

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



# **Možnosti využití základního chemizmu pro rozlišení subkolektorů v české křídové pánvi: rajon 464**

**Use of major chemistry to distinguish sub-aquifers  
in Bohemian Cretaceous Basin: area 464**

## **BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

Tomáš Weiss

Vedoucí: RNDr. Jiří Bruthans, PhD.

Praha, 2012

## **Prohlášení:**

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

V Radotíně a Kosoři, 24. srpna 2012

## **Poděkování:**

Rád bych zde poděkoval především svému školiteli RNDr. Jiřímu Bruthansovi, PhD. za jeho velice užitečné připomínky, rady a inspirativní myšlenky. Dále svým rodičům a bratrovi za podporu, korektury, kritiku i všechno ostatní, na což zde není prostor. Rád bych také poděkoval Andulce Čechové a jejím rodičům za psychickou podporu a azyl před stavebními pracemi, babičce za výtečné buchty a českému jazyku za množství ekvivalentů cizojazyčných termínů.

## Abstrakt

Autor studuje vztah základního chemizmu (pH, celkovou mineralizaci, koncentraci iontů:  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  a  $\text{HCO}_3^-$ ) hydrogeologických vrtů podél geologického řezu v jižní části rajonu 464 v české křídové pánvi a genetických sekvencí, do kterých zasahují otevřené úseky vrtů. Bylo zjištěno, že podle základního chemizmu nelze rozlišit genetické sekvence. Ze studovaného chemizmu pouze pH a koncentrace iontů  $\text{Ca}^{2+}$  a  $\text{HCO}_3^-$  vykazují souvislost s genetickými souvrstvími. Tato souvislost je v obou případech neprůkazná. Koncentrace  $\text{Ca}^{2+}$  a  $\text{HCO}_3^-$  jsou průměrně nejnižší v horní polovině genetické sekvence TUR 3, koncentrace stoupá do vyšších i nižších souvrství. Hodnota pH průměrně klesá směrem do starších genetických souvrství. Porovnání základního chemizmu a geografického umístění vrtů neukázalo relevantní závislost. Pro studium vztahu mezi genetickými sekvencemi a chemizmem byly použity dvě metodiky M1 a M2. Metodika M1 zpočívá v označení vrtů genetickou sekvencí, ve které má vrt otevřený úsek. Metodika M2 pracuje s relativní výškou nad bází cenomanu.

## Abstract

The author studies the relationship between major water chemistry (pH, total mineralization, ion concentration:  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  and  $\text{HCO}_3^-$ ) of hydrogeological boreholes alongside the geological cross-section in the southern part of the 464 area in the Bohemian Cretaceous Basin and the depositional sequences that lie at the open part of the boreholes. It was discovered that it is impossible to differentiate the depositional sequences based on the major chemistry. Out of all the chemistry studied only pH and  $\text{Ca}^{2+}$  and  $\text{HCO}_3^-$  concentrations show some dependence on the depositional sequences. However, in both cases this dependence is not sufficiently proven.  $\text{Ca}^{2+}$  and  $\text{HCO}_3^-$  concentrations are the lowest on average in the upper part of the TUR 3 depositional sequence and the concentrations decrease both towards the upper and the lower depositional sequences. The pH value on average gradually decreases towards the older depositional sequences. There was no relevant relationship found between the major chemistry and the geographical location of the boreholes. There were two methods (M1 and M2) used in this study for assessing the relationship between the depositional sequences and the major chemistry. Method M1 labels each borehole with its own mark of a depositional sequence that lie at the open part of the borehole. Method M2 uses simply a relative height above the cenoman base.

## Obsah

Seznam použitých zkratk	VII
1. Úvod	1
2. Geologie a hydrogeologie	2
2.1 Litologie	4
2.2 Sekvenční stratigrafie	7
2.3 Tektonika	9
2.4 Hydrogeologie	10
3. Metodika	14
3.1 Metodika M1	15
3.2 Metodika M2	15
3.3 Vztah chemizmu ke geografickému umístění vrtů	16
4. Výsledky	17
4.1 Metodika M1	17
4.2 Metodika M2	20
4.3 Vztah chemizmu ke geografickému umístění vrtů	25
5. Diskuze	27
6. Závěr	29
Seznam literatury	31
Přílohy A až F	nečíslováno

## Seznam použitých zkratk

ČKP	-	česká křídová pánev
HG	-	hydrogeologie, hydrogeologický
GS	-	genetická sekvence
GPS84	-	Global Positioning System verze 1984
S-JTSK	-	Systém jednotné trigonometrické sítě katastrální
kap.	-	kapitola
S	-	sever
J	-	jih
Z	-	západ; vertikální Z souřadnice
V	-	východ
ČGS	-	Česká geologická služba
ČGU	-	Český geologický ústav
ÚGÚ	-	Ústřední geologický úřad
ÚÚG	-	Ústřední ústav geologický
p.	-	strana
ČSAV	-	Československá akademie věd

# 1. Úvod

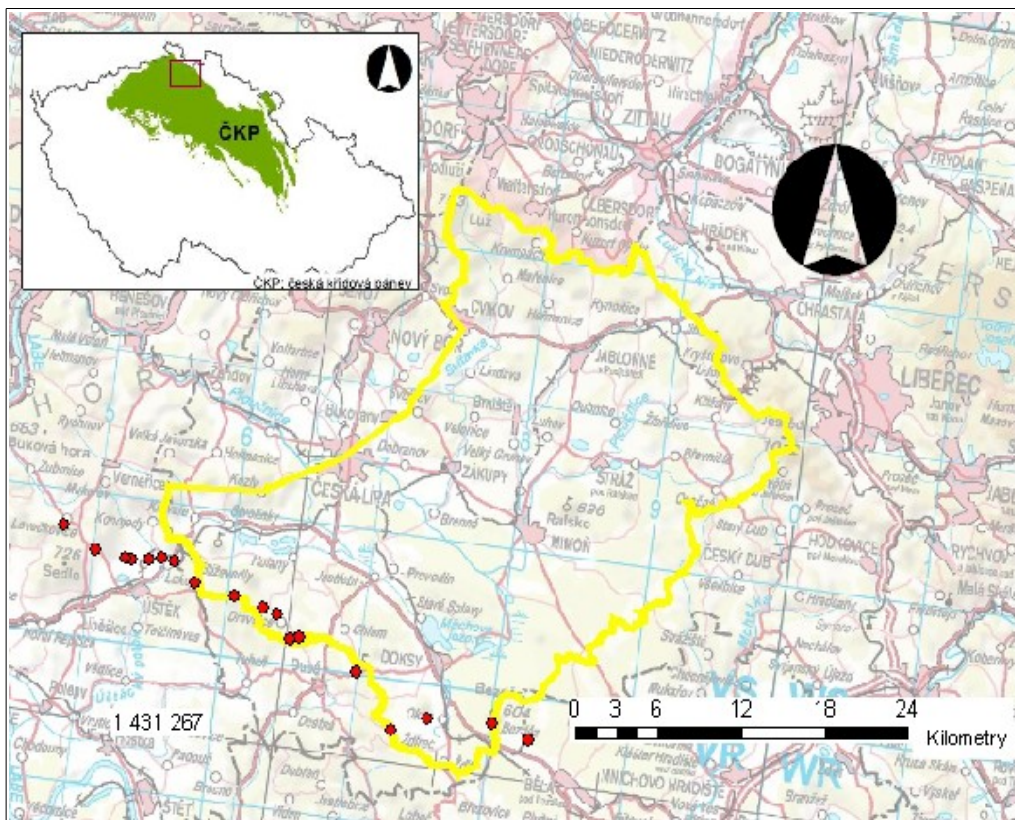
Tato práce se snaží na základě hydrochemického složení podzemní vody v části České křídové pánve přispět k popisu hydrogeologického režimu oblasti. Česká křídová pánev je významně prozkoumávána od 30. let 20. století pro své zásoby vody, a to především kvůli její vysoké kvalitě a příznivým hydraulickým parametrům. Podzemní voda byla zkoumána mnoha autory, mezi zásadní patří studie od Hynie (1961) a Herčíka et al. (2003).

Herčík et al. (2003) částečně zkoumal rozdíly hydrochemického složení kolektorů a subkolektorů v celé české křídové pánvi. Díky projektu Rebilance zásob podzemních vod (Mixa et al., 2010) a zásadnímu posunu ve využití počítačové techniky od roku 1990, kdy vznikly podklady pro práci Herčíka et al. (2003), se naskytla možnost porovnat chemické složení podzemní vody v různých úrovních pánevní výplně s daty o vyšším počtu i přesnosti.

Práce si klade za cíl určit, zda je v kolektorech a subkolektorech v oblasti jižní části hydrogeologického rajónu 464 (sensu Olmer and Kessl, 1990) a jeho blízkého okolí dostatečný rozdíl v chemickém složení podzemní vody např. k rozlišení jednotlivých kolektorů a případných subkolektorů.

Všechny informace v této zprávě jsou zaměřeny na oblast hydrogeologického rajónu 464 (pokud není výslovně uvedeno jinak). Pokud se tedy v textu mluví o oblasti nebo území a tato není blíže specifikována, má se na mysli hydrogeologický rajón 464, a to především jeho jižní část a jeho blízké okolí.

Studované území jsem vybral z následujících důvodů: Předně je charakteristické vysokou hustotou dat a současně se zde neprovádí žádný obdobný výzkum. Herčík et al. (2003) považuje toto území za nejkompexnější hydrogeologickou strukturu v celé ČKP, což potvrzují i hydrochemická data z pramenů, která často neodpovídají očekávanému složení na základě litologického složení. Herčík et al. (2003) uvažuje na severovýchodě studovaného území o přítomnosti spojeného kolektoru ABC, a tak se zde naskýtá příležitost tento pohled prověřit využitím hydrochemických dat z hydrogeologických vrtů. Dalším důvodem je fakt, že kumulativní mocnost kvádrových pískovců v ekvivalentu kolektoru C je právě v tomto území nejvyšší (Uličný et al. 2011b).

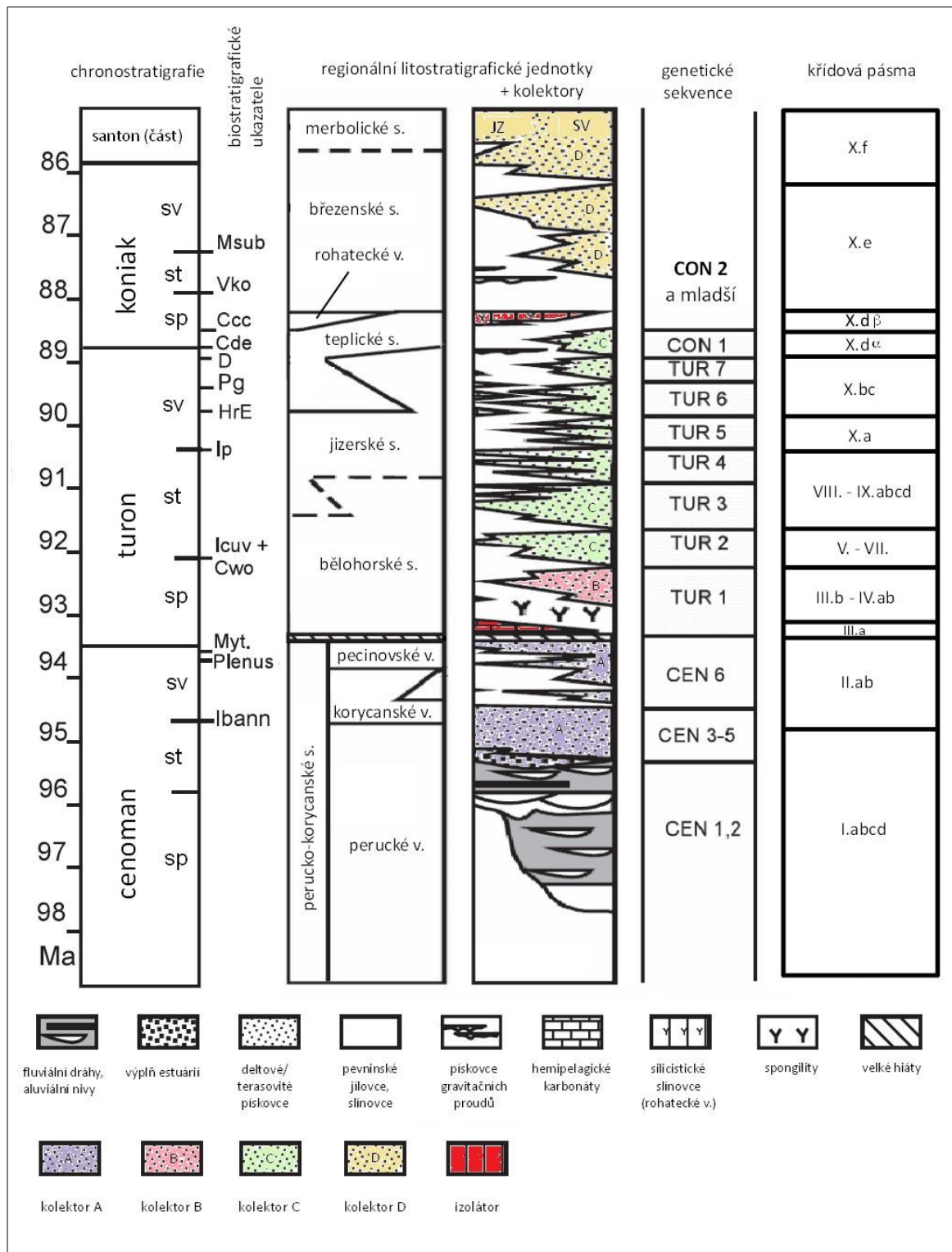


Vyvětlivky: žlutá oblast - hranice HG rajónu 464; červené body - vrtů použité na sestavení řezu S3

Obr. 1.1 Přibližná lokalizace HG rajónu 464 a vrtů použitých na sestavení řezu S3 na podkladu mapy zlomů a izolinií nadmořských výšek báze turonu. HG rajón 464 na podkladě mapy od CENIA (2012) a výřez mapy ČR upraven podle Uličného et al. (2011a).

## 2. Geologie a hydrogeologie

Česká křídlová pánev je největší dochovanou sedimentační pánví na území České republiky, jejíž původní rozsah sahal až k elevaci Brd, Hřebenů a východněji do Posázaví (Čech, 1989). Sedimentární výplň ČKP sahá stratigraficky od spodního cenomanu (místy i pozdního albu) do santonu, tzn. celkem do období 13 – 15 miliónů let (Uličný et al. 2009a; Pražák et al. 1994). Čech (1989) píše, že během svého vzniku ČKP tvořila spojnicí pánve Severního moře a Tethydy. V současné době plocha ČKP na území České republiky dosahuje 12 490 km<sup>2</sup> a studovaná oblast jen její malou část (cca 850 km<sup>2</sup>).



vysvětlivky: Ma - miliony let před současností; s. - souvrství; v. - vrstvy; JZ - jihozápad; SV - severovýchod; Msub - *Magadiceramus subquadratus*; Vko - *Volviceramus koeneni*; Ccc - *Cremnoceramus crassus crassus*; Cde - *Cremnoceramus deformis erectus*; D - *Didymotis*; Pg - *Prinocyclus germari*; HrE - *Hyphantoceras Event*; Ip - *Inoceramus perplexus*; Icu - *Inoceramus cuvieri*; Cwo - *Collignoniceramus woollgari*; Myt. - přítomnost rodu *Mytiloides*; Plenus - *Praeactinocamax plenus*; Ibann - *Inoceramus bannewitzensis*

Obr. 2.1 Stratigrafické schéma pro severovýchodní část české křídové pánve zobrazující chronostratigrafii podle Ogga et al. (2004); hlavní pánevní biostratigrafické ukazatele a regionální litostratigrafické jednotky podle Čecha (1980); genetické sekvence podle Uličného et al. (2009a); kolektory A až D podle Herčíka et al. (2003) a křídová pásma Č. a B. Zahálky (upravené Soukupem, 1955). Celé schéma upraveno podle Uličného et al. (2009a).

Uličný et al. (2009a) i Malkovský et al. (1974) se shodují na tom, že dlouhodobá akumulární rychlost byla nižší během spodního až středního turonu (s několika intrapánevními zlomy) a zrychlovala se během pozdního turonu a spodního koniakku až patrně do stupně santonu, kdy začal být prostor vyzdvihován.

Herčík et al. (2003) rozděluje s výjimkou perucko-korycanského souvrství výplň pánve na dvě facie: pánevní facii a facii v blízkosti zdroje. Pánevní facie je charakteristická vápenatými jílovcí až slínovci, místy i karbonáty (jílovitými biodetrickými vápenci) a vápenato-jílovitými slínovci. Facie v blízkosti zdroje je naproti tomu psamitická o různé hrubosti s kolísavým zastoupením matrix nebo tmelu.

## 2.1 Litologie

Na obr. 2.1 jsou zobrazeny regionální litostratigrafické jednotky, které zde podrobněji popisují. Lorenz et al. (1964) představuje pouze jediné litostratigrafické schéma pro Žitavskou pánev, České středohoří a Českou křídovou tabuli. Tímto značně zjednodušuje reálnou situaci, která je nejen litologicky značně heterogenní. To dokládá kromě mnoha autorů (Malkovský et al., 1974; Uličný et al., 2009a, 2009b; Valečka in Herčík et al., 2003) i komentář dvou vrtů ve studovaném území v příloze A. Přehled stavu litostratigrafie do roku 1999 podal nejlépe Valečka (in Herčík et al., 2003).

Každé souvrství je nejdříve přiblíženo regionálně - tzn. z hlediska celé ČKP - a následuje popis charakteru souvrství v zájmovém území.

### ***Perucko-korycanské souvrství***

Cenoman (a místy i alb) české křídové pánve je tradičně např. podle Malkovského et al. (1974) dělen na sladkovodní a mořský. Sladkovodní je reprezentován peruckými vrstvami, mořský vrstvami korycanskými a pecinovskými. Mořské sedimenty se usazovaly po středocenomanské transgresi (Čech and Valečka, 1991). Oddělení sladkovodních a mořských sedimentů ale není ostré a často nejednoznačné (Malkovský et al., 1974).

Perucké vrstvy jsou podle Malkovského et al. (1974) charakteristické svým cyklickým opakováním vrstev křemenných slepenců až pískovců a prachovců až jílovců. Mocnosti jsou značně proměnlivé.

Typickou litologií korycanských vrstev jsou mělkomořské světle šedé nebo do červena zbarvené, často diagonálně zvrstvené pískovce s kaolinickou matrix (Malkovský et al., 1974). V cenomanském mělkém moři se kolem vyčnívajících útesů tvořila také příbojová a litorální facie pískovců a slepenců až písčitých vápenců (Soukup, 1955). Nejvyšší vrstvy perucko-korycanského souvrství Uličný and Špičáková (1996) jako první označují názvem pecinovské vrstvy.

V studovaném území jsou všechny sedimenty z cenomanského období mocné nejčastěji cca 50 m (Uličný in Kadlecová et al., 2012a). Perucké vrstvy jsou litologicky velice heterogenní, jelikož jsou podle Uličného et al. (2009b) tvořeny mnoha paralelními paleoúdolími. Ve spodních částech se zde vyskytují facie fluviálních drah a aluviálních niv, stratigraficky výše pak místně výplně estuárií a svrchní část je tvořena čistě pískovci (Uličný et al., 2009a, 2009b). Müller (in Malkovský et al., 1974) popisuje složení celých korycanských vrstev jako psamity. Pecinovské vrstvy jsou složeny z jinde neobvyklých hrubozrnných pískovců s valouny (Valečka in Herčík et al., 2003).

### ***Bělohorské souvrství***

Bělohorské souvrství přichází po stratigrafickém hiátu současně při stoupající hladině moře. Na bázi souvrství se nachází poloha vápnitých šedozelených glaukonitických jílovců místy s valouny křemene či s hlízy fosfátů. Nad bázi se často vyskytují světle šedé a žlutavé slínovce s prachovou matrix nebo křemenné kvádrové pískovce. (Malkovský et al., 1974)

Ve studovaném území dosahuje mocnost souvrství až 200 m. Po cca 60 m jílovců, slínovců a prachovců se ze západu území zvyšuje podíl jemnozrnných až hrubozrnných pískovců až pískovcová facie převažuje na celém území rajónu (Uličný in Kadlecová et al., 2012a). Na pecinovských vrstvách spočívají hlubokomořské pánevní facie slínovců. Glaukonitový horizont na bázi bělohorského souvrství na stratigrafickém hiátu je v rajónu 464 přítomen jen na V a JV. Studovaná oblast má často nahoru hrubnoucí cykly sledů, které končí pískovci. (Valečka in Herčík et al., 2003)

### ***Jizerské souvrství***

Během sedimentace jizerského souvrství pokračuje transgresní režim. Blíže ke zdroji je pánev tvořena mocnými tělesy kvádrových, místy slinitých pískovců, dále v pánvi se ukládaly spíše vápnité jílovce, slínovce a opuky. (Malkovský et al., 1974)

Mocnost jizerského souvrství se v studovaném území pohybuje okolo 140 m. (Uličný in Kadlecová et al., 2012a). Jizerské souvrství začíná pískovci, které jsou jemnozrnné a jílovitého a/nebo vápnitého charakteru, a tak jsou dobře rozeznatelné od střednozrnných až hrubozrnných křemenných pískovců ve svrchní části bělohorského souvrství. V blízkosti lužického zlomu (severovýchodní část rajónu 464) je bazální část jizerského souvrství tvořena křemennými pískovci rozeznatelnými od pískovců bělohorského souvrství jen po detailní analýze litologie a cyklů. (Valečka in Herčík et al., 2003)

Jizerské souvrství vykazuje nejnápadnější změny ve vývoji facií a nejvyšší kolísání mocností ve všech litostratigrafických jednotkách. Je považováno za hydrogeologicky nejvýznamnější jednotku. Ve svém typickém vývoji jsou cykly tvořeny jemnozrnnými, někdy silně bioturbovanými pískovci na bázi a ty jsou následovány střednozrnnými pískovci s častým šikmým zvrstvením a celý cyklus je ukončen hrubozrnnými nebo dokonce slepenci. V zájmovém území je zastoupení hrubozrnných pískovců značné. (Valečka in Herčík et al., 2003; Uličný in Kadlecová et al., 2012a)

Zvláštní vývoj se týká prostoru ssv. od České Kamenice až k Lužického zlomu, kde se nacházejí 75 - 100 m mocné monotónní jemnozrnné pískovce s tenkými vložkami hrubozrnných pískovců (Valečka, 1994). Teplické souvrství i březenské souvrství je zde reprezentováno pískovci.

### ***Teplické souvrství a rohatecké vrstvy***

Během sedimentace teplického souvrství byl pravděpodobně rozsah pánve největší. Na většině území ČKP nasedá teplické souvrství na jizerské po stratigrafickém hiátu. Báze je tvořena tenkou polohou jílovitého vápence s glaukonitem. Dále v souvrství převládá monotónní sedimentace slínovců. V okolí lužického zlomu převládá pískovcová facie (Malkovský et al., 1974). Rohatecké vrstvy v nejsvrchnější části souvrství jsou charakteristické silifikací některých poloh.

Teplické souvrství je podle Müllera (in Malkovský et al., 1974) tvořeno pískovci lužického zlomu (5 - 7 km), ve střední části rajónu 464 prachovci a jih a jihozápad rajónu tvoří slínovce a vápenaté jílovce. Podle Valečky (in Herčík et al., 2003) jsou pískovce jemnozrnné až střednozrnné, jílovité a křemenné. Valečka ještě doplňuje, že vápenaté jílovce se směrem do pánve zjemňují a ubývá jim množství písčitých a slínovitých komponent.

### ***Březenské a merbolické souvrství***

Březenské a merbolické souvrství je prakticky zcela denudováno v celé ČKP až na území Českého středohoří, kde jsou chráněna terciárními neovulkanity. V březenském souvrství je subsidence zrychlená a sedimenty se dělí do dvou facií: a) vápnité jílovce a prachovce s vložkami pískovců podle Valečky (1988) usazovaných při náhlých epizodických událostech b) monotónní vápenné jílovce a slínovce usazené v centrální části ČKP. Merbolické souvrství je málo zpevněné a litologicky se skládá z jemně až středně zrnitých pískovců s jílovitou matrix a příměsí živcových zrn. (Valečka in Herčík et al., 2003)

Studovaného území se ale týká převážně psamitická facie (křemenné, obecně střednozrnné pískovce s častým šikmým zvrstvením), a to hlavně v sv. a v. části rajónu. Méně obvyklé jsou jemnozrnné jílovité pískovce. (Valečka in Herčík et al., 2003)

## 2.2 Sekvenční stratigrafie

Úvod do sekvenční stratigrafie se nachází v příloze B.

Podle Uličného et al. (2009a) česká křídová pánev kombinuje vlastnosti mělkovodních sedimentů epikontinentální mořské úžiny formované během globální transgrese a tektonicky aktivního extenzivně-transgresivního prostředí, s tím, že mocnost mělkovodních sedimentů většinou nepřesahuje 100 m. Pánev vznikala během teplejšího klimatu a byla ovlivňována silnými osními proudy. Tvoří ji převážně pískovcové delty se sekvenčními sledy různých měřítek. Tyto sledy poukazují na transgresivně-regresivní cykly usazující se desítky tisíc až milióny let.

Směr a rychlost progradace delty či mocnost a vnitřní geometrie jejích sedimentů se neustále měnily. Podle Uličného et al. (2009a) byly tyto změny ovlivňovány především zlomy uvnitř pánve, celopánevními změnami v rychlosti subsidence, eustatickým kolísáním a lokálními změnami hloubky moře v důsledku postupující sedimentace. Geometrie sledů je také ovlivněna směry, ve kterých se nacházely zdrojové oblasti, a krátkodobými výzdvihy sekundárních klastických zdrojových oblastí.

Účinný transport spolu s redepozicí jemnozrných klastů v mělké vodě podporoval rozvoj strmých svahů převážně písčitých delt a zabraňoval diskordantnímu ukládání kalových facií, a tak většina klastů v suspenzi se usazovala jako sedimenty ve spodní části delty subhorizontálně nebo s mírným úklonem (Uličný et al. 2009a).

### ***Cenoman a alb***

Uličný et. al (2009a) rozděluje cenoman na jednotky CEN 1 až CEN 6, jejich časovou korelaci s Čechem (1980) je možné srovnat na obr. 2. Sekvenční stavbě cenomanu nevěnuji pozornost, protože hydrogeologicky se chápe jako jeden kolektor a tento nemá hydrogeologický význam srovnatelný s kolektory v jeho nadloží (Kadlecová et al., 2012b).

Podrobnou interpretaci jednotlivých sekvencí cenomanu uvádí Uličný et al. (2009b).

### ***Turon a koniak***

Uličný et al. (2009a) rozlišuje v turonu 7 hlavních genetických sekvencí (TUR 1 – TUR 7).

Sedimenty prakticky na celém zájmovém území z většiny tvoří pískovcové facie. To neplatí pro TUR 3, kde na severozápadě rajónu docházelo k erozi během fáze klesající hladiny a CON 1, ve které je pískovcová facie přítomna jen

v s. a sv. části území. V těchto případech jsou pískovce nahrazeny prachovci nebo i jílovci.

**Tabulka charakteristických vlastností genetických sekvencí turonu**

GS	mocnost <sup>1</sup>	charakteristické vlastnosti GS
TUR1	60 – 85 m	Velkoměřítková sekvence s převládající agradací. Dělí se na dvě sekvence středního měřítka. Po stratigrafickém hiátu na začátku turonu se TUR1 usazuje v cyklu regrese a následné transgrese. Na bázi usazené hemipelagické slínovce a mikritické vápence bělohorského souvrství (až 20 m) pokračující do vápenných prachovců. Pískovcová S facie. Převážně HST. Jílovité, distální části klinoforem se ztenčují směrem do pánve.
TUR2	40 – 60 m	Velkoměřítková sekvence s dominující progradací. S facie v hlavním centru depozice. HST/FSST pod úhlem až 5° LST – tenký, tabulové pískovce s malouhlovým šikmými deltovými uloženinami hned nad HST/FSST TST – tenké vrstvy maloměřítkových sekvencí nasedající přímo na pískovce TUR 2
TUR3	20 – 55 m	Velkoměřítková sekvence s dominující progradací. Regrese zřejmě způsobila subaerickou erozi svrchní části HST. Převážně FSST (možná s reliktem HST na bázi) a LST a velmi málo mocný TST. LST ukazuje na dlouhodobou progradaci spojenou s nánosem tenkých sekvencí (0,5 – 3 m tenké pískovcové polohy oddělené od sebe erozivními plochami) nad seříznutým HST-FSST. Kolem některých zlomových linií rovnoběžných s Labsko-železnohorským zlomem se objevují změny v mocnosti až o 10 m.
TUR4	70 – 85 m	Velkoměřítková sekvence s převládající agradací. Dělí se na tři sekvence středního měřítka. Kvůli zvýšené akomodaci je sedimentace všech částí TUR 4 rozsáhlejší, než u TUR 3. Oproti TUR 1 – 3 se zdrojová oblast posunula mírně směrem k JV. Pískovcová S facie v celém 464 pro celý TUR4. Prakticky jen HST.
TUR5	40 – 50 m	Velkoměřítková sekvence s převládající agradací. Dělí se na tři sekvence středního měřítka. V porovnání s TUR 4 je dlouhodobé zvýšení hladiny moře významnější. Zřejmě menší o vysoké frekvenci relativní

<sup>1</sup> přibližná mocnost odečtená z map Uličného et al. (2009a)

		<p>poklesy hladiny. Dlouhodobé usazování pískovcové facie je v menším rozsahu, než v TUR 4, ale zájmové území je složeno z pískovců v celém TUR 5.</p>
TUR6	50 - 70 m	<p>Velkoměřítková sekvence s převládající agradací. Dělí se na dvě sekvence středního měřítka. Krátkodobé transgresivní impulzy přinesly hemipelagické podmínky daleko do oblasti s jinak dominující sedimentací písků. Rozsáhlé vrstvy pískovců, relativně jednotných podél nánosové linie.</p>
TUR7	80 - 150 m	<p>Velkoměřítková sekvence s převládající agradací. Dělí se na tři sekvence středního měřítka. Zrychlené dlouhodobé tektonické posuny měly za následek zúžení a prohloubení depocentra. Nános pískovcových těles byl zřejmě způsoben zvýšeným přísunem sedimentu (nebo řadu krátkodobých snížení hladiny) Pískovcová facie.</p>
CON1	cca 90 m	<p>Velkoměřítková sekvence s dominující progradací. Cyklus relativního poklesu a zvýšení hladiny mezi svrchním turonem a spodním koniakem s množstvím střednědobých transgresivně-regresivních cyklů.</p>
CON2		v území není přítomen

Tab. 2.1 Charakteristické vlastnosti genetických sekvencí turonu podle Uličného et al. (2009a)

terminologie genetických sekvencí a zkratky:

GS: genetická sekvence

HST: highstand systems tract - trakt vysoké hladiny

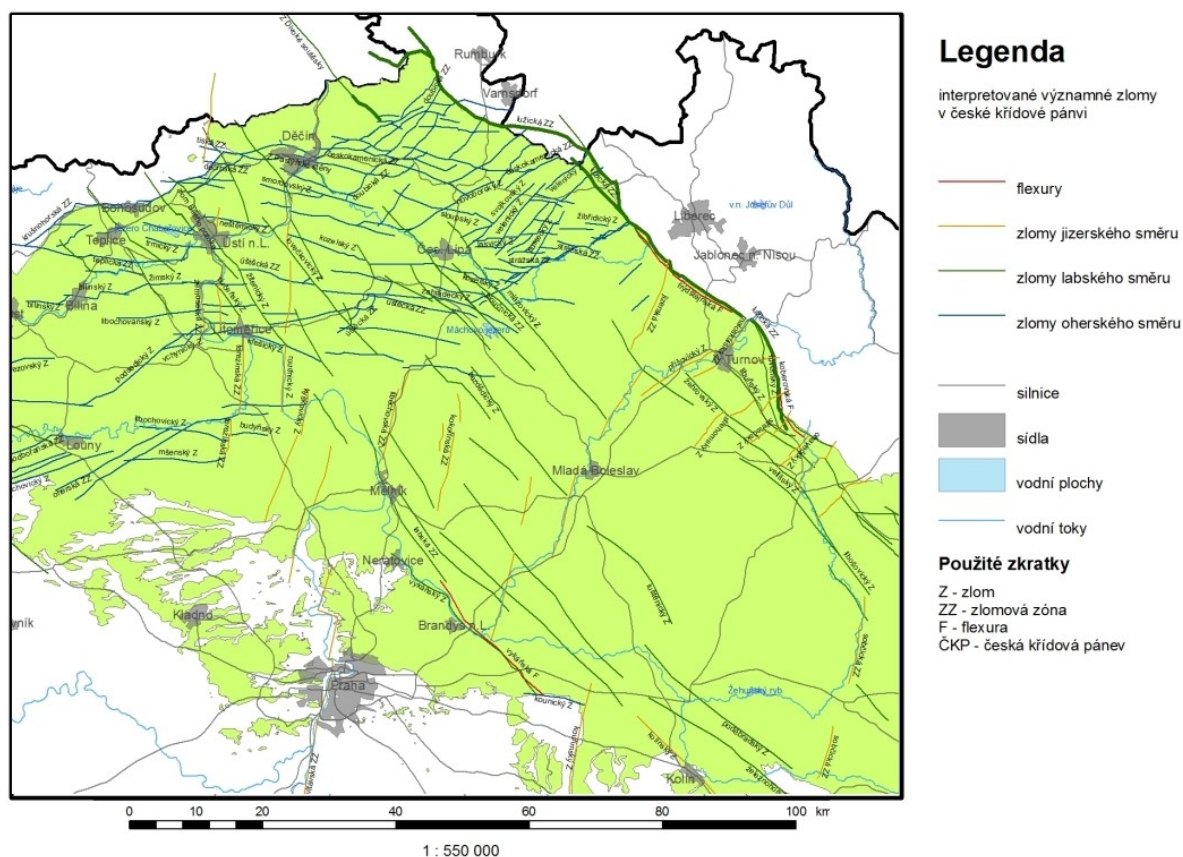
FSST: falling stage systems tract - trakt klesající hladiny

LST: lowstand systems tracts - trakt nízké hladiny

TST: transgressive systems tract - transgresní trakt

## 2.3 Tektonika

Sedimentace v celé ČKP je znatelně ovlivněna tektonickými deformacemi regionálního i lokálního charakteru. Tato tzv. saxonská tektonika působila na ČKP, když byl celý český masiv stoupajícím konsolidovaným blokem (Malkovský, 1976). Vrstvy celé ČKP jsou obecně ukloněny k severu (Valečka in Herčík et al., 2003). Plno zlomů je stále významných. Podle Kadlecové et al. (2012b) jsou hlavní směry zlomů tři: zlomy oherského směru (SV-JZ a V-Z), zlomy labského směru (SZ-JV;  $\pm 30^\circ$ ) a zlomy jizerského směru (J-S;  $\pm 20^\circ$ ). Kadlecová et al. (2012b) zahrnuje tzv. sudetský strukturní směr, zmiňovaný v minulosti, do skupiny zlomů labského směru a zlomy tzv. krušnohorského směru definuje jako dílčí populaci v rámci oherské skupiny zlomů. Konkrétní zlomy včetně označení směru jsou zobrazeny na obr. 2.2.



Obr. 2.2 Mapa zlomů severozápadní části České křídové pánve. Upraveno podle Uličného et al. (2011c).

## 2.4 Hydrogeologie

Herčík et al. (2003) rozděluje českou křídovou pánvi na 10 bilančních celků (bc 1 – bc 10) podle Olmera et al. (1990), které ještě podle jednotlivých křídových kolektorů dělí na 24 hydrogeologických rajónů. Olmer et al. (2006) definuje hydrogeologický rajón jako celek horninového prostředí, který je jednotný ve vztahu k infiltraci a akumulaci podzemní vody a ve kterém převládá určitý typ zvodnění a oběhu podzemní vody.

Současný hydrogeologický pohled rozděluje ČKP na kolektory A až D s převládajícím podílem pískovců a na více či méně významné polohy izolátorů. Nejen podle Kadlecové et al. (2012b) je detailní charakteristika při mocnostech v řádech metrů či prvních desítek metrů velice komplikovaná.

Pro západní části ČKP a tedy i studovanou oblast jsou charakteristické písčité delty a s nimi související příbřežní systémy. Ty se skládají hlavně z deskovitých těles pískovců, vzniklých progradací deltových pobřeží (hydrogeologicky kolektory), které jsou odděleny jemnozrnnějšími sedimenty jako prachovci či

slínovci prodelt až předbřeží (hydrogeologicky izolátory) (Uličný et al. 2009a, Kadlecová et al. 2012b).

Během let 1966 – 1996 (VUV, 2012) probíhala v oblasti Stráže pod Ralskem, která leží na východě střední části rajónu 464, těžba uranu. Ta má stále vliv na vlastnosti podzemní vody v jejím okolí. Ač VUV (2012) předpokládá, že tento vliv bude přetrvávat až do 30. let 21. století, v práci se dále nebudu touto problematikou podrobně zabývat, čtenáře odkazuji na Ekerta and Mužáka (2010) nebo Slezáka (2001).

Slezák (2001) i Herčík et al. (2003) popisuje prostředí jako průlinově-puklinové propustnosti. Slezák (2001) upozorňuje na výraznou heterogenitu propustnosti v liniích významných zlomů. V zájmové oblasti převládá proudění severního směru. Podle Herčíka et al. (2003) směr toku ve všech kolektorech v měřítku desítek kilometrů a vyšším odpovídá směru hlavních povrchových toků.

### ***CEN1 - CEN6 (kolektor A)***

Hynie (1961), Herčík et al. (2003) i další autoři (např. Kadlecová et al., 2012b) se shodují v pohledu na bazální cenomanský kolektor. Je souvisle zvodnělý v téměř celém rozsahu ČKP a pokrývá celé zájmové území. Stropním izolátorem je na většině území bělohorské souvrství. Podle Hynie (1961) polohy cenomanských jílovců a břidlic kolektor lokálně rozdělují na více méně samostatné obzory. Mocnost kolektoru stoupá směrem k Lužickému zlomu (až 110 m) a klesá směrem k JZ (až 30 m) (Herčík et al., 2003; Uličný in Kadlecová et al., 2012a). Herčík et al. (2003) píše, že transmisivita klesá od SV k JZ stejně jako obsah písčité příměsi. Konkrétní hodnoty transmisivity viz tabulka 2.2.

Pohyb podzemní vody v kolektoru A podle Herčíka et al. (2003) není uzavřen bilančním celkem. Dále tvrdí, že podstatná část zdrojů podzemní vody pochází z pásma kolem lužického zlomu, kde se nachází jeden mocný spojený kolektor ABCD a od kterého proudí voda ZJZ směrem až ve třech oddělených strukturách.

### ***TUR 1 (kolektor B)***

Poloha slínů na bázi sekvence TUR1 je téměř v celém území převážně tenká, ale hydrogeologicky prakticky nepropustná (Hynie et al., 1961). V blízkosti Lužického zlomu mocnost slínovců klesá až na několik málo metrů nebo slínovce dokonce přecházejí do jemnozrnného pískovce (Herčík et al. 2003). V těchto místech se dá tedy mluvit o jednotném kolektoru AB (resp. ABCD – viz níže).

### ***TUR 2 - CON 1 (kolektor C)***

Herčík et al. (2003) píše o ekvivalentech ke genetickým sekvencím TUR 1 až CON 1 jako o jednotném kolektoru BC (příp. ABC či ABCD – viz níže). Hynie (1961) nezabíhá do podrobností ve studovaném území, ale obecně se s Herčíkem et al. (2003) shoduje.

Hladina kolektoru BC je napjatá v místech, kde se v nadloží vyskytují rohatecké vrstvy, což je na značné části území (CON 1). Jen v okolí Lužického zlomového pásma, kde jsou slínovce nahrazeny pískovci, je hladina volná. Podle Herčíka et al. (2003) jsou CON 1 a CON 2 v blízkosti Lužického zlomu v pískovcové facii. To je ve stejné oblasti jako absence izolátoru na bázi TUR 1, a tak se celý křídový pokryv dá považovat za jeden spojený kolektor A až D. Transmisivita je ale kvůli heterogenitě pískovců blízko Lužického zlomu nízká. Hynie (1961) dokonce upozorňuje na možnost výskytu více zvodní v genetických sekvencích TUR 3 a TUR 4.

Podle Herčíka et al. (2003) je pohyb podzemní vody v kolektoru BC uzavřený a dá se v kvůli přítomnosti zlomů rozdělit na několik oddělených struktur.

### **CON2 (kolektor D)**

Kolektor D se vyskytuje v pískovcích genetické sekvence CON 2, často je ale zcela denudován.

### **Transmisivita**

Tabulka transmisivity kolektorů			
	A	BC	D
max	138	6653	1123
min	1,0	0,2	4,0
průměr	41	406	225
medián	26	207	112

Tab. 2.2 - Transmisivita kolektorů A, BC a D v [m<sup>2</sup>/den] pro hydrogeologický rajón 464 podle Herčíka et al. (2003).

### **Hydrochemie**

#### kolektor A

Hynie (1961) píše, že s hloubkou přibývá koncentrace SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, Fe<sup>2+</sup> a dalších iontů. Herčík et al. (2003) upozorňuje na vysoké obsahy Ra a U a nízké pH (až 1.0) na sever od Mimoně na ploše až 200 km<sup>2</sup> v důsledku těžby uranu.

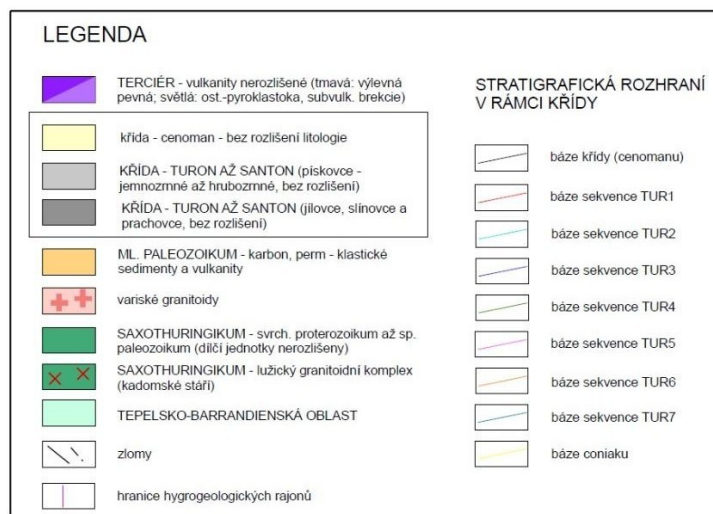
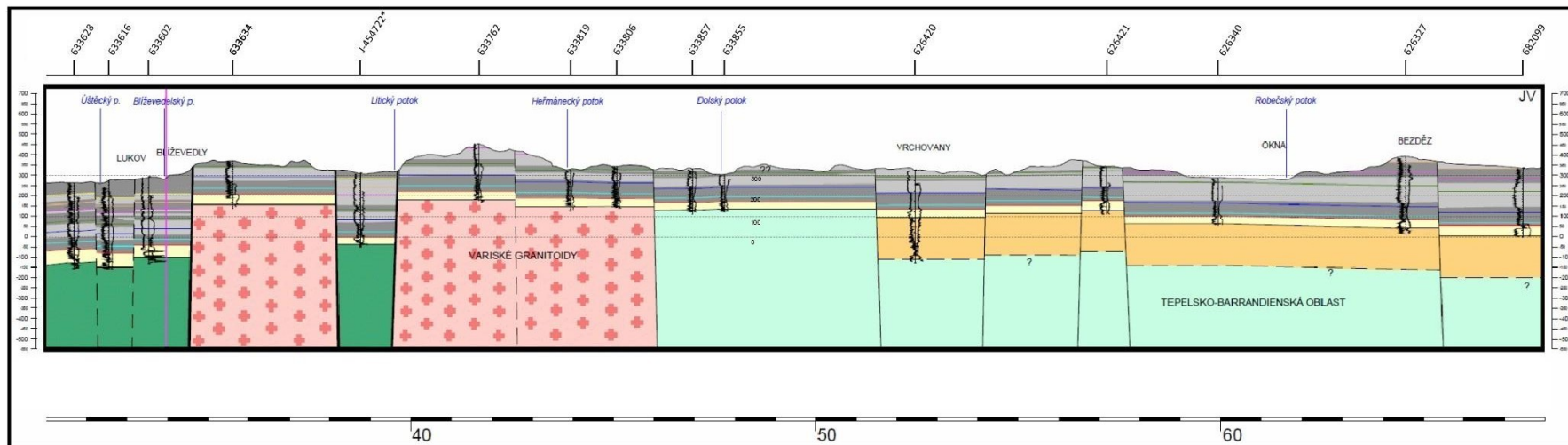
#### kolektor B

Herčík et al. (2003) mineralizaci kolektoru B specificky nekommentuje (viz výše). Hynie (1961) hovoří o střední až vyšší mineralizaci.

#### kolektor C

Herčík et al. (2003) zmiňuje slabou mineralizace (50 - 100 mg/l) typu Ca-SO<sub>4</sub>, stoupající směrem po proudu v kolektoru. Průměrná mineralizace kolem České Lípy dosahuje již 350 mg/l typu Ca-HCO<sub>3</sub>.

### ŘEZ S3



### Vysvětlivky

horizontální osa pod vlastním profilem - měřítko v [km]; horizontální osa nad vlastním profilem - klíče vrtů na základě kterých byl sestrojen profil (až na vrt označený názvem vrtu J-454722, u něhož nebyl klíč dohledatelný); vertikální hodnoty - nadmořská výška [m n. m.]

Obr. 3.1 Geologický profil S3 zkonstruovaný Uličným (in Kadlecová et al., 2012a)

### 3. Metodika

V této kapitole popisuji metodiky, které jsem použil pro zjištění, zda je v kolektorech a subkolektorech v zájmové oblasti dostatečný rozdíl v chemizmu podzemní vody. Konkrétně jsem hledal souvislost mezi chemizmem vody v hydrogeologických vrtech a genetickými sekvencemi vymezenými Uličným (2009a, 2009b), do kterých zasahují otevřené úseky těchto vrtů. Tento možný vztah jsem zkoumal metodikami M1 a M2, které popisují v kapitolách 3.1 a 3.2.

Dále v této kapitole popisuji, jakým způsobem jsem zkoumal vztah mezi chemizmem HG vrtů a jejich geografickým umístěním – zda závisí chemické složení vody ve vrtech na jejich poloze. Tento způsob popisují v kapitole 3.3.

Pro analýzu vztahu mezi chemickým složením vody a genetickými sekvencemi jsem vybral HG vrty podél geologického řezu S3 od Uličného (in Kadlecová et al., 2012a). Hydrochemická data z hydrogeologických vrtů jsem získal z ČGS v rámci projektu Rebalance zásob podzemních vod (Mixa et al., 2010).

Výběr HG vrtů jsem provedl před samotným zpracováním hydrochemických dat. Pro práci jsem vybral vrty do vzdálenosti cca 7 km od linie řezu. Linii řezu definuji jako přímkové propojení předchozích a následujících vrtů z nichž sestává řez S3 (viz obr. 3.2). Vzdálenost 7 km jsem zvolil jako kompromis mezi množstvím vrtů a blízkostí vrtů k linii řezu. Větší množství analyzovaných vrtů totiž zvyšuje pravděpodobnost nalezení nějaké závislosti a eliminuje možnou chybu – např. měření, časové variace, etc. Blízkost vrtu k linii řezu zmenšuje možnou chybu v určení genetické sekvence, ve které má vrt otevřený úsek.

Analyzoval jsem i jiné skupiny dat, jejichž výsledky zde ale neprezentuji, protože se domnívám, že výše zmíněný výběr HG vrtů je neobjektivnější. Další skupiny HG vrtů, které jsem analyzoval:

- a) Skupina HG vrtů, jejichž vzdálenost od linie řezu byla menší než 4 km.
- b) Skupina HG vrtů, jejichž vzdálenost od linie řezu nepřekračovala 4 km a délka otevřeného úseku nepřekračovala 32 m.
- c) Skupina HG vrtů, jejichž vzdálenost od linie řezu nepřekračovala 4 km a délka otevřeného úseku nepřekračovala 50 m.
- d) Skupina HG vrtů, jejichž vzdálenost od linie řezu nepřekračovala 7 km a délka otevřeného úseku nepřekračovala 32 m.
- e) Skupina HG vrtů, jejichž vzdálenost od linie řezu nepřekračovala 7 km a délka otevřeného úseku nepřekračovala 50 m.

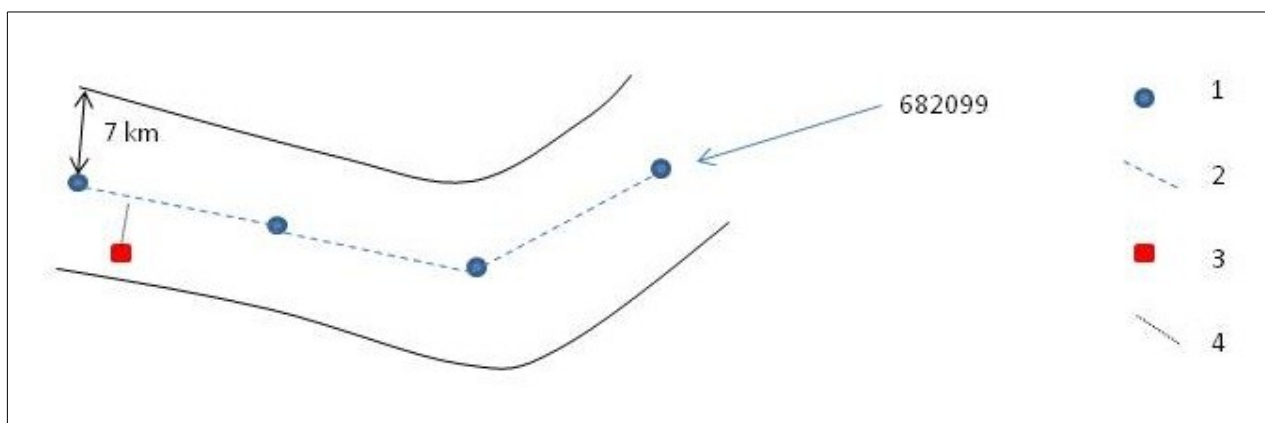
### **3.1 Metodika M1**

Ke každému z vybraných HG vrtů jsem přiřadil genetickou sekvenci podle Uličného et al. (2009a), které odpovídá otevřený úsek vrtu. K tomuto určení jsem došel po vedení pomyslné kolmice na linii řezu S3 (viz výše), ze kterého jsem pak odečetl genetickou sekvenci (obr. 3.2). Sklon genetických sekvencí jiný než přímo vyobrazený v řezu jsem zanedbal. V případech, kdy bylo určení obtížné např. kvůli prezenci tektonických linií, jsem HG vrt označil jako drenující více genetických sekvencí. Například pokud byl otevřený úsek HG vrtu prakticky na hranici další genetické sekvence, označil jsem ho jako zasahující do obou sekvencí. Dále se data zpracovávala podle označení sekvencemi.

### **3.2 Metodika M2**

Pro účely metodiky M2 jsem sestrojil idealizovaný řez (obr. 4.10). Pro sestrojení idealizovaného řezu jsem pro zjednodušení situace vybral profil geologického vrtu s klíčem 682099 pro nejvyšší četnost výskytu HG vrtů v jeho okolí. Zmíněný vrt však pokrývá genetické sekvence jen do báze TUR 6, a tak jsem pro mladší sekvence vybral jako nejreprezentativnější vrt s názvem J-454722. Idealizovaný řez tedy reprezentuje jen vlastnosti dvou výše zmíněných vrtů a mocnost jednotlivých genetických sekvencí uvažuji stejnou jako ve vrtu s klíčem 682099, resp. ve vrtu J-454722.

Otevřený úsek každého HG vrtu jsem převedl na idealizovaný řez následujícím způsobem: Odečetl jsem nadmořskou výšku báze a stropu otevřeného úseku každého vrtu od nadmořské výšky báze křídové výplně (tedy báze cenomanu) pro daný vrt – viz obr. 4.10. Bázi cenomanu jsem odvodil z geologického řezu S3. Tím jsem pro každý vrt získal dvě Z souřadnice (v jaké výšce nad bází začíná a končí otevřený úsek vrtu). Poté jsem údaje všech vrtů nanesl na idealizovaný řez. Tento postup by přinášel dokonalé výsledky, pokud by mocnost jednotlivých souvrství cenomanu a turonu i genetických sekvencí byla ve všech souvrstvích stejná.



Vysvětlivky: 1 - vrty na základě kterých byl sestrojen řez; 2 - linie řezu vedená vždy od jednoho vrtu k dalšímu; 3 - HG vrt 101; 4 - kolmice na linii řezu

Obr. 3.2 Pomocné schéma pro pochopení metodik M1 i M2.

Pro lepší pochopení popíšu metodiku M2 na konkrétním příkladě HG vrtu 110 (viz obr. 3.2). Od polohy HG vrtu 110 jsem vedl kolimici na linii řezu (viz výše) a v místě, kde se kolmice a linie protínají, jsem odečetl nadmořskou výšku báze cenomanu v metrech. V tomto případě leží báze cenomanu v cca 120 m n. m. Výšku báze cenomanu jsem odečetl od nadmořské výšky báze a stropu otevřeného úseku HG vrtu 110, a tak jsem získal relativní výšku báze a stropu otevřeného úseku HG vrtu.

Jak je vidět na obr. 4.10, tak relativní výška se dá převést na odpovídající genetické sekvence. Konkrétně jsou ekvivalenty genetických sekvencí vyjádřené relativní výškou v tab. 4.2.

### 3.3 Vztah chemizmu ke geografickému umístění vrtů

Vzhledem k charakteru tvoření sedimentů v oblasti jsem studoval i možný vztah mezi chemizmem vrtů a jejich geografickým umístěním. Jedním z rozhodujících faktorů ovlivňujících litologii a případně i chemizmus ve vrtech je směr postupu progradační linie během geneze pánve. Podle Uličného et al. (2009a) se tato linie pohybovala nejčastěji severo-jihním směrem nebo i severovýchodo-jihozápadním či severozápado-jihovýchodním směrem. Kromě výsledků z těchto třech směrů prezentuji i výsledky pro západovýchodní směr.

Data s chemizmy vrtů jsem tedy porovnal s jejich geografickou polohou, konkrétně se souřadnicemi dvou souřadnicových systémů, následujícím způsobem:

- Pro severo-jihní směr jsem použil Y souřadnici systému GPS84.
- Pro severovýchodo-jihozápadní směr jsem použil Y souřadnici Křovákova zobrazení S-JTSK.
- Pro severozápado-jihovýchodní X souřadnici Křovákova zobrazení S-JTSK.
- Pro západovýchodní směr jsem použil X souřadnici systému GPS84.

Křovákovo S-JTSK zobrazení nesvívá s rovnoběžkami a poledníky přesně 45°, a tak se v případě b) a c) jedná jen o směry přibližné. Ty jsou však pro účel studované problematiky dostatečné. Pro více informací o zobrazení čtenáře odkazují na Konečného et al. (2012).

Vzhledem k malému počtu zpracovávaných vrtů (58 vrtů – viz níže) jsem porovnával všechny vrty.

## 4. Výsledky

Celkem jsem pro analýzu vybral 58 vrtů podél linie řezu S3, nejbližší HG vrty leží k linii řezu v řádech desítek metrů, nejvzdálenější je cca 6,8 km od řezu. Tyto vybrané vrty jsem použil jak v případě metodiky M1 a metodiky M2, tak pro vztah chemizmu ke geografickému umístění vrtů (viz kapitola 3.3).

### 4.1 Metodika M1

Výsledky označení vrtů metodikou M1

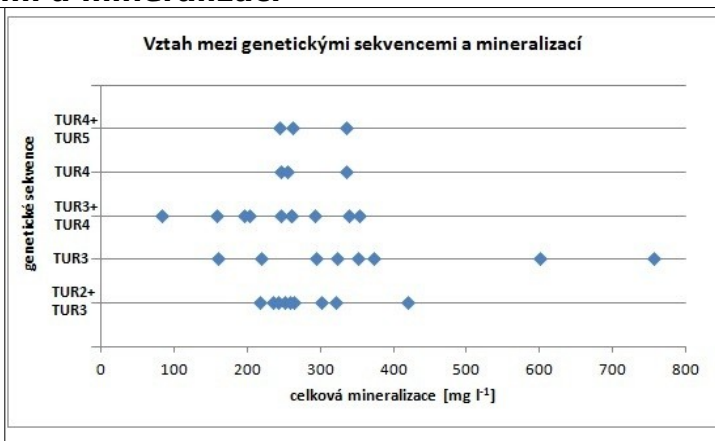
označení intervalu	počet vrtů náležejících intervalu
CEN	3
TUR 1	1
TUR 2	1
TUR 3	16
TUR 4	4
CEN + TUR 1	1
CEN + TUR 1 + TUR 2	1
TUR 2 + TUR 3	13
TUR 2 + TUR 3 + TUR 4	1
TUR 3 + TUR 4	13
TUR 4 + TUR 5	4
CELKEM	58

Tab. 4.1 Tabulka s počtem vrtů pro danou sekvenci.

Níže uvádím výsledky pro jednotlivé ionty, celkovou mineralizaci a pH. Abych eliminoval vliv možné chyby (při sběru dat či v důsledku zvolené metodiky), tak dále pracuji jen s těmi genetickými sekvencemi, které jsou reprezentovány alespoň čtyřmi vrty (viz tab. 4.1).

## Vztah mezi genetickými sekvencemi a mineralizací

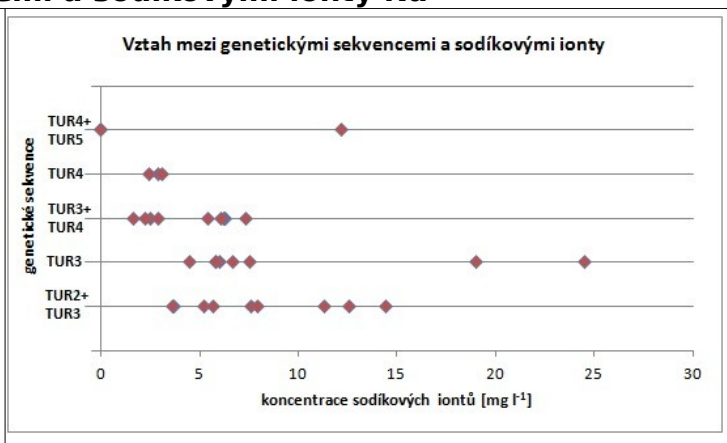
genetické sekvence	koncentrace [ $\text{mg l}^{-1}$ ]			
	min.	max.	prům.	med.
TUR 2 + TUR 3	218	420	279,6	259
TUR 3	160	755,9	384,8	337,9
TUR 3 + TUR 4	83,9	353,1	239,5	253,8
TUR 4	246,8	336,7	279,5	255
TUR 4 + TUR 5	244	336	280,1	262



Obr. 4.1

## Vztah mezi genetickými sekvencemi a sodíkovými ionty $\text{Na}^+$

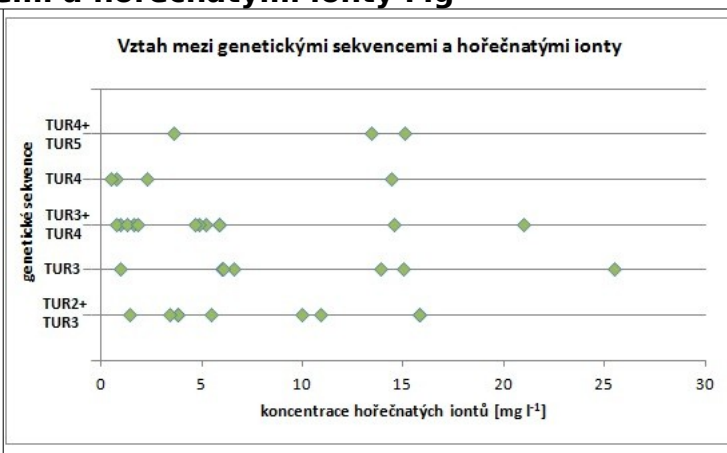
genetické sekvence	koncentrace [ $\text{mg l}^{-1}$ ]			
	min.	max.	prům.	med.
TUR 2 + TUR 3	3,6	14,4	8	7,6
TUR 3	4,5	24,5	10	6,4
TUR 3 + TUR 4	1,6	7,3	4,7	5,8
TUR 4	2,4	3,1	2,8	2,9
TUR 4 + TUR 5	0	12,2	4,1	0



Obr. 4.2

## Vztah mezi genetickými sekvencemi a hořečnatými ionty $\text{Mg}^{2+}$

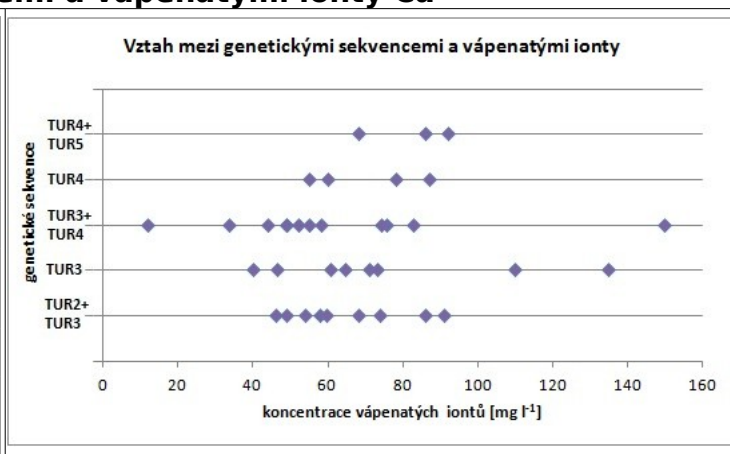
genetické sekvence	koncentrace [ $\text{mg l}^{-1}$ ]			
	min.	max.	prům.	med.
TUR 2 + TUR 3	1,5	15,8	7,8	5,5
TUR 3	1	25,5	10,6	6,6
TUR 3 + TUR 4	0,8	21	5,7	4,8
TUR 4	0,5	14,4	4,5	1,6
TUR 4 + TUR 5	3,6	15,1	10,7	13,4



Obr. 4.3

### Vztah mezi genetickými sekvencemi a vápenatými ionty $\text{Ca}^{2+}$

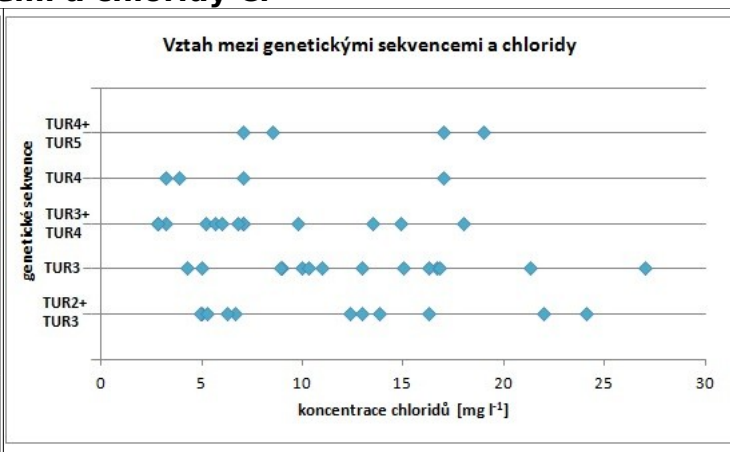
genetické sekvence	koncentrace [ $\text{mg l}^{-1}$ ]			
	min.	max.	prům.	med.
TUR 2 + TUR 3	46,1	91	65,1	59,7
TUR 3	40,1	134,8	75,2	67,9
TUR 3 + TUR 4	11,9	150	61,4	53,6
TUR 4	55	87,2	70,1	69,1
TUR 4 + TUR 5	68,1	92,2	82,2	86,2



Obr. 4.4

### Vztah mezi genetickými sekvencemi a chloridy $\text{Cl}^-$

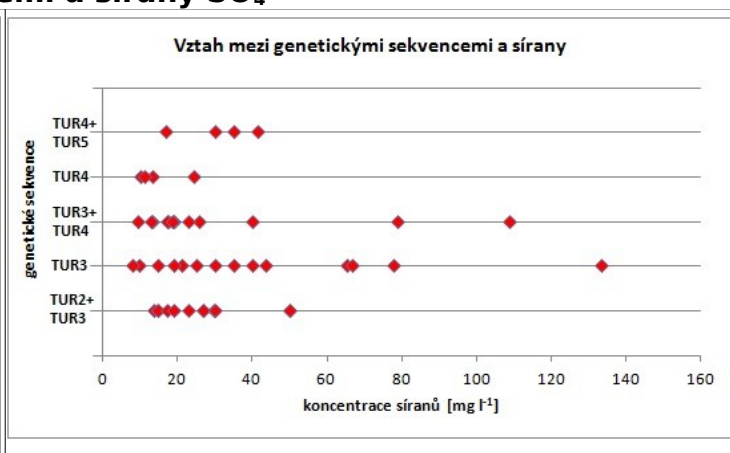
genetické sekvence	koncentrace [ $\text{mg l}^{-1}$ ]			
	min.	max.	prům.	med.
TUR 2 + TUR 3	5	24,1	11,8	12,4
TUR 3	4,3	27	13,2	12
TUR 3 + TUR 4	2,8	18	7,9	6,8
TUR 4	3,2	17	7,8	5,5
TUR 4 + TUR 5	3,2	19	11,3	9,3



Obr. 4.5

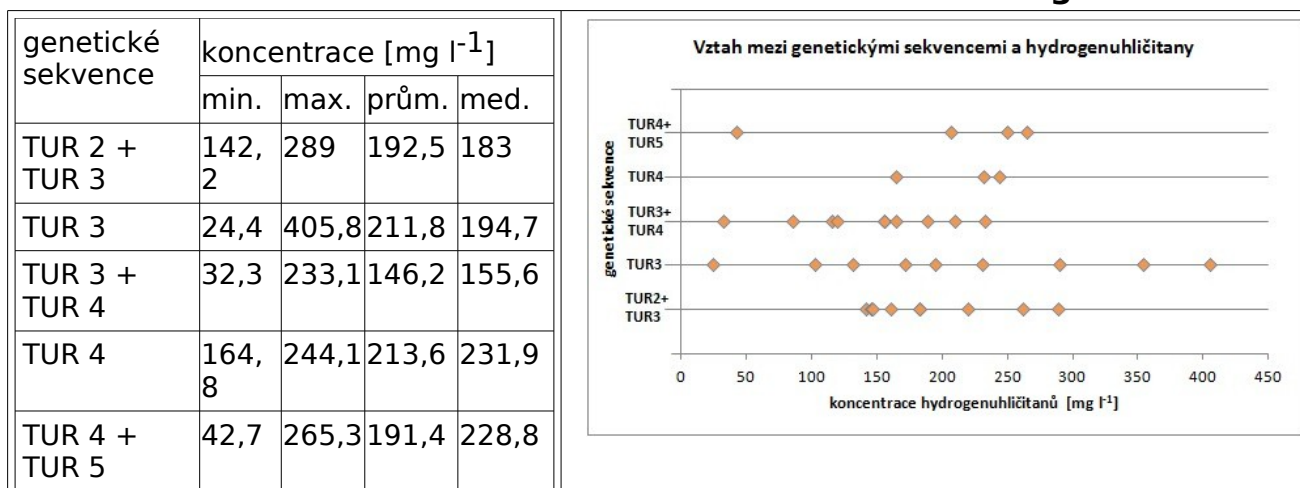
### Vztah mezi genetickými sekvencemi a sírany $\text{SO}_4^{2-}$

genetické sekvence	koncentrace [ $\text{mg l}^{-1}$ ]			
	min.	max.	prům.	med.
TUR 2 + TUR 3	13,9	50	26,4	24,9
TUR 3	8,2	133,5	42,2	32,5
TUR 3 + TUR 4	9,4	109	31,1	19,2
TUR 4	10,1	24,3	14,8	12,4
TUR 4 + TUR 5	16,9	41,6	30,9	32,5



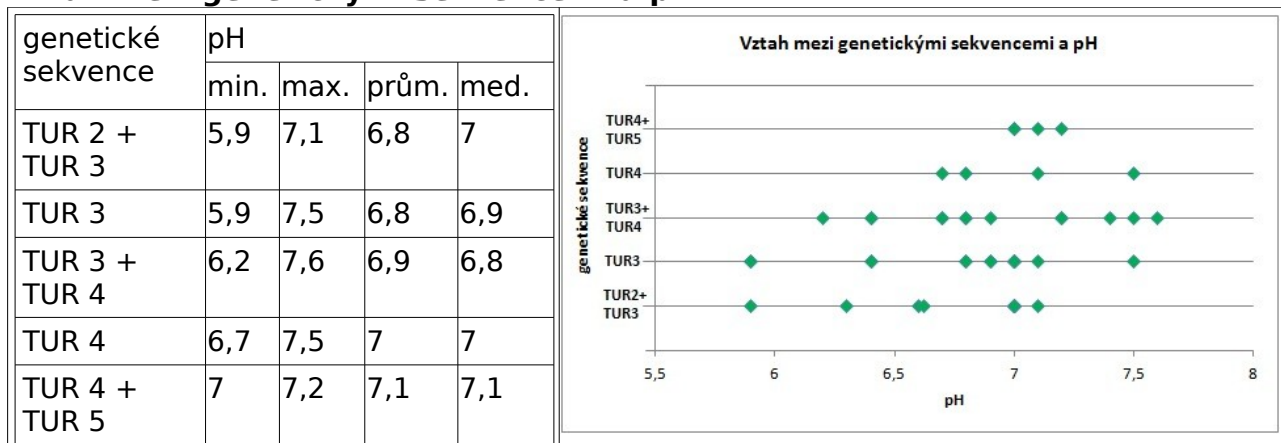
Obr. 4.6

## Vztah mezi genetickými sekvencemi a hydrogenuhličitanem $\text{HCO}_3^-$



Obr. 4.7

## Vztah mezi genetickými sekvencemi a pH



Obr. 4.8

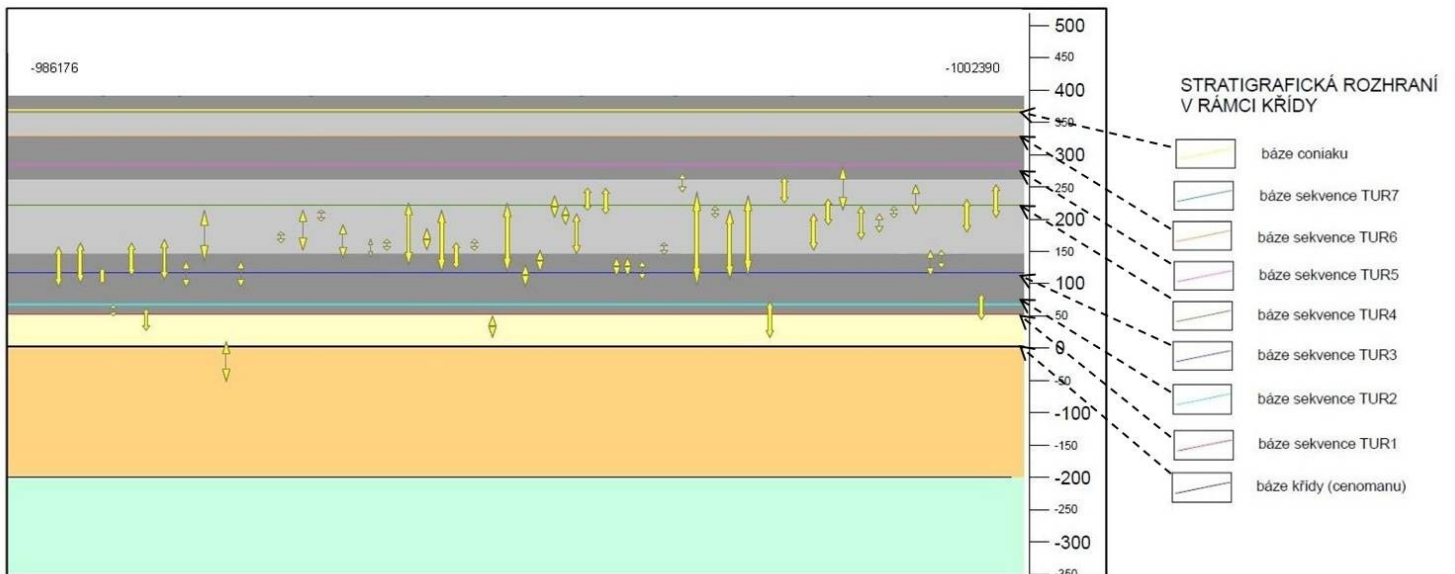
## 4.2 Metodika M2

### Vztah chemizmu k relativní výšce

Tato kapitola pojednává o vztahu chemizmu vody ke genetickým sekvencím určeným na základě relativní výšky nad bází cenomanu podle metodiky popsané v kapitole 3.2. Pro přehlednost uvádím v tab. 4.2 rozmezí relativních výšek pro jednotlivá genetická souvrství.

Grafická prezentace závislosti relativní výšky (viz popis metodiky M2) a hydrochemického složení je znázorněna na obr. 4.11. Dosažené výsledky jsou také částečně vyjádřeny na obr. 4.10 na idealizovaném řezu, který na základě geografické posloupnosti studovaných vrtů vyjadřuje hloubku jejich otevřeného úseku.

HYDROGEOLOGICKÉ VRTY V IDEALIZOVANÉM ŘEZU



vysvětlivky

žluté šipky - otevřené části vrtů; vertikální hodnoty - idealizovaná výška [m] nad bází cenomanu (podrobnosti vysvětleny výše); horizontální osa - geografická poloha vrtů v pravidelných rozestupech od SZ k JV - zhruba odpovídá posloupnosti vrtů na řezu S3; čísla nad idealizovaným řezem - souřadnice x v Křovákově zobrazení S-JTSK (-986176 [SZ] vlevo a -1002390 [JV] vpravo).

Obr. 4.10 Otevřené úseky HG vrtů v idealizovaném řezu.

Tabulka rozmezí relativních výšek pro jednotlivá genetická souvrství.

GS	Relativní výška [m]	
	Od	Do
CEN	0	55
TUR 1	55	70
TUR 2	70	120
TUR 3	120	220
TUR 4	220	280
TUR 5	280	330
TUR 6	330	?

Tab. 4.2

Jak jsem psal výše, tak metodika M2 by přinášela dokonalé výsledky, pokud by mocnosti genetických sekvencí byly po celé délce řezu S3 stejné. Ve studovaném případě se ale mocnosti souvrství i genetických sekvencí liší. Rozpětí mocností genetických sekvencí podél celého řezu S3 prezentuji v tab. 4.3.

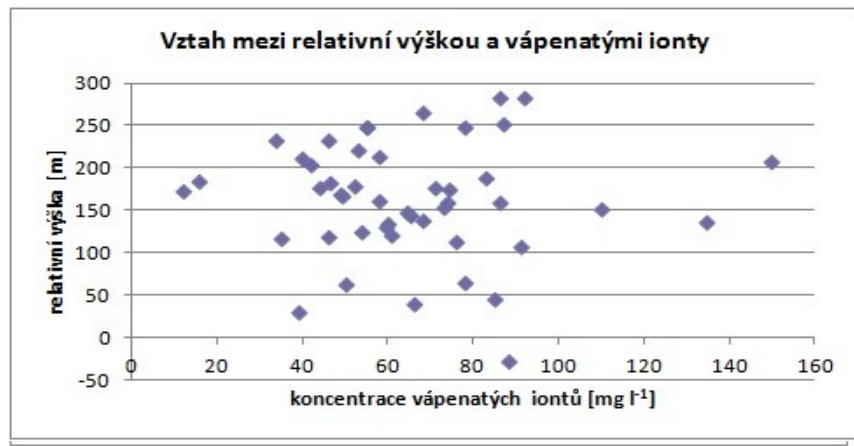
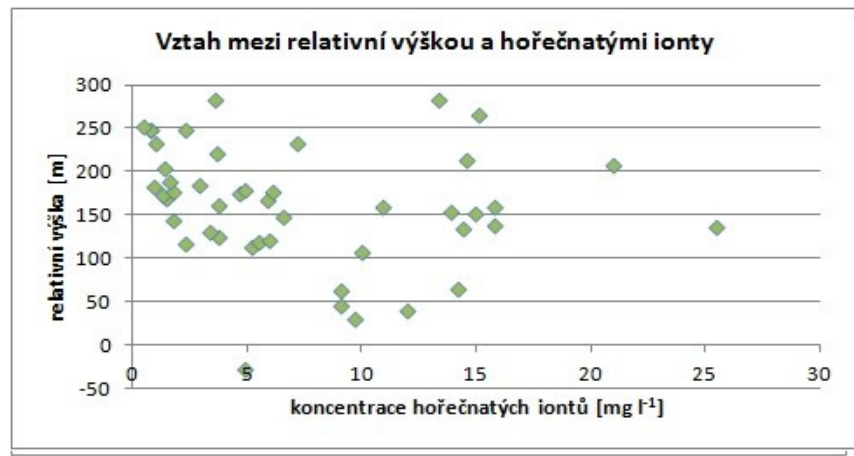
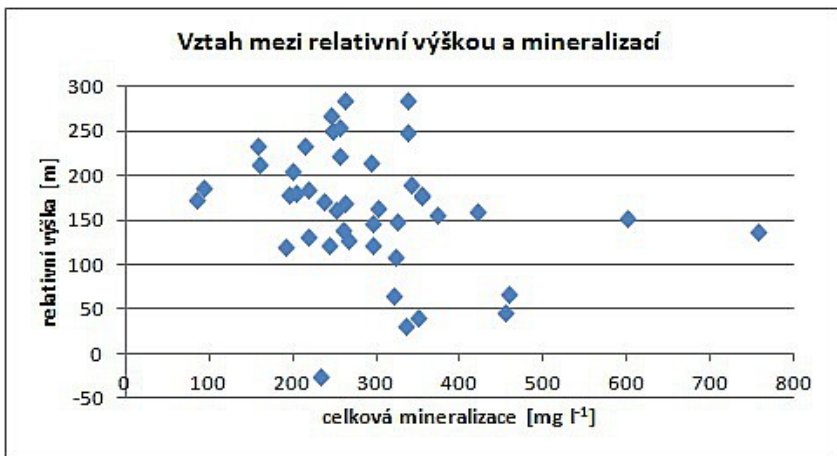
Tabulka mocnosti genetických sekvencí

GS	minimum [m]	maximum [m]	rozíl min. a max. [m]
CEN	30	60	30
TUR 1	5	30	25
TUR 2	50	60	10
TUR 3	60	100	40
TUR 4	50	70	20
CEN až TUR 1	60	100	40
CEN až TUR 2	100	120	20
CEN až TUR 3	180	220	40

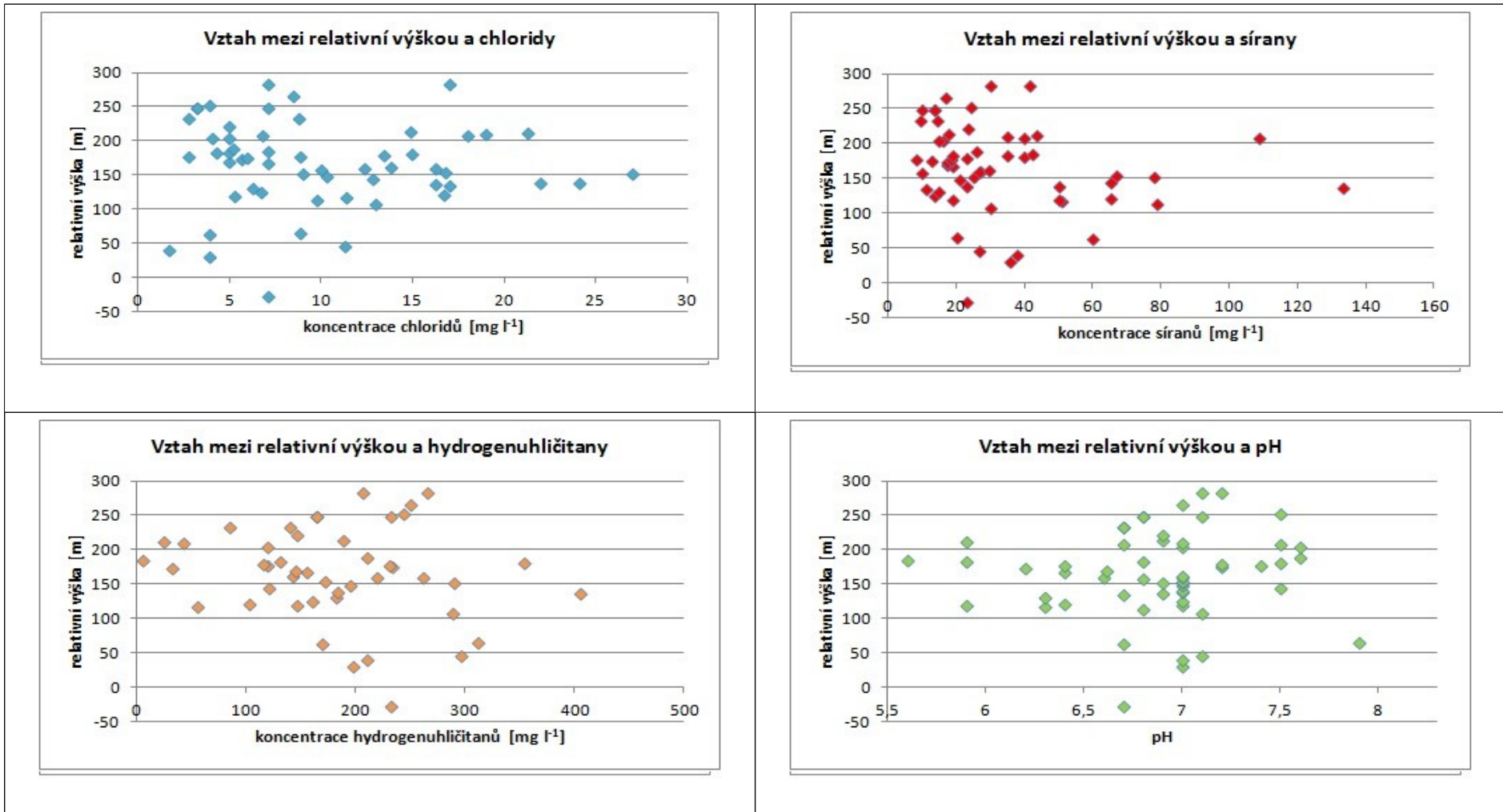
Informace v tabulce jsem čerpal přímo z řezu S3 (viz obr. 3.1).

Tab. 4.3

V příloze C jsou tabulky výsledků metodiky M2, na základě kterých jsem sestavil grafy na obr. 4.11 na následujících stranách.



Obr. 4.11



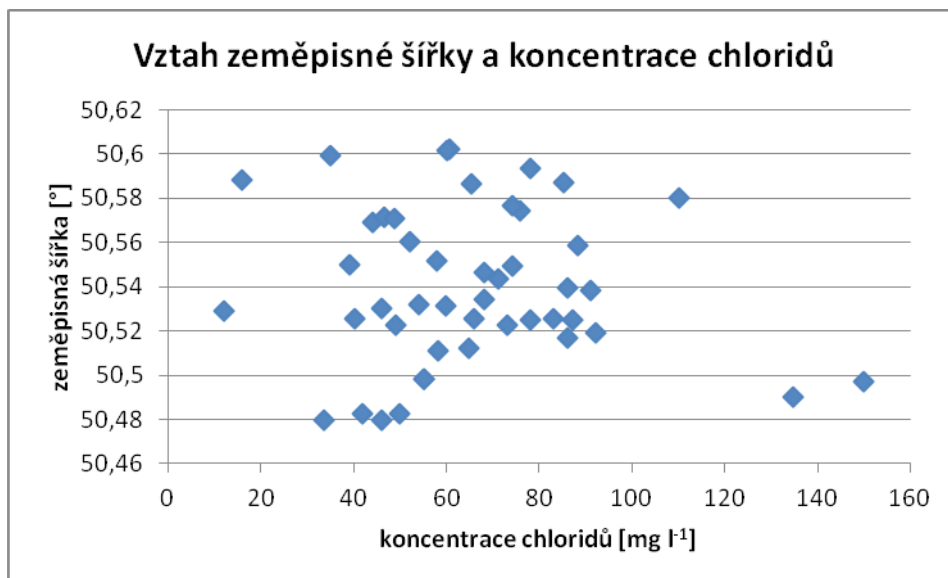
Obr. 4.11 (pokračování z předchozí strany) Grafická prezentace závislosti relativní výšky a hydrochemického složení.

### 4.3 Vztah chemizmu ke geografickému umístění vrtů

Vzhledem k tomu, že jsem použil všechny studované vrty, zasahují otevřené úseky těchto vrtů do různých souvrství i genetických sekvencí – viz výsledky metodik M1 a M2 (především pak tab. 4.1 a obr. 4.10).

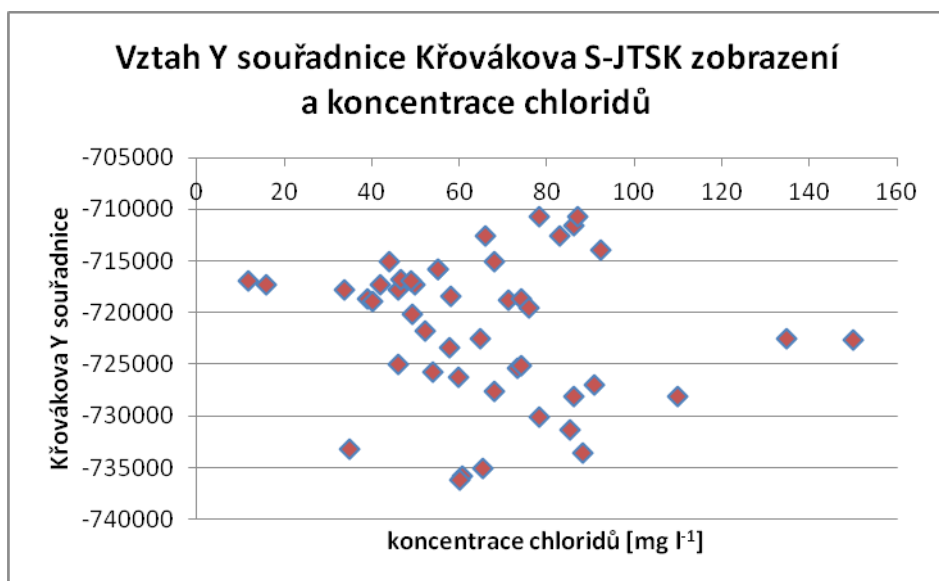
U žádného z iontů jsem nenalezl jasnou závislost mezi jeho koncentrací a lokalizací vrtu, proto zde prezentuji pouze výsledky pro iont  $\text{Ca}^{2+}$  (obr. 4.12 až 4.15). Výsledky pro ostatní ionty jsou v příloze F.

#### a) Severo-jihní směr



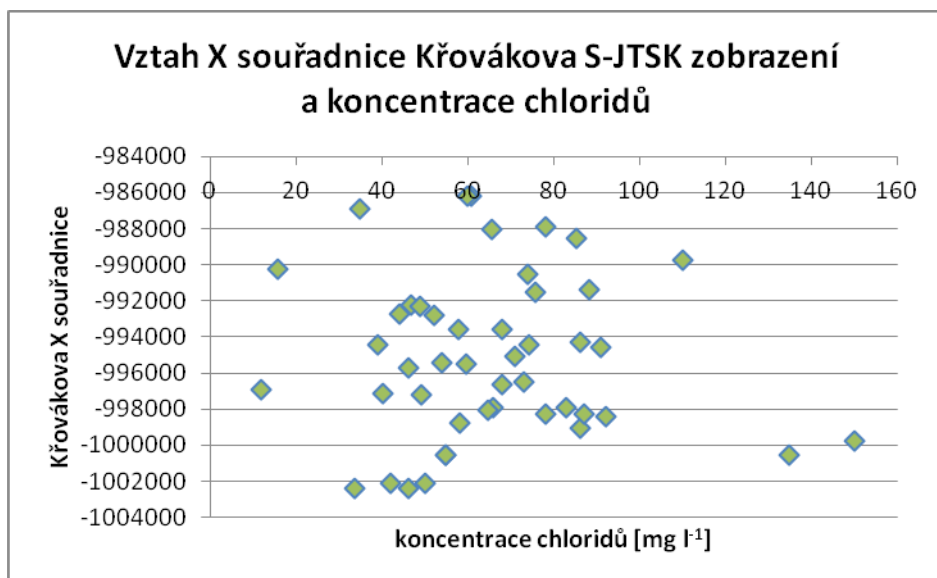
Obr. 4.12

#### b) Severovýchodo-jihozápadní směr



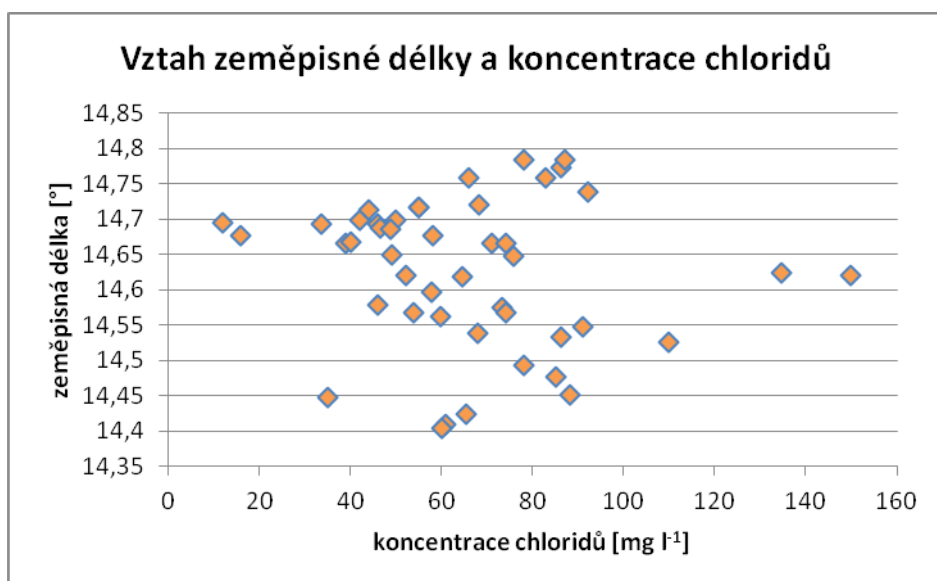
Obr. 4.13

### c) Severozápado-jihovýchodní



Obr. 4.14

### d) Západo-východní směr



Obr. 4.15

## 5. Diskuze

Z grafické prezentace výsledků je zřejmé, že na základě chemických vlastností vody ve studovaných vrtech nelze rozlišit jednotlivé genetické sekvence nebo skupinu sekvencí (obr. 4.1 až 4.8 a 4.11). Pro všechny studované vlastnosti (pH, celková mineralizace, koncentrace jednotlivých iontů) je variabilita v jednotlivých souvrstvích vyšší než mezi souvrstvími. Proto nalezené vztahy nepovažuji za dostatečně průkazné (viz dále).

U analyzovaných HG vrtů jsem studoval následující vlastnosti: pH, celkovou mineralizaci a koncentraci iontů  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  a  $\text{HCO}_3^-$ . Z vyčtených vlastností lze pouze u pH a koncentrací iontů  $\text{HCO}_3^-$  a  $\text{Ca}^{2+}$  vidět vztah mezi jednotlivými souvrstvími a koncentrací (resp. pH). Přesto je i v jejich případě variabilita v souvrství vyšší než mezi souvrstvími.

Pro koncentrace hydrogenuhličitanů a vápenatých iontů se výsledky z obou metodik shodují následovně: jak koncentrace  $\text{HCO}_3^-$ , tak koncentrace  $\text{Ca}^{2+}$  jsou průměrně nejnižší okolo 180 m relativní výšky nad bází cenomanu, což odpovídá horní polovině TUR 3 (ekvivalent označení „TUR 3“ nebo „TUR 3 + TUR 4“ metodiky M1; obr. 4.7, 4.4 a 4.11). Do vyšších i nižších souvrství tato koncentrace stoupá. Tento vztah je lépe vidět na výsledcích metodiky M1.

Na základě výsledků metodiky M1 se dá pozorovat vztah mezi jednotlivými souvrstvími a pH. Ve výsledcích metodiky M2 tento vztah neexistuje. V tomto případě ale opět platí, že vztah je neprůkazný, jelikož variabilita v jednotlivých souvrstvích je vyšší než mezi souvrstvími. Tento vztah lze sledovat jen na výsledcích z metodiky M1 (obr. 4.8), kde pH klesá s hloubkou – nejnižší je pro „TUR 2 + TUR 3“ a nejvyšší pro „TUR 4“ a „TUR 4 + TUR 5“. Ve výsledcích z metodiky M2 (obr. 4.11) tento vztah pozorovat nelze, pravděpodobně kvůli nedokonalé interpretaci relativní výšky pro nízké (TUR 2 + TUR 3) a vysoké (TUR 4 + TUR 5) genetické sekvence (viz výše).

Výsledky ze vztahu chemizmu ke geografickému umístění vrtů také neukazují žádnou jasnou souvislost. Severo-jihní (obr. 4.12) ani severozápado-jihovýchodní směry (obr. 4.14) nevykazují žádnou závislost. Výraznější vztah je pak ve výsledcích patrný pro západovýchodní směr (obr. 4.15), případně i severovýchodo-jihozápadní směr (obr. 4.13). Vztah lze pro oba směry popsat následovně: Od západu (resp. jihozápadu) koncentrace chloridů klesá z cca 90  $\text{mg l}^{-1}$  až na cca 40  $\text{mg l}^{-1}$  a následně stoupá na opět cca 90  $\text{mg l}^{-1}$ . Variabilita v rámci jedné desetiny stupně zeměpisné délky (resp. každých 5 000 jednotek Y souřadnice Křováková zobrazení) je značná (cca 50  $\text{mg l}^{-1}$ ), a tak tento vztah nepokládám za jednoznačný. Vztah ani nemá oporu v charakteru geneze sedimentu v oblasti. Vzhledem k postupu progradční linie se jeví jako pravděpodobnější závislost chemizmu na geografickém umístění vrtů pro severo-jihní směr, která ale však byla v tomto případě vyvrácena (obr. 4.12). Vzhledem k charakteru usazování křídových sedimentů je také nepravděpodobné, že na chemizmus vody mají všechna souvrství stejný vliv. Vzhledem k téměř totožnému průběhu obou směrů (SV-JZ a Z-V) předpokládám, že by se tento vztah chemizmu na geografickém umístění HG

vrťů dal studovat nejlépe pro směr JJZ – SSV. Dalším, pravděpodobnějším vysvětlením je vliv rozmístění HG vrťů. Ty jsou totiž rozmístěny podél řezu S3 jen do cca 7 km a řez má zhruba severozápado-jihovýchodní průběh.

Dále bych rád popsal klady a zápory použití obou metodik. Metodiku M2 jsem použil po analýze výsledků z metodiky M1. Jak je vidět na výsledcích metodiky M1, není zde zřetelný žádný vztah mezi hydrochemickým složením a genetickou sekvencí zastíženou v otevřeném úseku vrtu. Metodika M1 může být nepřesná při označení genetické sekvence v některých vrtech, pokud budou tektonické bloky mimo řez nakloněny nebo vertikálně posunuty podél zlomů vůči linii řezu. Tento nedostatek metodika M2 potlačuje. Metodikou M2 by bylo také teoreticky možné najít vztah v rámci jedné mocné genetické sekvence, což metodika M1 neumožňuje.

Nevýhodou M2 je skutečnost, že naložení všech vrťů na idealizovaný profil potlačuje vliv různé mocnosti genetických souvrství cenomanu ve vrtech. Při použití metodiky M2 se může např. stát, že HG vrt ve skutečnosti drenuje jen genetickou sekvenci TUR 3, ale na idealizovaném řezu bude vyobrazen, jako by drenoval sekvence TUR 3 a TUR 4 nebo jen sekvenci TUR 4. Tento vliv je zobrazen v tab. 4.3, vyjadřující variabilitu mocnosti jednotlivých sekvencí. Podle výsledků obou metodik otevřené úseky vrťů nejčastěji zasahují do sekvence TUR 3 (mocnost 60 až 100 m). Mocnost sekvencí CEN až TUR 2 se pohybuje v rozmezí 100 až 120 m. Tato informace nám říká, že metodika M2 je pro vrty s otevřenými úseky zasahujícími pouze do TUR 3 relativně přesná. Méně přesná je pak např. situace pro TUR 2, kde variabilita mocnosti CEN až TUR 1 (40 m) je téměř tak velká jako samotná mocnost TUR 2 (50 až 60 m). Podobný případ platí pro vyšší sekvence jako TUR 4 nebo TUR 5, kde variabilita mocnosti vrstev po bázi TUR 4 (CEN až TUR 3) je opět téměř tak vysoká (40 m) jako mocnost TUR 4 (50 až 70 m).

Podle všeobecných znalostí (viz příloha C) i výsledků této práce má horninové prostředí (alespoň ve studovaném území) největší vliv na koncentrace iontů  $\text{Ca}^{2+}$  a  $\text{HCO}_3^-$ . To dokládá jednak možná přítomnost vápence nebo vápnatých složek v sedimentech a také velká variabilita koncentrace těchto iontů (cca  $140 \text{ mg l}^{-1}$  u  $\text{Ca}^{2+}$  a cca  $350 \text{ mg l}^{-1}$  u  $\text{HCO}_3^-$ ), která souvisí se znatelně vyšší rozpustností  $\text{CaCO}_3$  v porovnání s ostatními minerály a horninami, které se vyskytují v zájmovém území.

Metodika výběru vrťů byla v rámci možností správná, protože analyzovaná hydrochemická data jsou poměrně robustní. V úvodu kapitoly Metodika zmiňuji dalších pět skupin vrťů, které jsem analyzoval. Tyto vybrané skupiny vykazovaly výsledky velice podobné těm, které prezentuji v této práci.

## 6. Závěr

V této práci jsem studoval chemické složení hydrogeologických vrtů podél geologického řezu v jižní části HG rajónu 464 na severu české křídové pánve. Zjišťoval jsem, zda existuje nějaká souvislost mezi genetickými sekvencemi, do kterých zasahují otevřené úseky vrtů, a jejich chemizmem. Dále jsem zkoumal vztah mezi chemizmem těchto vrtů a jejich geografickým umístěním – jestli závisí chemizmus vrtu na jeho poloze.

V rámci chemizmu vody jsem studoval tyto vlastnosti: pH, celkovou mineralizaci a koncentraci iontů  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  a  $\text{HCO}_3^-$ . Podrobněji jsem se zabýval jen pH a koncentracemi iontů  $\text{Ca}^{2+}$  a  $\text{HCO}_3^-$ , protože jsem pro ostatní vlastnosti nenašel žádný vztah ani mezi genetickými sekvencemi, do kterých zasahují otevřené úseky vrtů, a jejich chemizmem, ani mezi chemizmem vrtů a jejich geografickým umístěním.

V případě pH a koncentrací hydrogenuhličitanů a vápenatých iontů jsem našel souvislost s genetickými souvrstvími. V případě koncentrace  $\text{Ca}^{2+}$  iontů popisují také její vztah s geografickým umístěním vrtů. Žádný ze vztahů ale není průkazný, jelikož variabilita těchto vlastností je v jednotlivých souvrstvích vyšší než mezi souvrstvími. Stejně tak nepovažuji za přesvědčivý vztah chemizmu ke geografickému umístění vrtů. Vztah jsem sice objevil pro západo-východní a jihozápado-severovýchodní směr, ale nejen vzhledem k charakteru geneze pánevních sedimentů ho nepovažuji za relevantní.

Pro studium vztahu mezi genetickými sekvencemi a chemizmem jsem použil dvě metodiky – M1 a M2. Metodika M1 zpočívá v označení vrtů genetickou sekvencí, ve které má vrt otevřený úsek. Metodika M2 oproti tomu pracuje s relativní výškou nad bází cenomanu, která se však dá převést na odpovídající genetické sekvence.

Pro tyto účely přesnější metodika M1 ukázala ve vztahu pro koncentrace  $\text{HCO}_3^-$  a koncentrace  $\text{Ca}^{2+}$  následující souvislost: hodnoty koncentrací byly průměrně nejnižší v horní polovině genetické sekvence TUR 3 a do vyšších i nižších souvrství tato koncentrace stoupala. Stejný vztah byl vidět i u výsledků metodiky M2, ale méně zřetelněji. Výsledky metodiky M1 poukazovaly také na mírnou závislost pH na genetických sekvencích. Hodnota pH klesá z geneticky mladších souvrství do geneticky starších souvrství.

Na základě pozorovaných HG vrtů jsou výše zmíněné vztahy spíše výsledkem výběru vrtů, než nějaké regionální závislosti. Vzhledem k litologickému složení oblasti jsou popsány vztahy teoreticky možné, ale výrazná komplexnost sedimentace neukazuje na konkrétní vztah s chemizmem vody, který by se dal očekávat. Rozdíly v koncentracích a pH tak jen dokládají výraznou heterogenitu geochemického složení ve studované oblasti.

Přikláním se k závěru, že studovaná oblast kolem řezu S3 je geochemicky poměrně heterogenní, a to i na relativně krátké vzdálenosti. Přímo nevyklučuji přítomnost několika zvodní v kolektoru BC (tj. genetické sekvence TUR 1 – CON 1), ale jejich hydrogeochemické odlišení považuji za současného množství HG vrtů a hydrochemických analýz za prakticky nemožné.

e) Doufám, že se mi alespoň ve studované oblasti podařilo popsat danou problematiku a dospět k podloženým závěrům. Vzhledem k tomu, že se tato práce týkala jen poměrně malé oblasti české křídové pánve, tak by měla podnítit další studium. I jiné oblasti české křídové pánve i mimo ni by se měly stát předmětem dalšího výzkumu chemizmu hydrogeologických vrtů v porovnání s genetickými souvrstvími a jejich geografickou polohou. Konkrétně navrhuji zaměřit se na oblasti blíže středu pánve a na oblasti méně zasažené tektonickou aktivitou.

## Literatura

Čech S. - Klein V. - Kříž J. - Valečka J. (1980): Revision of the Upper Cretaceous stratigraphy of the Bohemian Cretaceous Basin. Věstník ÚÚG, 55, 277-296. Praha.

Čech, S. (1989): Upper Cretaceous Didymotis Events from Bohemia. In J. Wiedmann, ed.: Cretaceous of the Western Tethys. 657-676. Stuttgart.

Čech, S. - Valečka J. (1991): Významné transgrese a regrese v české křídové pánvi. MS Archiv ČGÚ. Praha.

CENIA [online] (2012) [citováno 20. 8. 2012]: Topografická mapa CENIA RT RETM. Mapová služba: CENIA, Česká informační agentura životního prostředí [<http://geoportal.gov.cz>]. Podkladová data: Vojenský geografický a hydrometeorologický úřad. Dostupné na serveru: <http://geoportal.gov.cz/arcgis/services>. Jméno: CENIA/cenia\_rt\_RETm.

Ekert V. - Mužák, J. (2010): Mining and remediation at the Straz pod Ralskem uranium deposit. GeoScience Engineering Volume VI (2010), No.3 - Special Issue. p. 1-6, ISSN 1802-5420 [dostupné na: <http://gse.vsb.cz/2010/LVI-2010-3-01-06.pdf>]

Geofond [online] (2012) [citováno 19. 8. 2012]: Mapy v aplikaci e-Earth. Dostupné na adrese: <http://www.geofond.cz/mapsphere/EEARTH/>. ČGS. Kostelní 26, 170 06 Praha 7.

Herčík, F. - Herrmann, Z. - Valečka, J. (2003): Hydrogeology of the Bohemian cretaceous basin. ČGS. Praha 2003. 96 p. ISBN 80-7075-604-7

Holland, S., M. [online] (2011) [citováno 14. 8. 2012]: Stratal Elements Poster. The University of Georgia Stratigraphy Lab [dostupné na: <http://strata.uga.edu/sequence/stratalElementsPoster.pdf>]

Hrkal, Z. - Prchalová, H. - Fottová, D. (2006): Trends in Impact of Acidification on Groundwater Bodies in the Czech Republic; An Estimation of Atmospheric Deposition at the Horizon 2015. Journal of Atmospheric Chemistry. Vol. 53, No. 1, 1-12, doi: 10.1007/s10874-006-0911-0

Hynie, O. (1961): Hydrogeologie ČSSR I. Prosté vody. nakl. ČSAV. 564 p. Praha.

Kadlecová, R. - Burda, J. - Čurda, J. - Herrmann, Z. - et al. (2010): Zákonitosti interakce systému „voda-hornina-krajina“ a jejich využití při ochraně podzemních vod v České republice. Dílčí zpráva VAV SP/2e1/153/07 za rok 2010.

Kadlecová, R. - Burda, J. - Čurda, J. - Herrmann, Z. - et al. (2012a): Zákonitosti interakce systému „voda-hornina-krajina“ a jejich využití při ochraně podzemních vod v České republice. Závěrečná zpráva VAV SP/2e1/153/07.

Kadlecová, R. - Krejčí, Z. - Fifernová, M. - Čech, S. - Majer, V. - et al. [online] (2012b) [citováno 19. 8. 2012]: Zákonitosti interakce systému „voda-hornina-krajina“ a jejich využití při ochraně podzemních vod v České republice. dostupné na: <http://www.geology.cz/vav-hydrocr50/vysledky-projektu>

Konečný, M. - Kaplan, V. - Keprtová, K. - Podhrázský, Z. - Stachoň, Z. - Takovská, K. [online] (2012): Multimediální učebnice kartografie a geoinformatika. Geografický ústav PŘF MU Brno. Dostupné na: <http://oldgeogr.muni.cz/ucebnice/kartografie/>

Lorenz et al. (1964) – Geologická mapa ČSSR. Mapa předčtvrtohorních útvarů. 1:200 000. Mapový list M-33-IX Děčín – Görlitz. ÚGÚ. ÚÚG. Praha.

Malkovský, M. - Benešová, Z. - Čadek, J. - Holub, V. - Chaloupský, J. - Jetel, J. - Müller, V. - Mašín, J. - Tásler, R. (1974): Geologie české křídové pánve a jejího podloží. ÚÚG. Nakl. ČSAV. Praha.

Malkovsky, M., (1976): Saxonská tektonika Českého masivu. Int. J. Earth Sci. 65, p. 127–143 (německy).

Martínek, K. [online] (2012) [citováno 21. 8. 2012]: přednáška předmětu Geologie sedimentárních pánví, Univerzita Karlova v Praze. Dostupné na: <http://web.natur.cuni.cz/ugp/main/staff/martinek/Basins>

Mixa, P. et al. (2010): Rebilance podzemních vod 2010 - 2015. Projekt spolufinancovaný Státním fondem životního prostředí České republiky, Ministerstvem životního prostředí České republiky a Evropskou komisí v rámci operačního programu „Životní prostředí“. ČGS.

Ogg, J. G. - Agterberg, F. P. - Gradstein, F. M. (2004): The Cretaceous Period, p. 344–383. In Gradstein, F. M. - Ogg, J. - Smith, A. (2004): A Geologic Time Scale 2004. Cambridge University Press, Cambridge.

Olmer, M. - Kessl, J. et al. (1990): Hydrogeologické rajóny. - Práce a studie, 1976, UÚV v JZN. Praha.

Olmer, M. - Herrmann, Z. - Kadlecová, R. - Prchalová, H. et al. (2006): Hydrogeologická rajonizace České republiky. - Sbor. geol. Věd, Hydrogeol. inž. Geol., 23, 5–32. ISBN 80-7075-660-8

Pražák et al. 1994 – Pražák, J. - Čech, S. - Eliáš, M. - Hercogová, J. - Knobloch, E. - Malecha, A. - Švábenická, L. - Valečka, J. (1994): Křída. In: Klomínský, J. (ed.): Geologický atlas České republiky – Čes. geol. úst. Praha

Pitter, P. (2009): Hydrochemie. 592 p. Vydavatelství VŠCHT Praha. ISBN 978-80-7080-701-9

Skupien, P. - Vašíček, Z. [online] (2008) [citováno 21. 8. 2012]: Multimediální texty ze sedimentologie, Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, Hornicko-geologická fakulta, Institut geologického inženýrství. Dostupné na: <http://geologie.vsb.cz/Sedimentologie/textova%20cast/sekvencni%20strat.htm>

Slezák (2001): Historie těžby uranu v oblasti Stráže pod Ralskem v severočeské křídě a hydrogeologie. Sborník geologických věd. Hydrogeologie, inž. geologie, 21. p. 5-36. ČGÚ Praha. ISSN: 0036-5289. dostupné na: <http://www.geology.cz/sbornik/hydrogeologie/21/21-1.pdf>

Soukup J., (1955): Úprava stratigrafického členění a otázka hranice mezi turonem a senonem v české křídě. - Sborník ÚÚG 21. Praha.

Uličný, D. - Špičáková, L. (1996): Response to high frequency sea-level change in a fluvial to estuarine succession: Cenomanian palaeovalley fill, Bohemian Cretaceous Basin. In: Howell, J. A. - Aitken, J. F. (eds.): High Resolution Sequence Stratigraphy: Innovations and Applications. - Geol. Soc. Spec. Publ., 104, 247-268.

Uličný, D. - Laurin, J. - Čech, S. (2009a): Controls on clastic sequence geometries in a shallow-marine, transtensional basin: the Bohemian Cretaceous Basin, Czech Republic. *Sedimentology* 56, p. 1077-1114. doi: 10.1111/j.1365-3091.2008.01021.x

Uličný, D. - Špičáková, L. - Grygar, R. - Svobodová, M. - Čech, S. - Laurin, J. (2009b): Palaeodrainage systems at the basal unconformity of the Bohemian Cretaceous Basin: roles of inherited fault systems and basement lithology during the onset of basin filling. *Bulletin of Geosciences* 84(4), p. 577-610. ČGS. Praha. ISSN 1214-1119.

Uličný et al. [online] (2011a) [citováno 19. 8. 2012]: Mapa zlomové stavby české křídové pánve na podkladě izolinií nadmořských výšek báze turonu. In: Kadlecová, R. - Krejčí, Z. - Fiferová, M. - Čech, S. - Majer, V. - et al. [online] (2012b) [citováno 19. 8. 2012]: Zákonitosti interakce systému „voda-hornina-krajina“ a jejich využití při ochraně podzemních vod v České republice. dostupné na: <http://www.geology.cz/vav-hydrocr50/vysledky-projektu>

Uličný et al. [online] (2011b) [citováno 19. 8. 2012]: Kumulativní mocnost kvádrových pískovců v ekvivalentu kolektoru C se zlomy. In: Kadlecová, R. - Krejčí, Z. - Fiferová, M. - Čech, S. - Majer, V. - et al. [online] (2012b) [citováno 19. 8. 2012]: Zákonitosti interakce systému „voda-hornina-krajina“ a jejich využití při ochraně podzemních vod v České republice. dostupné na: <http://www.geology.cz/vav-hydrocr50/vysledky-projektu>

Uličný et al. [online] (2011c) [citováno 19. 8. 2012]: Mapa zlomů české křídové pánve. In: Kadlecová, R. - Krejčí, Z. - Fiferová, M. - Čech, S. - Majer, V. - et al. [online] (2012b) [citováno 19. 8. 2012]: Zákonitosti interakce systému „voda-hornina-krajina“ a jejich využití při ochraně podzemních vod v České republice. dostupné na: <http://www.geology.cz/vav-hydrocr50/vysledky-projektu>

Valečka J. (1988): Sedimentologie svrchní křída v králickém příkopu. SbGV, Geol., 43, 147-191. Praha

Valečka (1994): Litologické změny v nejvyšší části jizerského souvrství v ssv. okolí České Kamenice a jejich vztah k paleoproudovému režimu. - Zpr. geol. Výzk. v roce 1993, 96-97. Praha

VUV [online] (2012) [citováno 27. 8. 2012]: Chemická těžba uranu Stráž pod Ralskem. Výzkumný ústav vodohospodářský. Dostupné na:  
[http://www.vuv.cz/index.php?id=238&L=1'%60\(%5B%7B%5E~](http://www.vuv.cz/index.php?id=238&L=1'%60(%5B%7B%5E~)