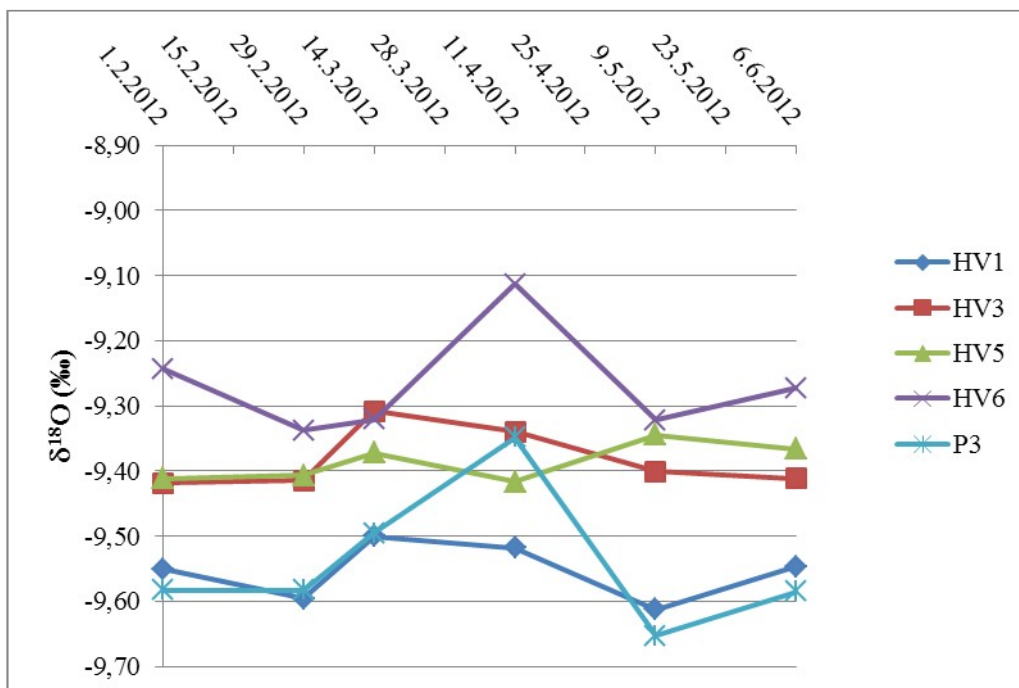


Obr. 16: Závislost mezi $\delta^2\text{H}$ a $\delta^{18}\text{O}$ naměřených v terénu

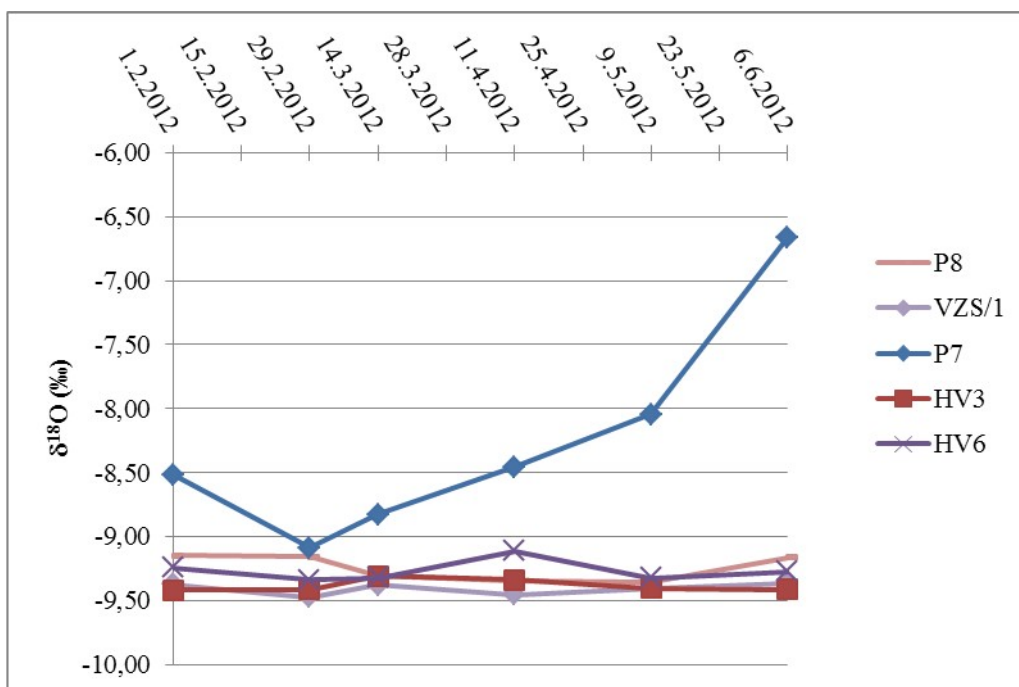
Vzhledem k tomu, že křivka $\delta^2\text{H}$ téměř kopíruje křivku $\delta^{18}\text{O}$ (obr.16), budu v dalších grafech výhradně vykreslovat jen křivku $\delta^{18}\text{O}$.



Obr. 17: Hodnoty $\delta^{18}\text{O}$ u Petřínských štol a pramenů v čase



Obr. 18: Hodnoty $\delta^{18}\text{O}$ u Petřínšských štol a pramenů v čase



Obr. 19: Hodnoty $\delta^{18}\text{O}$ Brusnice (P7) v čase ve srovnání s vybranými objekty

Z obr. 17, 18 a 19 je patrné, že všechny objekty nabývají dosti podobných hodnot. Většina objektů spadá svými hodnotami mezi -9,6 a -9,3 ‰, výjimkou jsou objekty P7, P8 a P9, jejichž průměrné hodnoty jsou -8,27 ‰, -9,25 ‰ a -9,08 ‰. U objektu P9 s vyrovnaným signálem v čase, který naznačuje přítomnost vody z jiného zdroje než u ostatních objektů v okolí. Velmi podobný trend mají objekty hradního vodovodu (obr.18): Hodnoty $\delta^{18}\text{O}$ u HV6 a P3 stoupají a dosahují maxima v dubnu

při 4. odběru. Od těchto objektů se mírně liší objekty HV1, HV3 a HV5, u kterých maxima křivka dosáhla již v březnu. Z obr. 17 je zřejmé, že objekty P1, P8, P9, VZS/1 a VZS/2 mají opačný trend než objekty na obr. 18. Křivka hodnot $\delta^{18}\text{O}$ objektů P9 a P8 klesá ke svému minimu v květnu, poté stoupá. Objekt P1 vykazuje klesavý trend hodnot $\delta^{18}\text{O}$ po celé měřené období, minima dosahuje až v posledním odběru v červnu. Odběry provedené ve Velké zahradní štolé nabývají velmi podobných hodnot, ale mají odlišný trend. Křivka VZS/1 dosahuje svého minima již v únoru, VZS/2 dosahuje minima až v dubnu. Hodnoty $\delta^{18}\text{O}$ u objektu P7 po dosažení svého minima v únoru strmě stoupají. Tento trend je naprosto odlišný od ostatních objektů (obr.19) a amplituda hodnot $\delta^{18}\text{O}$ je výrazně vyšší, než je tomu u ostatních objektů (tabulka 11).

Z důvodu časově omezeného záznamu měření se u objektů sledující fluktuaci stabilních izotopů kyslíku a vodíku během části hydrologického cyklu těžko stanovuje střední doba zdržení podle rovnice (6). V tomto případě lze provést jen přibližný odhad. U těchto objektů je navíc voda z různých izotopově výrazných období již natolik smíchaná, že na průběh měření tedy nelze rovnici (6) spolehlivě aplikovat. Tuto rovnici lze obecně pro jednoletý či víceletý záznam i tak aplikovat jen pokud předpokládaná doba zdržení nepřesahuje hranici 5 let, právě z důvodu významného mísení vod a nemožnosti stanovit parametry vstupující do rovnice (6). Zde prezentované měření pokrývá období kratší než půl roku, pro kvalifikovaný odhad doby zdržení je nutné analyzovat záznam minimálně jednoletý (Šanda, ústní sdělení). Přesto lze odhadnout střední dobu zdržení u objektů více fluktuujících (P3, P7, P8, P9, HV6 a VZS/2) shrnutých v tabulce 11. Objekty s nižším průměrem mají více vody ze zimního období.

Tabulka 11: Vypočtená amplituda hodnot $\delta^{18}\text{O}$ a přibližný odhad střední doby zdržení dle vzorce (6)

Název objektu	Amplituda $\delta^{18}\text{O}$	Průměrná hodnota $\delta^{18}\text{O}$	odhad střední doby zdržení
HV1	0,11	-9,55	> 5 let
HV3	0,11	-9,38	> 5 let
HV5	0,07	-9,39	> 5 let
HV6	0,22	-9,27	2,5 - 3,5 roku
P3	0,3	-9,54	1,5 - 2,5 roku
P1	0,12	-9,48	> 5 let
P8	0,21	-9,25	2 - 4 roky
P7	2,42	-8,27	2 - 4 měsíce
P9	0,16	-9,08	3 - 5 let
VZS/1	0,11	-9,41	> 5 let
VZS/2	0,18	-9,38	3-4,5 let

9. Závěr

Monitorovací objekty v okolí stavby metra A jímají povětšinou vodu z cenomanské zvodně, až na tři výjimky. Vrtů HG9 a HG14 jsou otevřené na úrovni kvartérní zvodně a vrt HG8 jímá podzemní vodu z ordovických břidlic.

V období 21.4.2010 – 31.8. 2011 u objektů monitoringu byly zaznamenány jen výjimečné změny v jejich režimu. Dle spočteného variačního koeficientu ($C_v = 0,001 - 0,062$) vydatnost všech objektů je velmi vyrovnaná. Odchyly od střední hodnoty jsou u všech objektů výjimečné. Průměrné hodnoty pH všech objektů spadají do oblasti neutrálních vod (7,0 – 7,9). Hodnoty pH vykazují velmi malou míru variability, z výpočtu korelačních koeficientů nebyl nalezen žádný vztah mezi vydatností objektu a pH vody. Výjimkou jsou jen objekty P1 a HV6, kde byla zjištěna velmi nízká lineární závislost mezi vydatností a pH vody. Průměrné hodnoty konduktivity u štol a pramenů naznačují nižší až střední mineralizaci vody. Hodnoty konduktivity vykazují malou míru variability. Výrazný časový průběh hodnot konduktivity zaznamenal objekt P8, kde hodnoty začaly klesat v prosinci 2010, kdy se zvyšovala vydatnost objektu (P8). Pokles je pravděpodobně způsoben náhlým přítokem méně mineralizované vody. Z výpočtu korelačního koeficientu jsem zjistila jedinou lineární závislost mezi vydatností objektu a konduktivitou vody u HV6 ($r = -0,61$). Teplota vody u všech objektů výrazněji nereaguje na změnu teploty vzduchu, výjimkou je povrchový tok P7 (0,3 – 25 °C). Jen u objektu P8 byla nalezena lineární závislost mezi teplotou vody a vydatností objektu ($r = -0,67$).

Výrazné poklesy a následný nárůst hladiny podzemní vody je v hydrogeologických vrtech HG4, HG11, HG13 a HG14 pravděpodobně způsoben vlivem ražby.

Podzemní vody ze všech objektů jsou typu Ca – HCO₃, neboli kalcium hydrogenkarbonátový typ. Objekty se liší zvýšenou koncentrací chloridů, dusičnanů nebo síranů. Ve vrtu HG8 (ordovická zvodně) je podzemní voda dle Alekina (1962) se zvýšenou mineralizací a s velmi zvýšenou koncentrací síranů, zřejmě z oxidace pyritu. Podzemní voda z cenomanské zvodně, až na výjimky (HV5 a P7), spadá dle Alekina (1962) do třídy středně mineralizovaných vod. Výjimečné zvýšené koncentrace sodíku a chloridů jsou u objektů HV5 a P7 zřejmě souvisejí s únikem splaškových vod. Podzemní voda z kvartérní zvodně je dle Alekina (1962) vysoce mineralizovaná s vysokým obsahem hořčíku, sodíku, chloridů a síranů (HG14). Vody ze všech objektů jsou nenasycené vzhledem k sádrovci. Vody jsou nenasycené vzhledem k dolomitu, s výjimkou některých objektů v cenomanské a kvartérní zvodni. Nenasycené, nebo občasné nenasycené vůči kalcitu jsou vody u objektů P1, P7, P8, HV1, HV5, HV6, VZS a HG10. Naopak přesycené, nebo občasné přesycené vůči kalcitu jsou vody z objektů P1, P7, P8 a HV6. Vody z vrtů jsou v rovnováze s kalcitem.

Z období 1.2. 2012 – 6.6. 2012 jsem získala u objektů (P1, P3, P7, P8, P9, HV1, HV3, HV5, HV6 a VZS) krátký záznam o izotopovém složení kyslíku a vodíku. Měření pokrývá období kratší než půl roku, pro kvalifikovanější odhad střední doby zdržení je nutné analyzovat minimálně roční záznam.

V tomto případě jsem provedla jen přibližný odhad u objektů více fluktuujících (HV6, P3, P7, P9 a VZS/2). Nejdelší dobu zdržení vykazují štolý na Petříně VZS/2 a P9, střední doba zdržení se zde pohybuje 3 – 5 let. U objektu P8 se střední doba zdržení pohybuje v rozmezí 2 – 4 roky. Kratší dobu zdržení vykazují štolý hradního vodovodu. U štolý HV6 se pohybuje v rozmezí 2,5 – 3,5 roku a u štolý P3 od 1,5 až 2,5 roku. V povrchovém toku Brusnice P7 je střední doba zdržení v řádu prvních měsíců (2-4 měsíce). U objektů P1, HV1, HV3, HV5 a VZS/1, kde přepokládaná doba zdržení přesahuje hranici 5 let, jsem nestanovovala odhad střední doby zdržení.

10. Použité zdroje

- Alekin, O. A. (1962):** Grundlagen der Wasserchemie: Eine Einführung in die Chemie natürlicher Wässer, Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie. Leipzig. 260 s.
- Appelo, C. A. J., Postma D., 2005:** Geochemistry, groundwater and pollution. 2nd ed. Leiden: Balkema, 649 s.
- Buchtík, J. 1973:** Pražský vodovod. Historie současnost. Výstavba a výhled, St. nakl. techn. lit. Praha. 127 s.
- Clark, I. D., Fritz P., 1997:** Environmental isotopes in hydrogeology. CRC Press/Lewis Publishers, Boca Raton, FL, 328 pp.
- Craig, H., 1961:** Isotopic variations in meteoric waters. Science, 133, p. 1702 – 1703
- Čurda, J., 2006:** Hydrogeologická charakteristika areálu Břevnovského kláštera v Praze, Zprávy o geologických výzkumech v roce 2006, ČGS, Praha, 183 – 186 s.
- Čurda, J., 2006:** Jubilující Břevnov očima hydrogeologa, Zprávy o geologických výzkumech v roce 2006, ČGS, Praha, 187-191 s.
- Daangard, W., 1964:** Stable isotopes in precipitation, Tellus 16, Vol. 4, 436 -468 s.
- Domenico, P. A., Schwartz, F. W., 1998:** Physical a chemical hydrogeology, 2nd ed. John Wiley & Sons. New York, 824 p.
- Gat, J. R., 1971:** Isotope Hydrology, A Study of the watercycle. Weizmann Institute of Science, Israel, 186 s.
- Chlupáč, I., 1988:** Geologické zajímavosti pražského okolí. 1. vyd. Academia Praha, 249 s.
- Chlupáč, I., Brzobohatý, R., Kovanda, J., Stráník Z., 2002:** Geologická minulost České republiky. 1. vyd. Academia, Praha, 436 s.
- Jásek, J. 1997:** Klenot Města: Historický vývoj pražského vodárenství, VR – ateliér, Praha, 148 s.

Kendall, C., McDonnell, J.J., 1998: Isotope Tracers in Catchment Hydrology. Elsevier Science B.V., Amsterdam, 839 s. ISBN: 0444815465

Kovanda J., Balatka B., Bernand J.H., Brunnerová Z., Březinová D., Bukovanská M., Cílek V., Fridrichová M., Havlíček V., Holub V., Hrdlička L., Chlupáč I., Kadlecová R., Kachlík V., Kaprasová E., Kleček M., Král J., Kříž J., Lochmann Z., Lysenko V., Mašek J., Šalanský K., Tomášek M., Zelenka P., 2001: Neživá příroda Prahy a jejího okolí, 1.vyd. Academia, Praha, 216 s.

Kunovjánek, A., Říha, V. 2010: Hydrogeologický monitoring Metra V.A před zahájením stavby: závěrečná zpráva. Arcadis Geotechnika, Praha, 26 s., GF: P127990

Pačes, T., 1982: Základy geochemie vod, Academia, Praha, 304 s.

Parkhurst, L., Appelo, C.A.J., 1999: Users guide to PHREEQC (version 2) – A computer program for speciation, batch – reaction, one – dimensional transport, and inverse geochemical calculations. U.S. Geological survey, Denver, Colorado, 312 s.

Pitter, P. 1998: Výpočet celkové mineralizace a její význam v hydrochemii, Chem.listy, 92, Praha, 772 – 776 s.

Pitter, P., 1999: Hydrochemie, 3.vyd., vydavatelství VŠCHT, Praha, 568 s.

Quitt, E., 1971: Klimatické oblasti Československa: Climatic regions of Czechoslovakia. Geografický ústav ČSAV, Brno, 82 s.

Řepka, L., 1969: Praha –Strahov. Závěrečná zpráva. Stav. geologie Praha,11 s. GF: V060647

Řepka, L., 1984: Informativní zpráva o historických kartografických pramenech k vývoji morfologie Petřína, Stav. geologie Praha, 6s. GF: P047760

Řepka, L., 1985: Inženýrskogeologické a základové poěry konventního traktu kláštera sv. Markéty v Praze 6 – Břevnově, Stav. geologie Praha,8 s. GF: P047741

Řepka, L., 1987: Inženýrskogeologické a hydrogeologické poměry širšího okolí Petřína, Stavební geologie Praha, 6 s. GF: P055297

Smolař, Z., Novotný, J., 2007: Prodloužení trasy A metra v Praze ze stanice Dejvická – předběžný geotechnický průzkum pro DÚR, traťové úseky V. A1 a V. A2 Dejvická – Petřiny – Motol, GeoTec – GS, a.s., Geotechnika, a.s. Praha

Smolař, Z., Novotný, J., 2008: Prodloužení trasy A metra v Praze ze stanice Dejvická, Posouzení vlivu stavby na režim podzemních vod v úseku mezi stanicemi Dejvická – Motol, GeoTec – GS, a.s., Praha, 24 s.

Šanda, M., Vitvar, T., Holko, L., Blažková, Š., Bůzek, F., Císlerová, M., Fottová, D., Kostka, Z., Kulasová, A., Kvítek, T., Šnytr, O., Tachecí, P., Tesař, M., Vícha, Z., Žlábek, P., 2011: Využití stabilních izotopů vodíku a kyslíku v hydrologii malých experimentálních povodí České a Slovenské republiky, Ústav pro hydrodynamiku, Praha, 14 s.

Veger, J., 1993: Prameny a vodovodní štoly na území Prahy. 1. vyd. Výzkumný ústav vodohospodářský T.G. Masaryka, Praha, 104 s.

Vojíř, V., 1985: Podzemní Praha. Stalagmit roč.16,č.2, 7-9 s.

Vojíř, V., 2007: Podzemní Praha: Malá kniha z historického pozemí velkoměsta. vydavatel V.Vojíř, Praha, 128 s.

Záhrubský, K., 2002: Možnost využití izotopů uhlíku ^{14}C a ^{13}C v hydrogeologii Českého krasu. Disertační práce, Univerzita Karlova, Praha, 136 s.

Záruba, Q., 1948: Geologický podklad a základové poměry vnitřní Prahy. Státní geologický ústav ČS, Praha, 83 s.

Zavřel J., 2002: Pražský vrch Petřín. Nakl. Paseka, Praha, 211 s.

Ziegler, V., 1994: Sedimenty České křídové pánve na území hl. m. Prahy, Natura Pragensis, Studie o přírodě Prahy, Český ústav ochrany přírody, Praha, 60-63 s.

Yurtsever, Y., Araguas Araguas, L., 1993: Enviromental isotopeapplications in hydrlogy: an overview of IAEA`s activities, experiments and propects. Tracers in hydrology (Proc. Yokohama Symp. 1993) IAHS Publ.no 215

Ostatní zdroje

<http://portal.chmi.cz>

Vyhláška 252/2004 Sb. - hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu četnost a rozsah kontroly pitné vody

