

Krasová porozita a vydatné vrty a prameny v hydrogeologických rajonech 4270, 4231 a 4232 (vysokomýtská synklinála a ústecká synklinála)



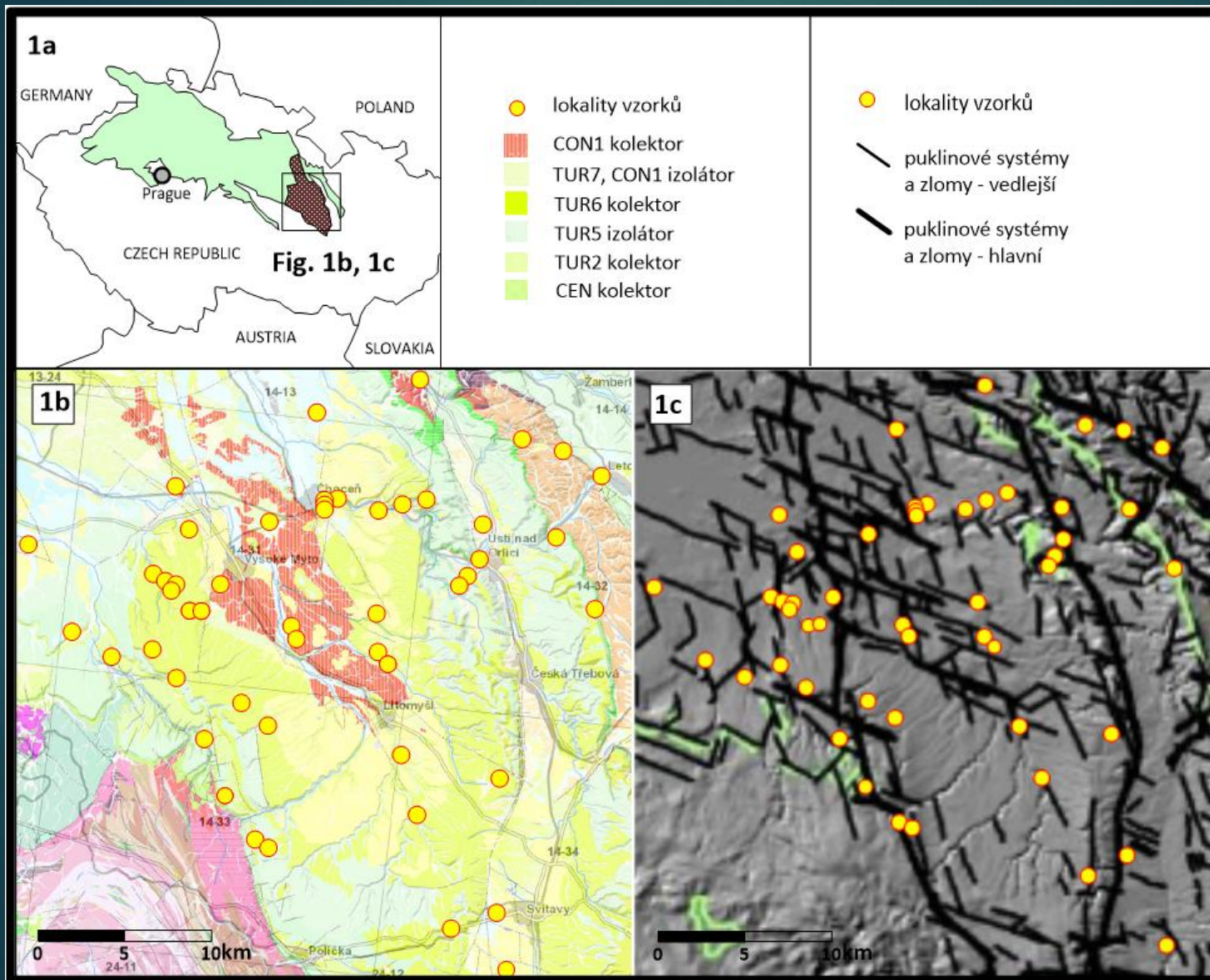
Jiří Starý

Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy, Albertov 6, 128 43 Praha 2

Předmět a cíl příspěvku

- ▶ zájmová oblast - východočeská křída (vysokomýtská a ústecká synklinála) **mají** na svém území **jedny z nejvýznamnějších vodárenských zdrojů v rámci České republiky**. Východní část české křídové pánve také vykazuje **existenci největších křídových pramenů v ČR**
- ▶ obrovský vodohospodářský význam východočeských křídových kolektorů jsou značné mezery v chápání, **jakou porozitu zde podzemní voda při svém proudění využívá a jak tato porozita vznikla**
- ▶ **využití hydrokarotážních dat** ➡ cílené odběry vzorků hornin z hlavních přítokových zón významných vrtných děl
- ▶ **Cíl příspěvku:**
 - ➡ syntéza dostupných karotážních a hydrodynamických dat v konkrétních vrtech současné využití loužících experimentů na vzorcích z vrtných jader ➡ specifikace vysoce propustné porozity v polohách hlavních vodárensky využívaných kolektorů
 - studium povrchových výchozů + loužící testy ➡ konceptuální model vzniku otevřených puklin a kanálů

Vymezení zájmové oblasti

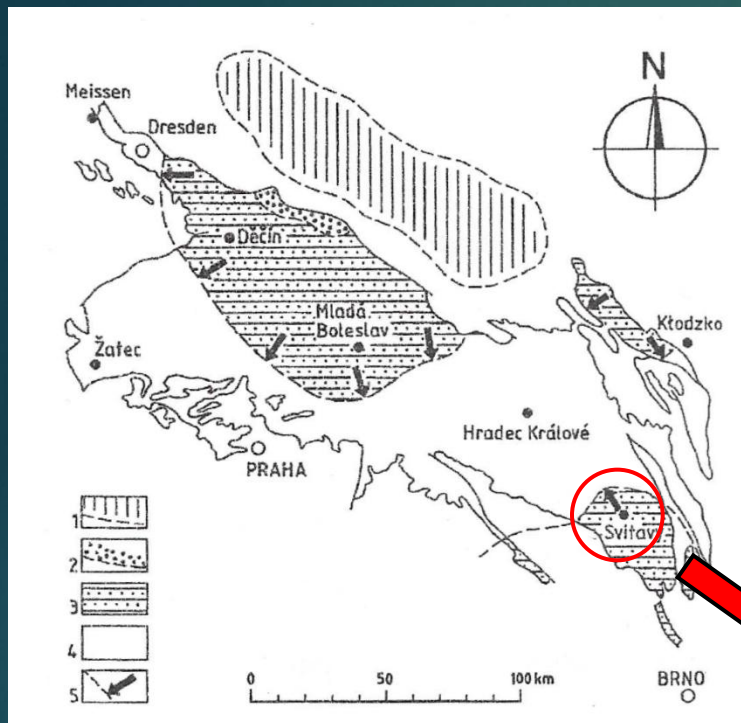


1a) lokalizace studovaného areálu v rámci České republiky a české křídové pánve

1b) topografická a geologická mapa na mapovém základě snímků Lidar

1c) morfostrukturní analýza puklinových systémů a zlomů křídových sedimentů na podkladu DMR 25.

Litofaciální a stratigrafické začlenění oblasti



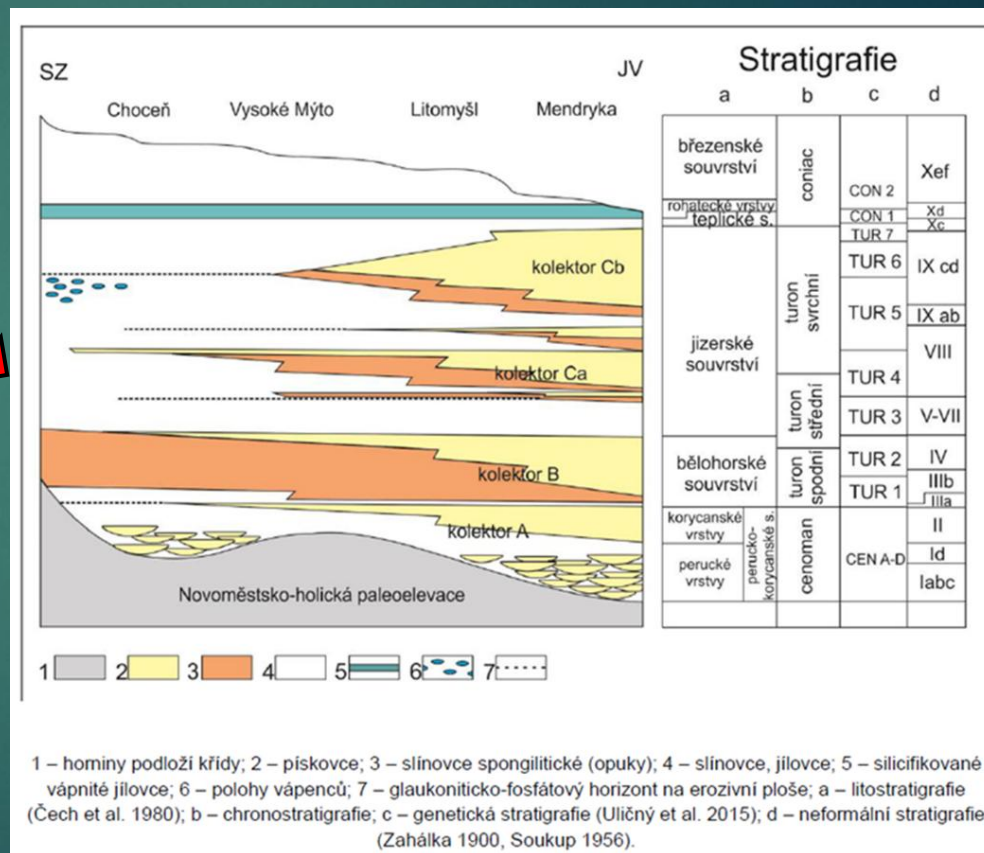
přechodní facie - široká škála

litotypů:

spongilitické slínovce a pískovce, křemité spongility, rohovce, pískovce - jemnozrné až střednězrné vápnité pískovce, vápence s různým podílem jemnozrné matrix a vápnitého či křemičitého tmelu.

progradační - obsahuje především siliciklastický materiál hrubší frakce

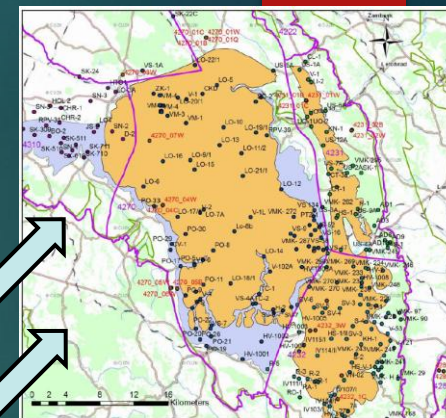
pánevní - převažují karbonáty a slínovce (Herčík et al. 1999).



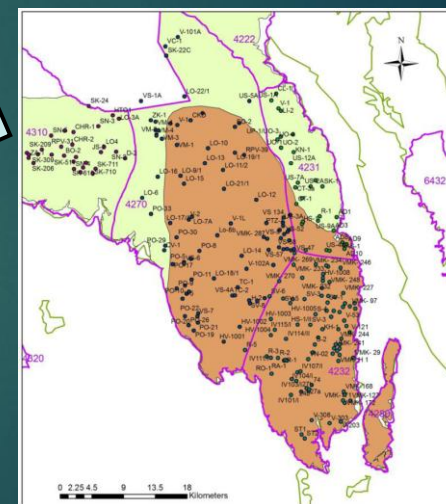
Zdroj: Kadlecová et al. (2016)

Litostratigrafické začlenění studovaných kolektorů

litostratigrafie (Čech et al. 1980)	stáří		stratigrafie (Soukup 1952)	litologie	hydrogeologický charakter
břeženské souvrství Kbz	C O N I A C		Xef	vápnité jílovce	regionální izolátor
rohatecké vrstvy Kr			Xd	silicifikované vápnité jílovce (inoceramové opuky)	nevýznamný puklinový kolektor Dr
teplické souvrství Kt	T U R O N	svrchní	Xabc	vápnité jílovce, slínovce	izolátor D/C
jizerské souvrství Kj			střední	IXcd	vápnité (kallianasové) pískovce až prachovce; slínovce, vápence
		IXab		slínovce až jílovité vápence	izolátor Cb/Ca
		VIII		písčité slínovce, prachovce, na J pískovce	puklinový kolektor Ca, na S převážně izolátor
		V–VII		slínovce	izolátor C/B; v okolí Poličky uprostřed izolátoru C/B je lokální kolektor písčitých slínovců
bělohorské souvrství Kb		spodní	IV	spongilitické vápnité pískovce a prachovce	puklinový kolektor B
	IIIb		spongilitické a prachovité slínovce	izolátor B/A	
	IIIa				
perucko- korycanské souvrství Kpk	C E N O M A N	korycanské vrstvy	II	pískovce, slepence převážně s jílovitým tmelem, polohy jílovců	průlinovo-puklinový kolektor A
		perucké vrstvy	I		



Plošné vymezení
subkolektorů Ca
(šedě) a Cb (hnědě)

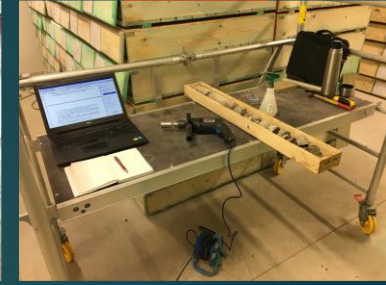


Vztah litostratigrafie a hydrogeologického charakteru
(přehled kolektorů a izolátorů) v HGR 4270 dle
Kadlecové et al. (2016)

Rozsah kolektoru B s vyznačením
facie vápnitých pískovců s rohovci
(hnědě) a spongilitických
prachovců (zeleně)

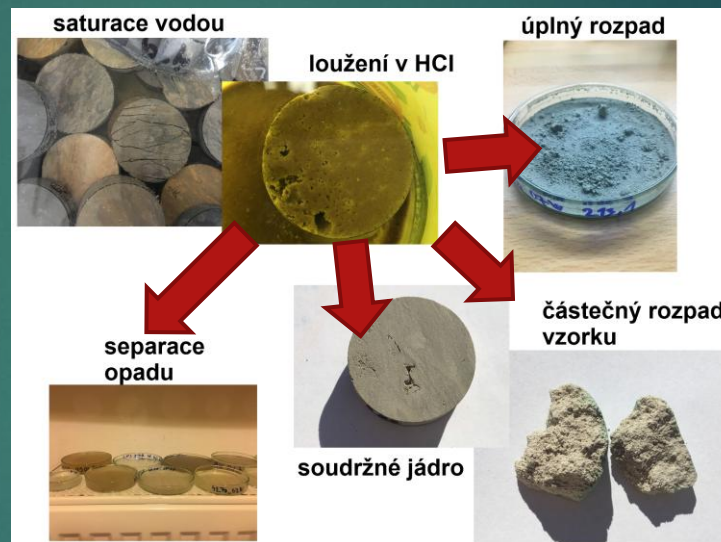
Metodika odběru a zpracování vzorků

- ▶ odebírány vzorky z povrchových výchozů i vrtných jader, vždy v páru



- ▶ obsah CaCO_3 – metoda kalcimetrie (coulometricky CO_2 , oxidy-analýza FAAS), kalcit – molární výpočet

- ▶ jádra – saturace vodou, loužení v 10% HCl – určení obsahu rozpustné složky, porozity a míry rozpadu



metoda založená na Archimédově zákonu - metoda trojího vážení pro získání parametrů V , m_s , ρ , n

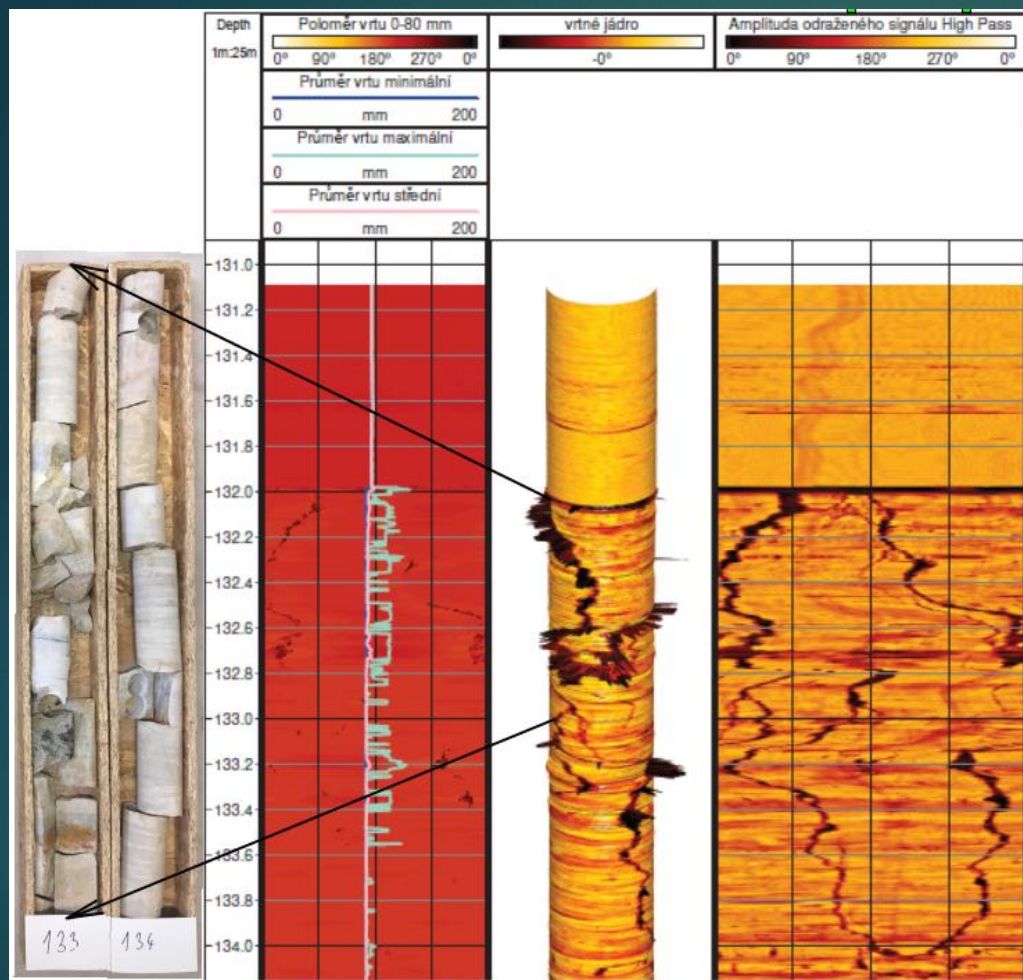
- ▶ leštěné vzorky – obsahy Ca, Si, Na, K, Al analyzovány mikrosondou (SEM-EDS) - vizualizace distribuce karbonátu, křemene, živců a jílových minerálů

označení	význam	jednotka/ rozměr
m_{1n}	hmotnost suchého vzorku před loužením	g
m_{1s}	hmotnost nasyceného vzorku před loužením	g
m_{2n}	hmotnost suchého vzorku po loužení	g
m_{2s}	hmotnost nasyceného vzorku po loužení	g
m_0	Hmotnost nesoudržné složky	g
ρ	zdánlivá objemová hmotnost	g/cm^3
V	zdánlivý objem vzorku	cm^3
n_1	přibližná porozita před loužením	% (obj.)
n_2	přibližná porozita po loužení	% (obj.)
Δn	rozdíl porozity n_1 - n_2	% (obj.)
RS	podíl rozpustných složek	% (hm.)
Y	míra rozpadu	% (hm.)

$$Y = m_{2n} / (m_{2n} + m_0)$$

$$RS = [(m_{1n} - m_{2n}) / m_{1n}] \cdot 100 [\%]$$

Akustický skener a další využití hydrokarotážní metody



Na základě měření akustickým skenerem lze identifikovat poruchy a jejich prostorovou orientaci (směr a sklon puklin nebo vrstevních rozhraní), kaverny a kanály, jejich tvar a šířku rozevření.

Zdroj: Procházka et al., 2015

Dále byly využity zejména metody:

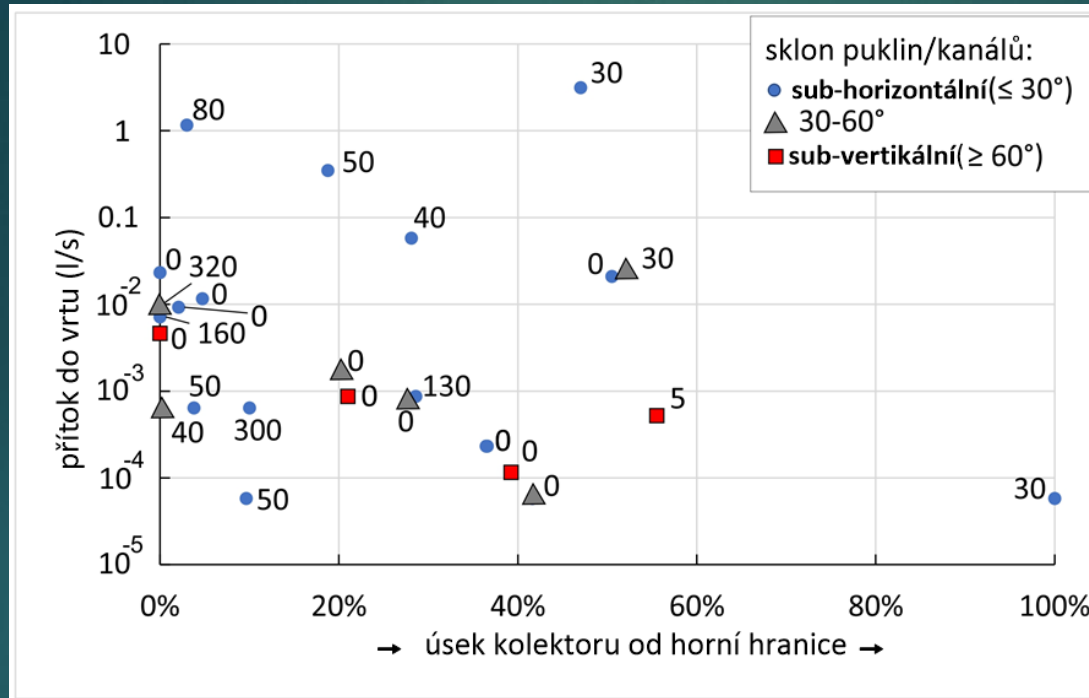
- kavernometrie
- rezistivimetrie (metoda ředění označené kapaliny, metoda čerpání nebo nálevu označené kapaliny)
- průtokoměry
- fotometrie
- TV prohlídky
- neutron-neutron karotáž
- gama karotáž



Podklady z akustických a dalších hydrokarotážních měření byly převzaty zejména z akce Rebilance zásob podzemních vod ČR a následně jsou interpretovány společně s výsledky loužících testů.

Výsledky

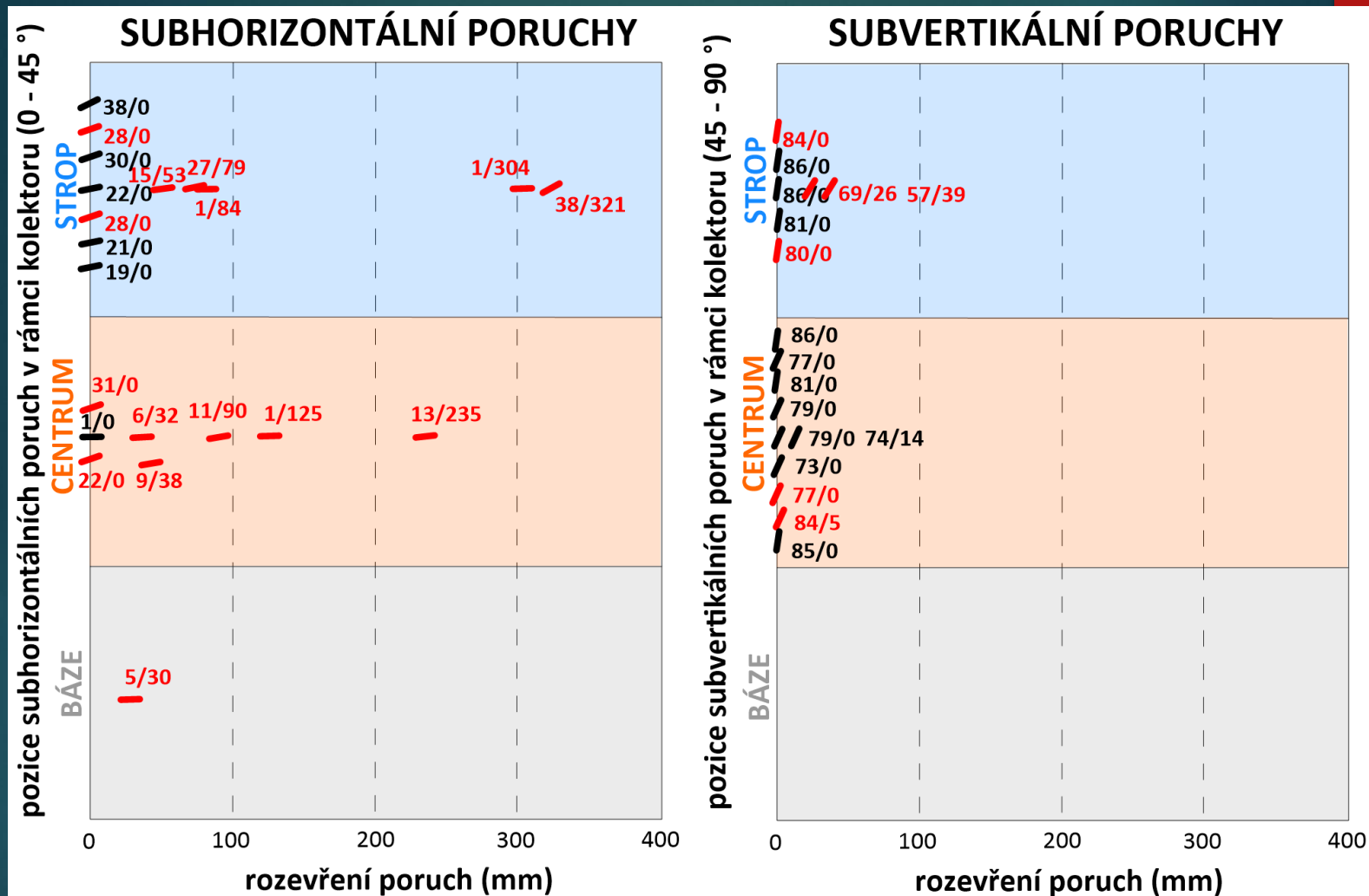
Vyhodnocení pozice a funkce poruchových systémů ve vrtech dle akustické karotáže



zásadní nové zjištění:

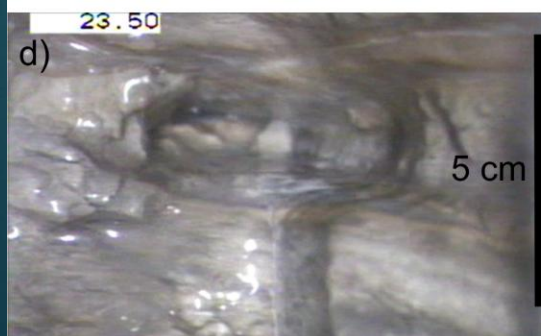
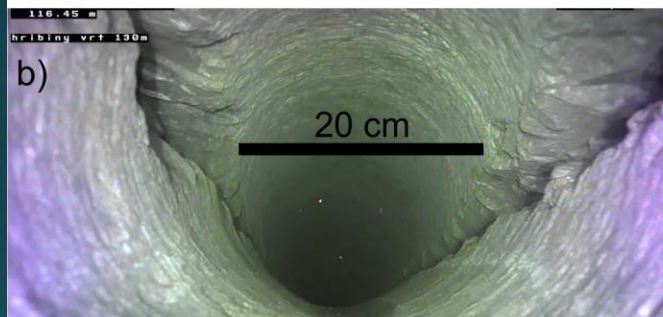
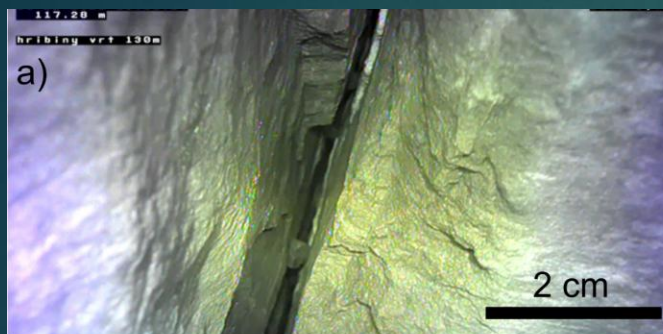
v případě subhorizontálních poruch byly dokumentovány přítokové zóny celkem u 71 % těchto poruch (zejména přítoky > 0.1 l/s), v případě subvertikálních je to pouze 35 %.

- Celkem 13 přítokových zón pochází z otevřených poruch, 8 přítoků bylo registrováno v úsecích sevřených poruch.
- Poměr otevřených puklin v centrální a stropní části kolektorů je celkem vyrovnaný a činí 6 resp. 7. V bazální části kolektorů nejsou identifikovány téměř žádné pukliny.
- Na rozhraní izolátorů a kolektorů mohou vznikat výrazné preferenční zóny proudění podzemní vody, jedná se převážně o poruchové zóny podmíněné rozpouštěním a mechanickým účinkem tlakové vody.



Červeně jsou znázorněny aktivní poruchové zóny (s přítoky podzemní vody), černě pasivní poruchy, kde nebyly hydrokarotážními metodami přítoky detekovány. Čísla u značek poruch zobrazují sklon/rozevření poruchy.

Hlavní přítoky podzemní vody jsou vázány na rozevřené převážně subhorizontální pukliny.



Příklady subhorizontálních a subvertikálních aktivních přítokových zón do studovaných vrtů

Obr. a,b,c) - Hřibiny-
Letská – kolektor B –
přítok 5 -10 l/s

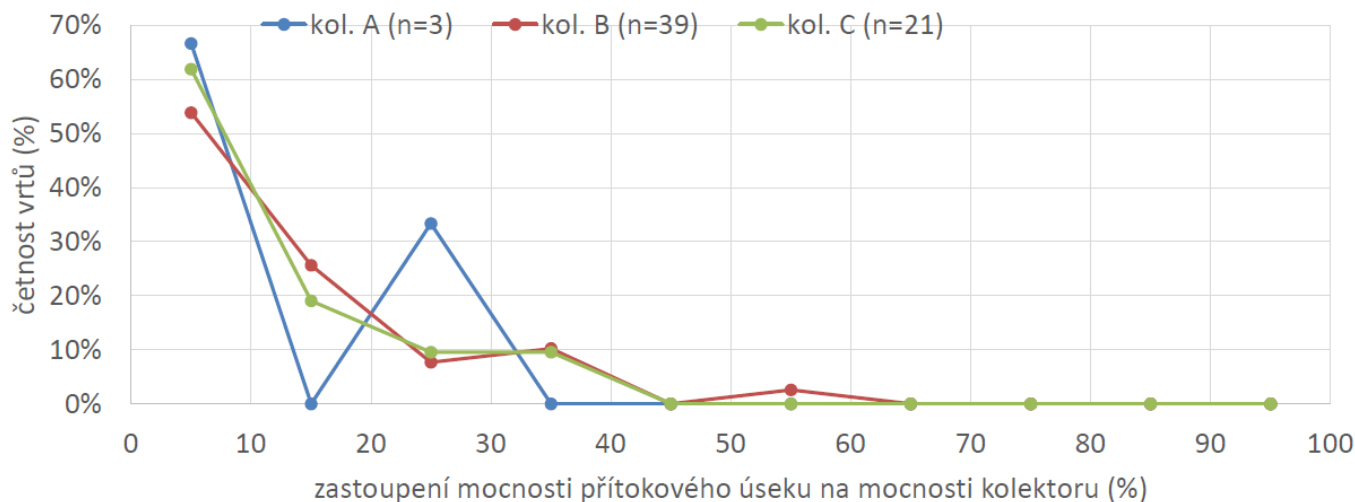
Obr. d) - Lubná –
kolektor Cb báze-
přítok 0,05 l/s

Obr. e) Javorníček –
kolektor C

Obr. f,g) Perla 06 Ústí
n.O. – kolektor Cb
centrální část – přítoky
36 l/s)

Lokalizace a charakter hlavních přítoků do vrtů byl studován na 65 vrtech.

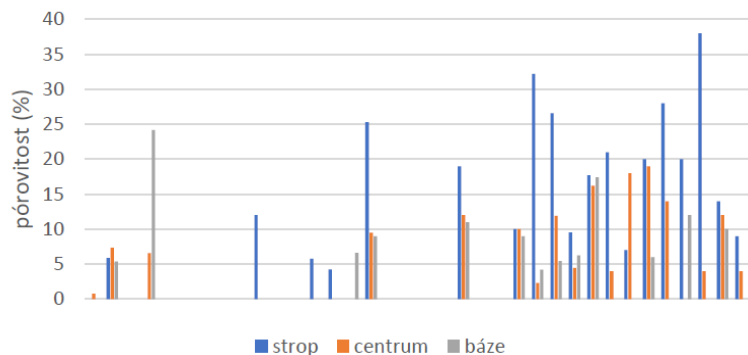
- v turonských kolektorech dochází k hlavním přítokům v průměru jen z 10% mocnosti kolektoru
- převažují přítoky 0,5-1 l/s na metr přítokové zóny, ale v 12-18 % případů byly dokumentovány extrémní přítoky s vydatností přes 10 l/s na metr přítokové zóny
- nejvydatnější vrty mívají vysokou výtlačnou úroveň hladiny podzemní vody vůči stropu studovaných kolektorů



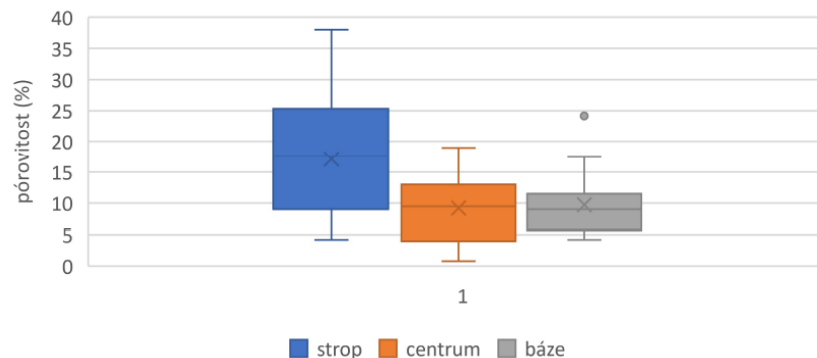
Graf podílu
mocnosti
přítokových zón
vůči celkové
mocnosti
kolektorů

Grafické závislosti pórovitosti a obsahu CaCO_3 na poloze vzorků v rámci kolektorů B, Ca a Cb

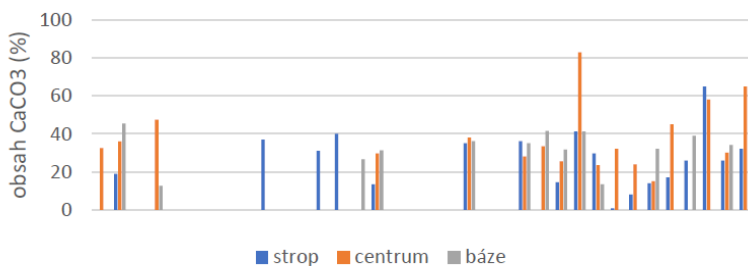
Graf závislosti pórovitosti na poloze v rámci kolektorů B, Ca a Cb



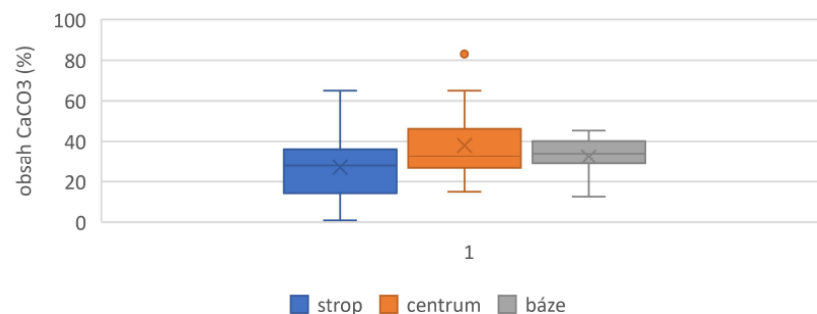
Krabicový graf závislosti pórovitosti na poloze v rámci kolektorů B, Ca a Cb



Graf závislosti obsahu CaCO_3 na poloze v rámci kolektorů B, Ca a Cb



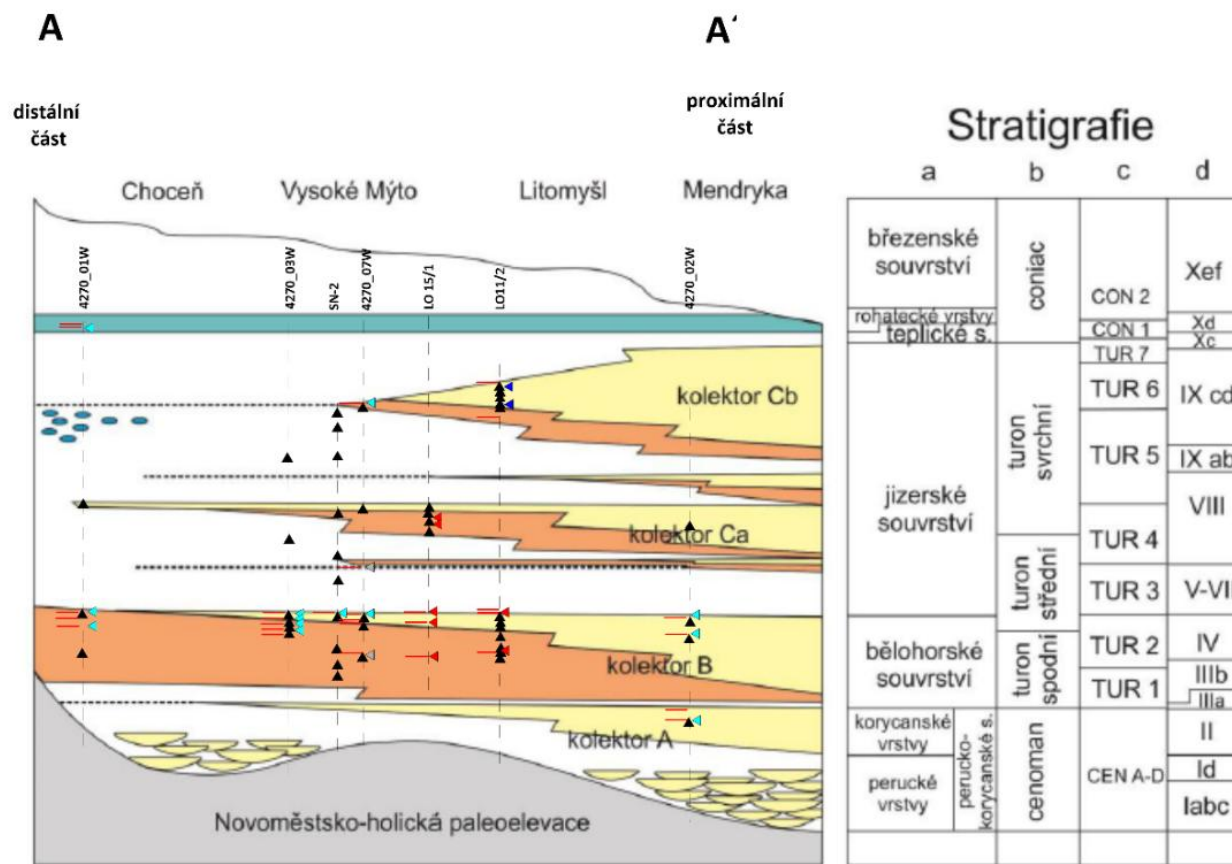
Krabicový graf závislosti obsahu CaCO_3 na poloze v rámci kolektorů B, Ca a Cb



Data z celkem 12 vrtů v rámci výzkumu východočeské křídý ukazují, že nejvyšší porozita byla dokumentována v prostoru stropu kolektorů, nejvyšší obsah CaCO_3 při bázi kolektorů. Pokles obsahu CaCO_3 - vykompenzován nárůstem pórového prostoru.

Prouděním podzemní vody došlo k vyloužení kalcitu a tím k nárůstu porozity horniny.

Hydrogeologický řez dokumentačními body v centrální části rajonu Vysokomýtská synklinála



1 2 3 4 5 6 7

Obrázek 4-3: Stratigrafické schéma a pozice kolektorů v HGR 4270

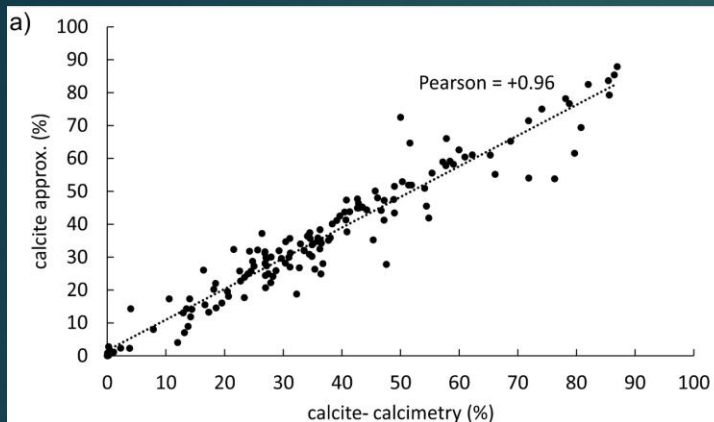
1 – hominy podloží křídý; 2 – pískovce; 3 – slínovce spongilitické (opuky); 4 – slínovce, jílovce; 5 – silicifikované vápnité jílovce; 6 – polohy vápenců; 7 – glaukoniticko-fosfátový horizont na erozivní ploše; a – litostratigrafie (Čech et al. 1980); b – chronostratigrafie; c – genetická stratigrafie (Uličný et al. 2015); d – neformální stratigrafie (Zahálka 1900, Soukup 1956).

▲ odběry vzorků z vrtných jader
(u vrtů řady W vždy párové odběry)

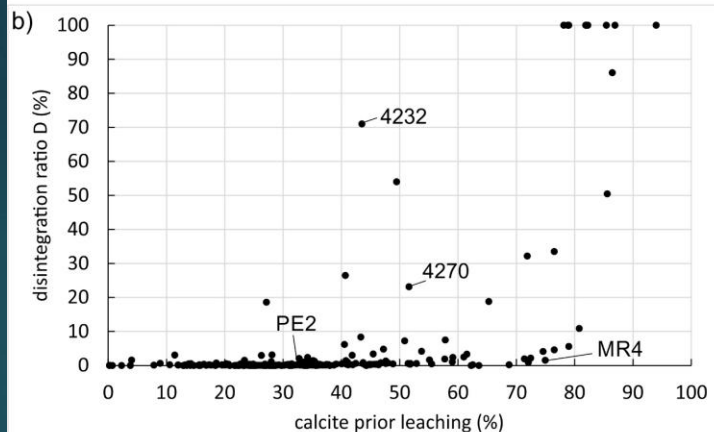
— hlavní poruchy dle karotáže

Metoda ředění - přírodní proudění

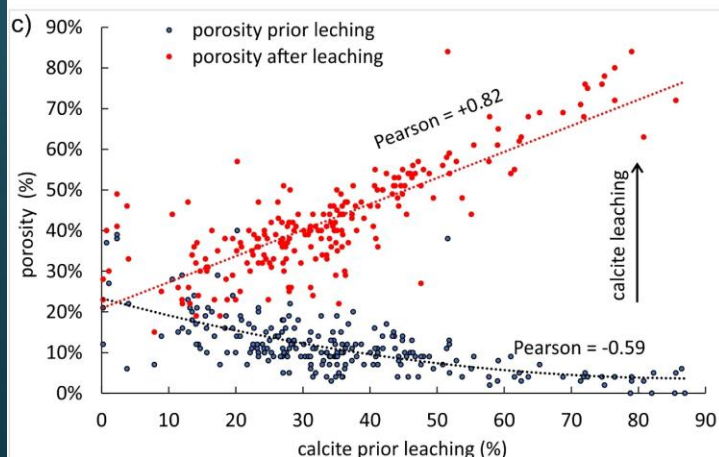
- ◀ přítok či odtok dle karotáže - $Q = \text{do } 0,001 \text{ l/s}$
- ◀ přítok či odtok dle karotáže - $Q = 0,01 - 0,05 \text{ l/s}$
- ◀ přítok či odtok dle karotáže - $Q = 0,05 - 0,5 \text{ l/s}$
- ◀ přítok či odtok dle karotáže - $Q = 10^0 - 10^1 \text{ l/s}$



Obsah CaCO_3 ve vzorcích z vrtů se pohybuje v širokém rozmezí 0,3 – 86,9 % hm, průměrně činí 35,8 % hm. Obsah CaCO_3 ve vzorcích z povrchových výchozů je srovnatelný - pohybuje se v rozpětí 0 – 85,4 % hm, průměrně činí 36,4 % hm (graf a).



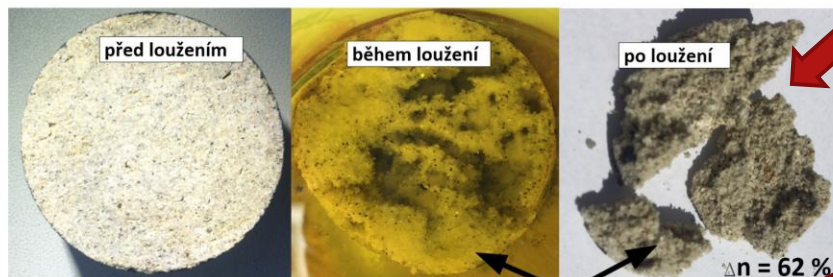
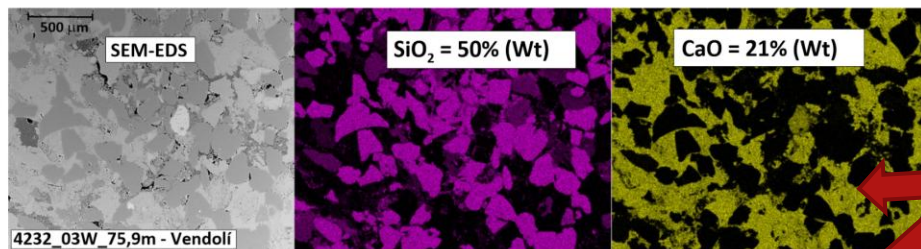
Z grafu b) je patrná celkově velmi nízká míra rozpadu vzorků a překvapivě vysoká stabilita vzorků, které před loužením obsahovaly až 80 % hm CaCO_3 . To znamená, že 20 % zbývajícího materiálu je schopno udržet stabilní strukturu horniny. Hranice kritického obsahu kalcitu, která vede k úplnému rozpadu, je velmi vysoká (79-86 hm. %).



Vyluhování CaCO_3 vede spíše ke zvýšení pórovitosti na neobvykle vysoké hodnoty než k rozpadu vzorků (graf c).

Na základě těchto zjištění byla u vybraných vzorků ze všech skupin (nestabilní, středně stabilní a extrémně stabilní po loužení v HCl) provedena analýza mikrosondou (SEM-EDS).

Vzorek 4232_03W-75,9 m - středně zrnitý vápnitý křemitý pískovec

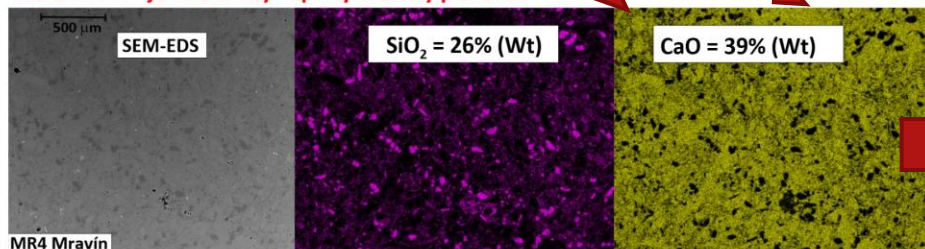


míra rozpadu 71 %

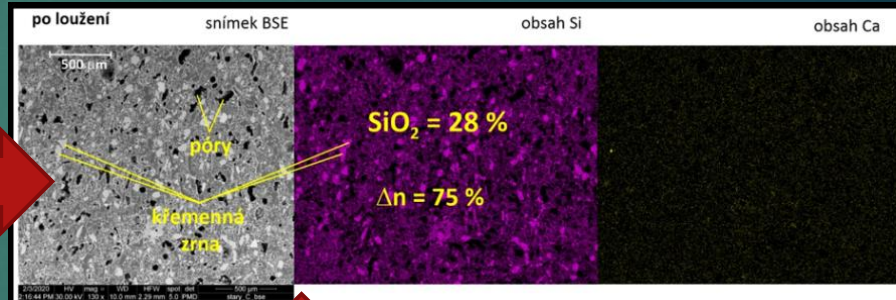
Snímky z vrtu Vendolí během a po loužení zachycují kompletní rozpuštění vápnité složky a následný výrazný rozpad vzorku bez podpůrné struktury křemičitého tmelu.

Na snímcích Si jsou u nevyloženého vzorku MR4 jsou dobře patrná relativně rovnoměrně rozptýlená „plovoucí“ křemenná zrna o velikosti do 100 µm v křemičitém a kalcitovém tmelu, póry v hornině nejsou viditelné.

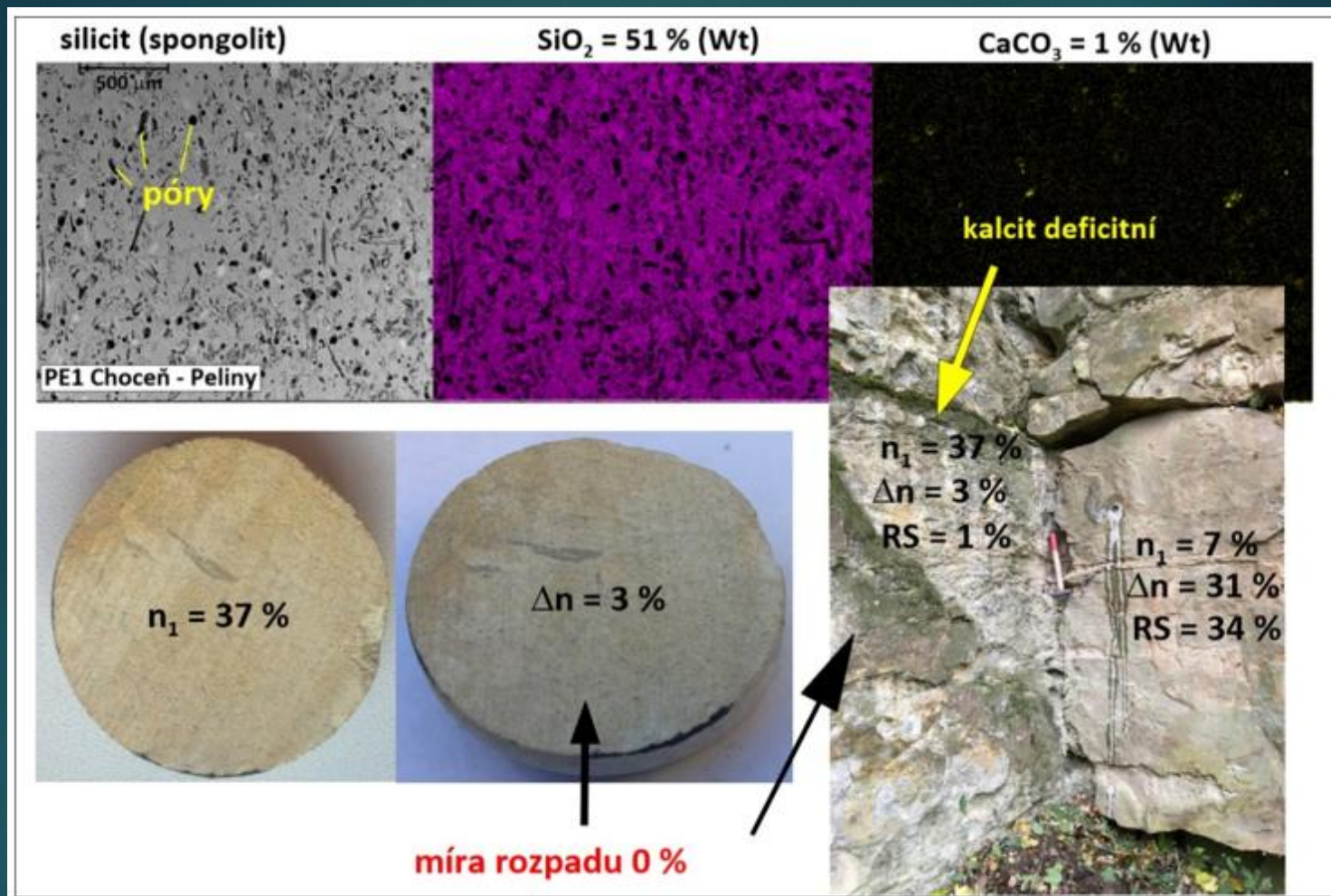
Vzorek MR4 - jemně zrnitý vápnitý křemitý pískovec



míra rozpadu 1,5 %



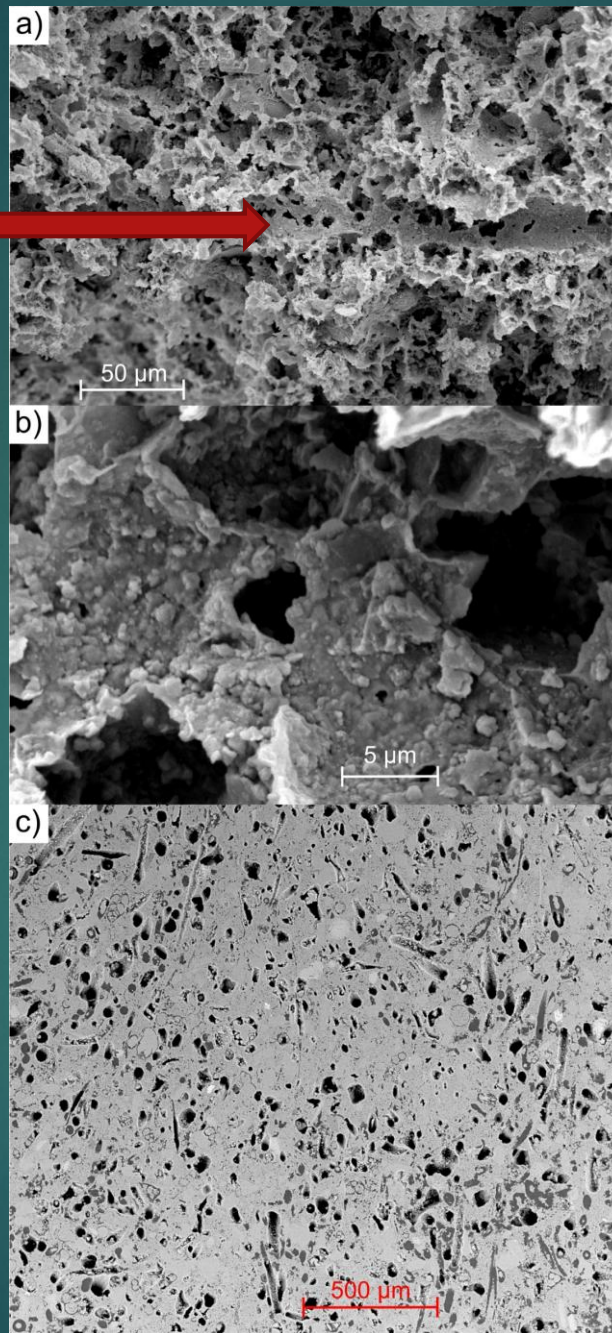
Po vyloužení rozpustné složky výrazně vyniká reliéf křemičitého tmelu, včetně širokých pórů o průměru až 200 µm, které jsou celkem rovnoměrně rozmístěny.



Snímky SEM a fotodokumentace vzorků PE1. Na snímku BSE je patrná výrazná porézní struktura silicitu (původně vápnitého pískovce) a na dalších snímcích SEM významný rozdíl mezi obsahy SiO_2 a CaCO_3 ve vzorku před loužením. Na fotodokumentaci výchozu je patrný zjevný makroskopický rozdíl mezi porušenou, kalcitem deficitní zónou a masivní nenarušenou horninou.

trubicovité otisky jehlic
mořských hub -
původně tvořeny
biogenním opálem,
který se při diagenézi
rozpustil

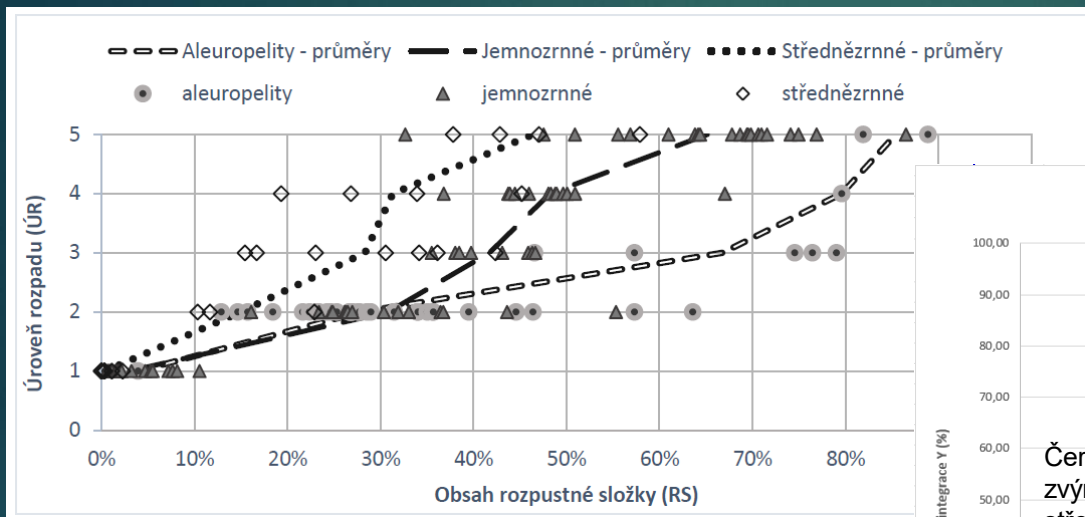
**Vzorek z
výchozu PE2
po loužení v
HCl, 78 %
pórovitost**



Mikrokryсталický
křemitý tmel ve
vápnitých pískovcích
má zásadní vliv na
vyšší soudržnost a
odolnost vzorků vůči
rozpouštění.

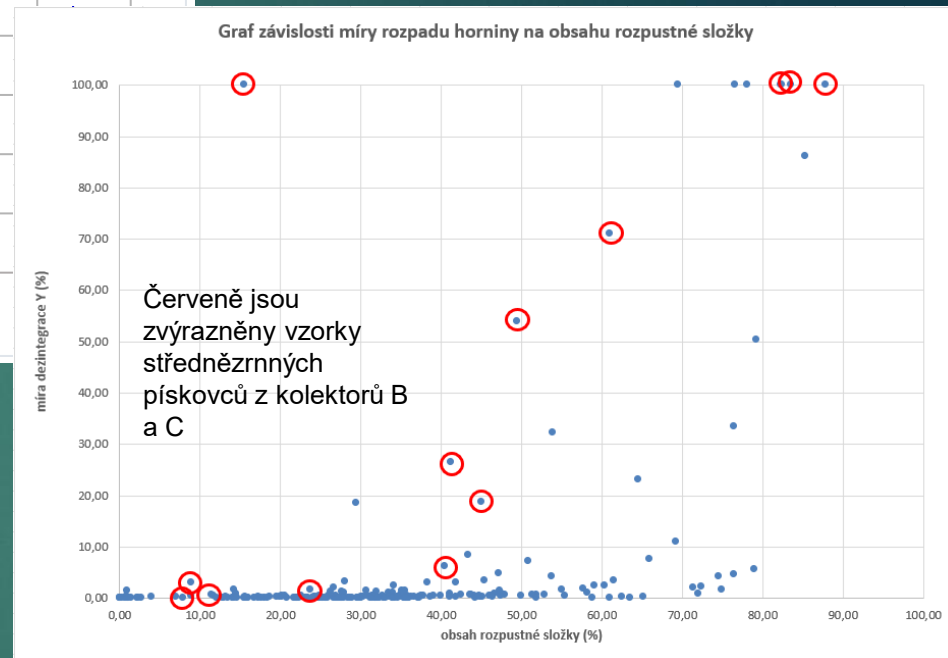
Detailní pohled
odhaluje specifické
prostorové uspořádání
mikrokryсталického
křemene,
který tmelí křemenná
zrna dohromady a tvoří
pěnovitou
podpůrnou strukturu v
jemnozrnných kalcitem
bohatých polohách.
Proto i při vyloužení
78% hmoty horniny
stále drží pohromadě.

Porovnání potenciálu krasovění východočeské křídý s dalšími oblastmi české křídové pánve



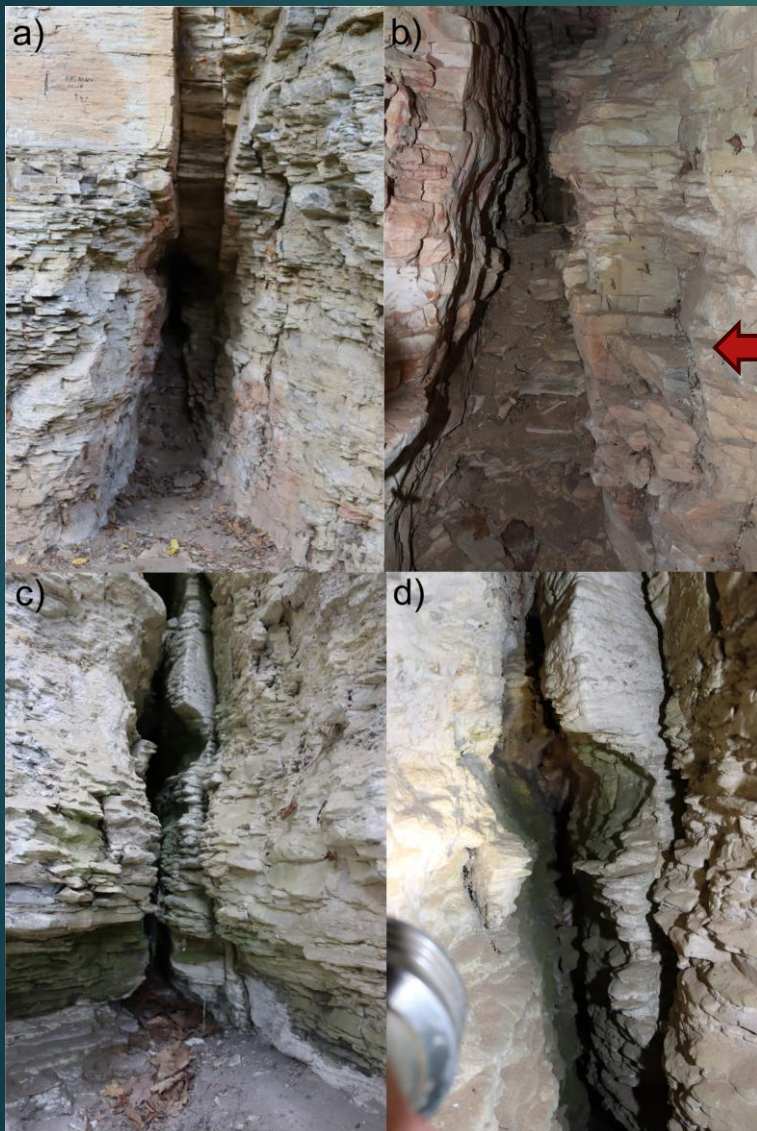
Celá ČKP (Balák 2015)

Východočeská křída (Starý 2024)



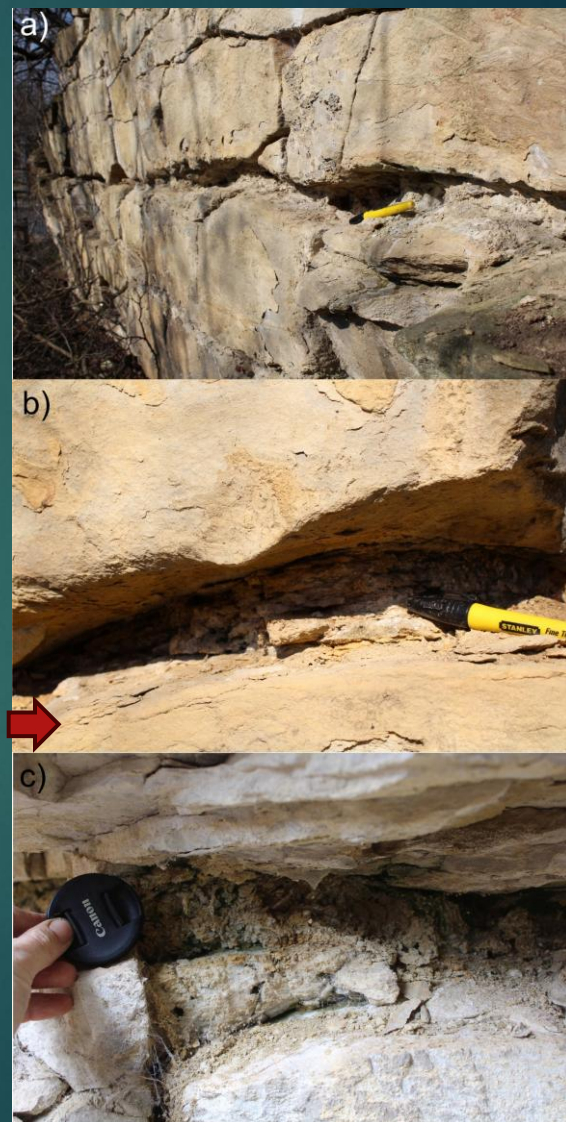
- výrazně nižší míra rozpadu u vzorků z východočeské křídý (9 % vzorků mělo míru rozpadu nad 10 %, oproti vzorkům z oblasti západní části české křídové pánve (39 – 49 % vzorků mělo míru rozpadu nad 10 %))
- hlavním faktorem ovlivňujícím míru rozpadu je konstituce a typ horninového tmelu, který je zejména u spongilitických slínovců a jemnozrných pískovců ve východočeské křídě poměrně soudržný a představuje významný zpevňující faktor studovaných hornin

Otevřené pukliny a kanály na povrchových výchozech a konceptuální model jejich vzniku

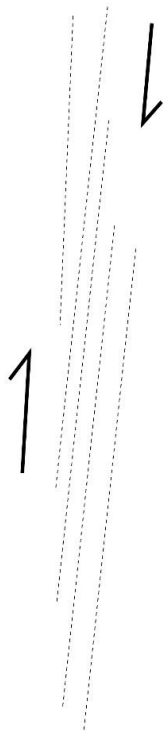


Vertikálně protažené dutiny na povrchových výchozech kolektoru B u Nového Města nad Metují, a) celkový pohled, b) detail, c) celkový pohled, d) detail

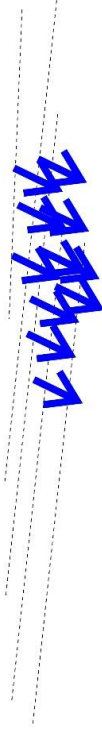
Příklady zcela rozvětralého a rozpadavého materiálu na vrstevních plochách, jehož vymytím mohou vznikat subhorizontální otevřené trhliny pozorované karotáží v přítokových kavernách vrtů. a), b) Choceň nad nádražím, kolektor Cb, c) Nové Hradě kolektor B



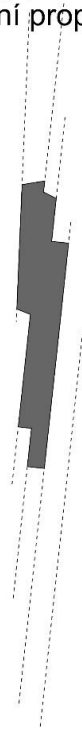
a) vytvoření shluku subvertikálních puklin během tektonického postižení horniny



b) puklinovou zónu intenzivněji proudí podzemní voda a vyluhuje kalcit



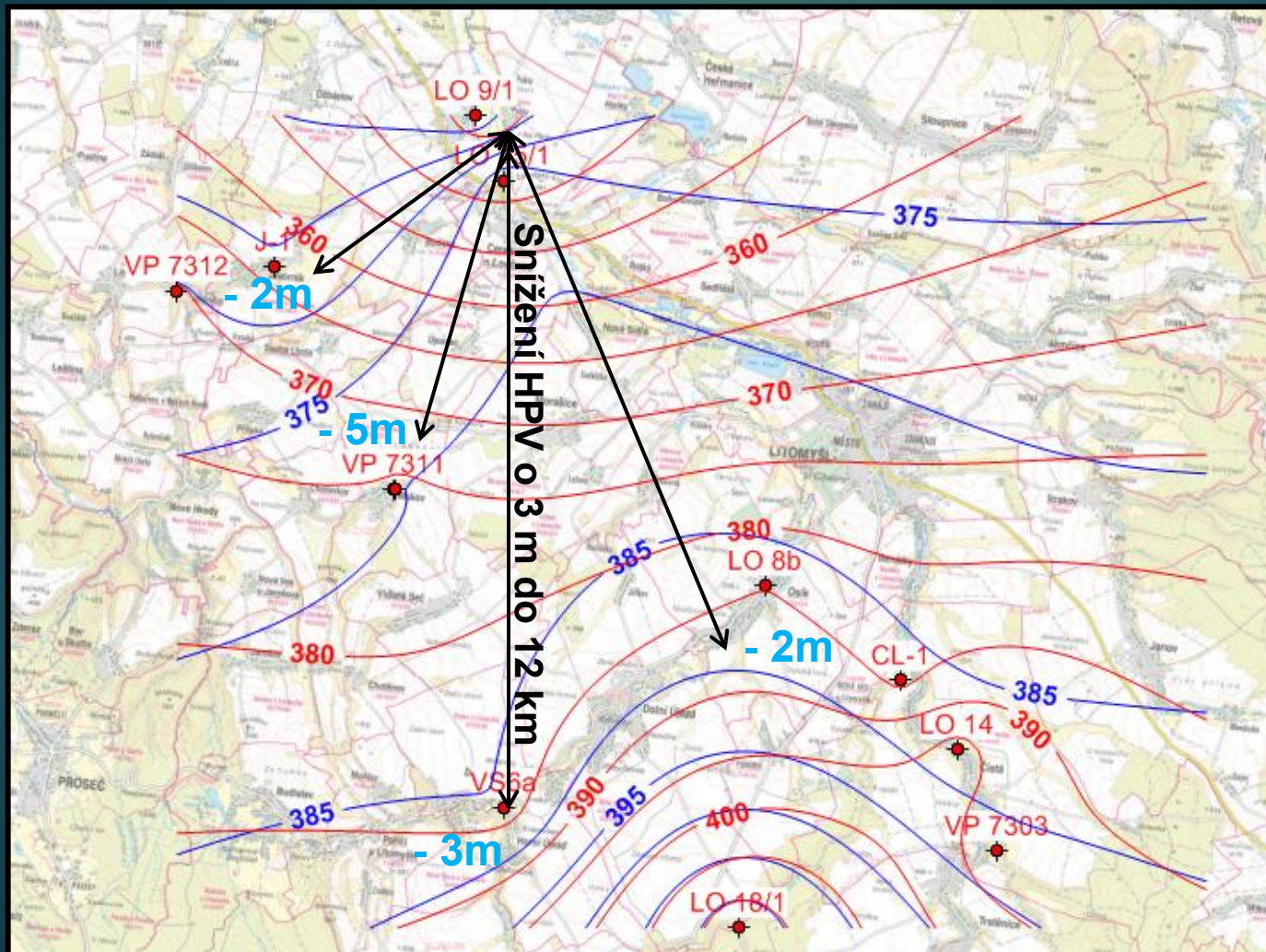
c) při zestržení hydraulického spádu se lehké vyloužené úlomky horniny vyplavují proudem podzemní vody, vzniká otevřený puklinový kanál s extrémní propustností



Model vzniku vysoce propustných puklinových kanálů na základě všech získaných dat:

a) V první fázi vznikají tektonickým postižením četné shluky subvertikálních puklin, kde mezi nejbližšími paralelními puklinami je vzdálenost jen první cm; b) tyto zóny jsou přednostně využívány pro proudění podzemní vody, která vyluhuje veškerý kalcit z kalcitem bohatých poloh. Protože materiál obsahuje křemičitý tmel, nerozpadá se ani při obsahu CaCO_3 okolo 80 %, ale hustota horniny po vyloužení výrazně klesá; c) pokud dojde na vyloužené puklinové zóně k zestržení hydraulického gradientu, malé a lehké úlomky horniny jsou z puklinové zóny vyplavovány podzemní vodou, čímž vzniká otevřený puklinový kanál s extrémní průtočností i v desítkách l/s.

Hydroizohypsy hladiny podzemní vody ve spodnoturonské zvodni dne 11.9.2017 (modře – před zahájením čerpací zkoušky na vrtu Lo-15/1 Pekla) a dne 20.9.2017 (červeně) při odběru 47 l/s



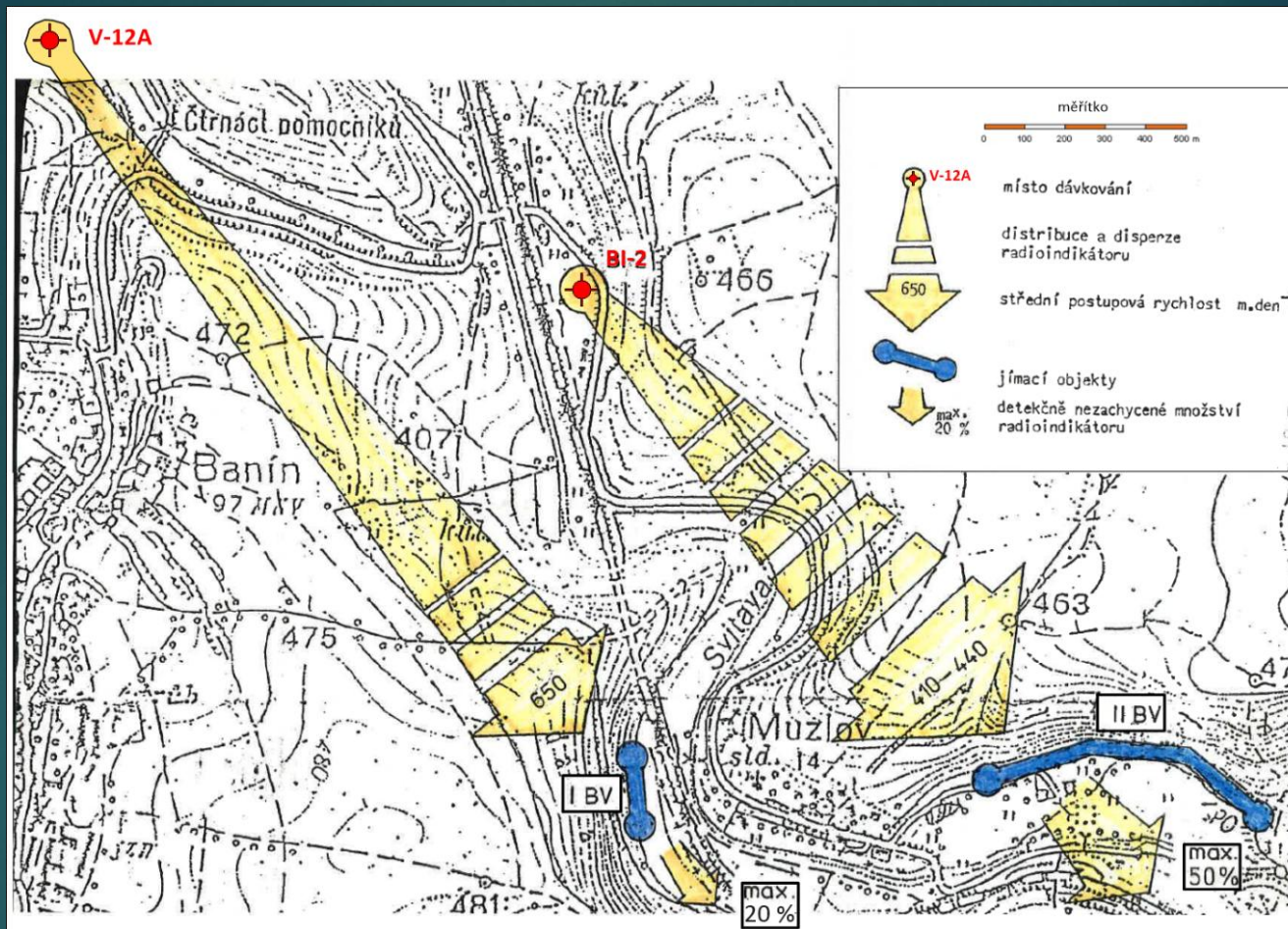
(upraveno dle: Novotný 2017)

Během 9 dnů čerpání dochází ke **všesměrnému snížení hladiny** podzemní vody do vzdálenosti až 15 km.



existence sítě extrémně vodivých poruch nejen **subvertikálního sklonu** (labský, orlický směr) ale i **subhorizontálního sklonu** rovnoběžného s vrstevními plochami.

Stopovací zkouška v jímacím území Březová nad Svitavou

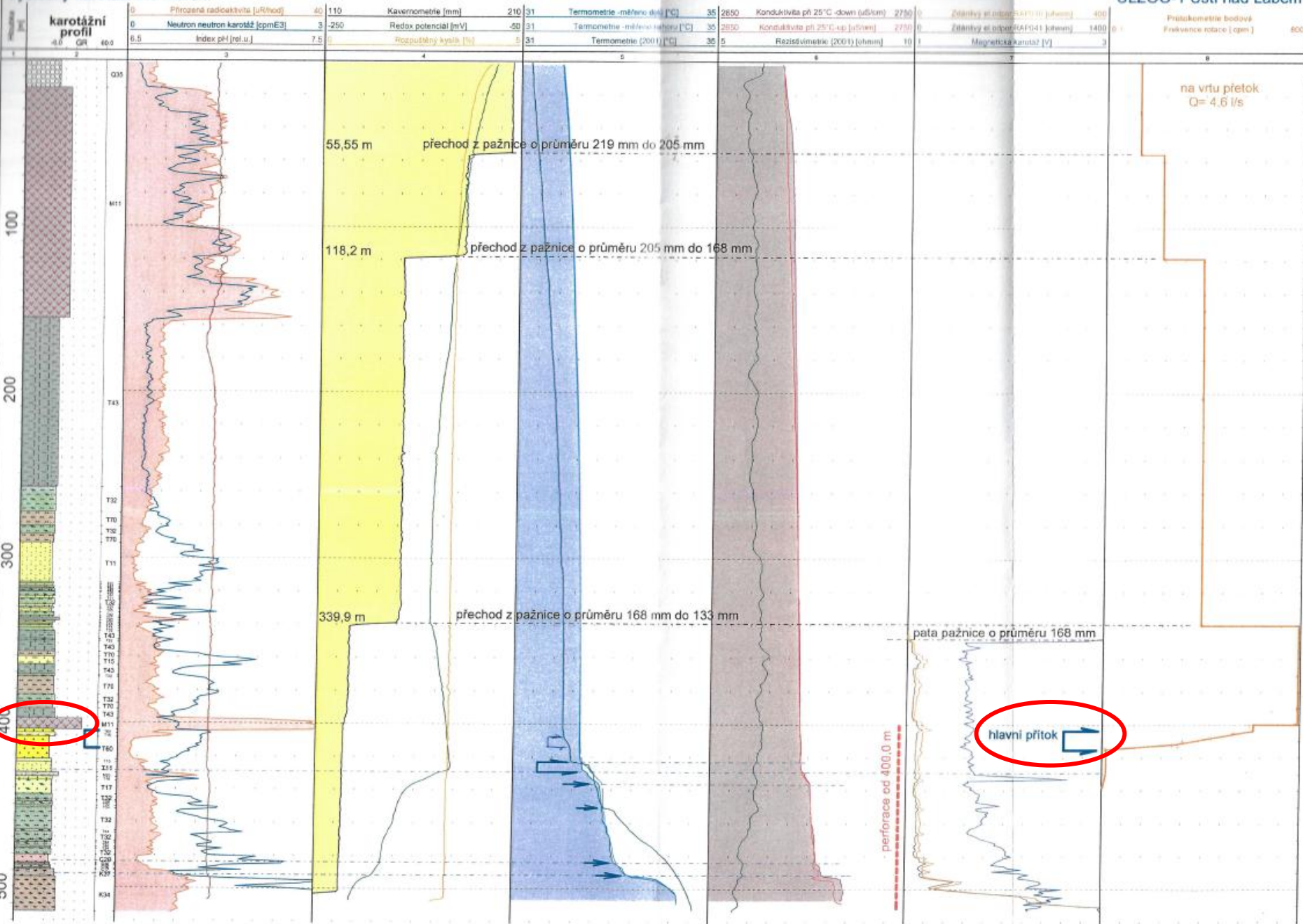


(převzato: Pavliš et al. 1983)

Vysoká rychlost proudění z archivních stopovacích zkoušek provedených v 80. letech v jímacím území Březová nad Svitavou ukázala že otevřené pukliny či kanály netvoří jen krátké izolované úseky, ale naopak rozsáhlý propojený systém, kterým rychlostí **stovek metrů za den** proudí na vzdálenost **nejméně 2 km** **stovky l/s** k největším pramenům ve východočeských křídových

Výsledky karotážního měření

ULZOO-1 Ústí nad Labem



Porovnání studované oblasti s jinými oblastmi ve světě

Krasové zvětrávání ve východočeské křídě - dvoustupňový proces:

- 1) vznik rezidua vyluhováním kalcitu
- 2) reziduum vyplavováno za vyšších hydraulických gradientů



Typické jevy ghost-rock krasu

otevřené pukliny a další kanály tvoří propojenou síť s rychlostí proudění ve stovkách m za den na vzdálenost minimálně kilometrů

Typický jev při stopovacích zkouškách v ghost rock krasu – **rychlé objevení stopovače, ale jeho značná disperze**



Podobně porušené zóny se vyskytují:

- v horninách psací křídly (chalk v Anglii; Maurice et al. 2006) s porozitou 30 – 50 % a rychlostí proudění 0,5-7 km/den na vzdálenost až 20 km (Maurice et al. 2010);
- v jemnozrnných siliciklasticko-karbonátových paleozoických sedimentech v Minnesotě a Wisconsinu (Runkel et al. 2006), kde mají také výrazně větší rozevření pukliny paralelní s vrstevními plochami (až 30 cm) než vertikální (do 5 cm). Souvrství St. Lawrence - střední rychlosti proudění 35-600 m/den; souvrství Lone Rock - 35-750 m/den na vzdálenost až 5 km.



obdobné jako střední rychlosti proudění v ústecké synklinále 410-650 m/den

Závěr

Průměrný obsah kalcitu v kolektorech B, Ca, Cb dosahuje 35 %. Průměrná pórovitost v turonských kolektorech před loužením dosahuje jen 12 % a klesá s obsahem kalcitu, po loužení dosahuje průměrná porozita 43 % a u 26% vzorků dokonce přesahuje 50%.

Ukázalo se že v turonských kolektorech dochází k přítokům v průměru jen v 10% mocnosti kolektoru. Převažují přítoky 0,5-1 l/s na metr přítokové zóny, ale ve 12-18 % případů byly dokumentovány extrémní přítoky s vydatností >>10 l/s na metr přítokové zóny. Přítokové zóny jsou převážně vázány na až desítky cm široké kaverny. Zhodnocení dat z akustické karotáže ukázalo, že převažují přítoky ze subhorizontálních kaveren a poruch (71 % poruch má přítok), zatímco u subvertikálních kaveren má přítok jen 35 % poruch.

Na základě loužících experimentů, mikroskopického studia hornin po loužení, hydrokarotážních měření i pozorování tvaru kanálů ve vrtech a povrchových výchozech byly nově popsány 3 mechanismy vzniku otevřených a silně propustných puklinových kanálů v subvertikálním i subhorizontálním směru.

Nejpropustnější porozita ve východočeských křídových synklinálách má krasový původ, byť pro vznik kanálů na subvertikálních puklinových zónách je zároveň nutné tektonické porušení horniny. Jedná se o typický ghost-rock krasový proces.

Literatura

Bárta, J. – Beneš, V. – Jirků, J. – Hrubec, K. – Hrutka, M. – Špaček, K. – Budinský, V. (2015a): Projekt Rebilance zásob podzemních vod. Závěrečná zpráva za úkol „Plošné komplexní geofyzikální měření ve vybraných hydrogeologických rajonech – oblast 1“. – MS ČGÚ. Praha

Bárta, J. – Beneš, V. – Jirků, J. – Hrutka, M. – Budinský, V. (2015b): Projekt Rebilance zásob podzemních vod. Závěrečná zpráva za úkol „Geofyzikální měření pro verifikaci vybraných koncepčních hydrogeologických modelů v oblasti 1“. – MS ČGÚ. Praha

Balák, F. (2015). Possibilities of karstification in the transitional facies of the Bohemian Cretaceous Basin. Master's thesis, Faculty of Science, Charles University, 144p.

Bruthans, J., Mikuš, P., Soukup, J., Světlík, D., Kamas, J., Zeman, O. (2011): Sebeorganizace proudění a porozity v české křídové pánvi: výsledky stopovacích zkoušek a dalších metod. – Zpr. geol. Výzk. v Roce 2010, 233–238.

Bulínová, M. (1978): Závěrečná zpráva o karotážním měření ve vrtu Lo-15. Geoindustria n.p. Praha. Závod Tuchlovice.

Čech, S. et al. (2015a): Projekt Rebilance zásob podzemních vod. Závěrečná zpráva průzkumného geologického vrtu 4270_01W Kostecké Horky. – MS ČGS. Praha.

Čech, S. et al. (2015c): Projekt Rebilance zásob podzemních vod. Závěrečná zpráva průzkumného geologického vrtu 4270_03W Radhošť. – MS ČGS. Praha

Čech, S. et al. (2015g): Projekt Rebilance zásob podzemních vod. Závěrečná zpráva průzkumného geologického vrtu 4270_07W Vanice. – MS ČGS. Praha

Herčík, F., -Herrmann, Z., Valečka, J. (1999): Hydrogeologie České křídové pánve. - ČGÚ, Praha.

Herrmann, Z. (1979): Ústecká synklinála - střední část. Závěrečná zpráva. - MS Stavební geologie. Praha.

Hynie O. (1961): Hydrogeologie ČSSR I. Prosté vody. – Nakladatelství Československé akademie věd. Praha.

Kořalka, S. (2015): Výsledky karotáže v geologickém vrtu 4270_07W Vanice. Aquatest a.s., Česká geologická služba. Praha.

Kůrková I., Bruthans J., Balák F., Slavík M., Schweigstillová J., Bruthansová J., Mikuš P., Vojtíšek J., Grundloch J. (2019): Factors controlling evolution of karst conduits in sandy limestone and calcareous sandstone (Turnov area, Czech Republic). – Journal of Hydrology, 574, 1062–1073.

Kůrková I. (2023): Charakter proudění podzemní vody v silně propustných sedimentech v západní části České křídové pánve. Disertační práce. Karlova univerzita, Přírodovědecká fakulta. Praha, 211 s.

Novotný T. (2017): Cerekvice nad Loučnou Pekla. Podrobný hydrogeologický průzkum vrtu LO15/1. II. etapa. Závěrečná zpráva z průzkumných geologických prací. H3Geo s.r.o. Ústí nad Orlicí.

Novotný T. (2021): Hřibiny-Ledská – vrt HVC-1, geologický průzkum na p.p.č. 3240, k.ú. Velká Ledská. Závěrečná zpráva o řešení geologického úkolu. Hydromania s.r.o., Kunvald.

Smutek D. et al. (1993): Novohradka – vyhodnocení regionálního hydrogeologického průzkumu. - MS Vodní zdroje Chrudim.

Štaffen, Z. (1985): Petrografie svrchnokřídových hornin z oblasti VMS – Vysokomýtská synklinála – MS, in Žizka, V. 1985 – Závěrečné vyhodnocení regionálního hydrogeologického ve VMS. – archiv VZ Praha.

Uličný D., Špičáková L., Cajz V., Hronec L. (2015): Závěrečná zpráva. Podklady pro prostorový model hydrogeologicky významných stratigrafických rozhraní ve vybraných hydrogeologických rajonech. – MS Geofyzikální úst. Akad. Věd ČR, v.v.i. Praha.

Venera Z., Míxa P., Kadlecová R. et al. (2016): Rebilance zásob podzemních vod. Závěrečné zprávy. Stanovení zásob podzemních vod. Hydrogeologické rajony 4270 Vysokomýtská synklinála, 4231 Ústecká synklinála v povodí Orlice a 4232 Ústecká synklinála v povodí Svitavy. Česká geologická služba. Praha.

Vojtíšek J. (2018): Možnosti krasování vápnných pískovců v jizerské faciální oblasti české křídové pánve a vývoj kanálů v kvádrových pískovcích, Diplomová práce. Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta. Praha, 108 s.

Urík, J., Procházka, M. (2015): Souhrnná dokumentace průzkumného vrtu 4270_01W Kostecké Horky. Karotážní práce. Aquatest a.s., ČGS Praha.



DĚKUJI VÁM ZA POZORNOST