

# Charakter vysoce propustné porozity v turonských kolektorech ve východní části české křídové pánve

Jiří Starý<sup>1</sup>, Jiří Bruthans<sup>1</sup>, Jana Schweigstilllová<sup>2</sup>, Jakub Mareš<sup>1</sup>, Martin Procházka<sup>3</sup>, Svatopluk Šeda<sup>4</sup>, Tomáš Novotný<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy, Albertov 6, 128 43 Praha 2, Česká republika

<sup>2</sup> Česká akademie věd v.v.i., Ústav struktury a mechaniky hornin, V Holešovičkách 41, 182 09 Praha 8, Česká republika

<sup>3</sup> SG Geotechnika a.s., Geologická 988/4, Hlubočepy, 152 00 Praha 5, Česká republika

<sup>4</sup> FINGEO s.r.o., Litomyšlská 1622, 565 01, Choceň

## Abstrakt:

*Výzkum se týká studia vysoce propustné porozity a potenciálu ke krasovnění v oblasti východočeských křídových synklinál, které mají velký význam pro vodárenské zásobování. Náchylnost hornin ke krasovnění byla studována na základě odebraných jader a jejich obsahu kalcitu, loužením jader v 10 % HCl a sledováním míry rozpadu horniny po vyloužení. Pro pochopení struktury a složení horniny byl využit skenovací elektronový mikroskop a mapy prvků získané z mikrosondy. Charakter přítokových zón do vrtů byl studován zhodnocením dostupných karotážních dat, zejména akustické karotáže, dat o přítocích do vrtů i loužením vzorků hornin z jader odebraných z míst, kde k přítokům docházelo.*

*Celkově bylo studováno 247 jader odebraných jak z archivních jádrových vrtů, tak z povrchových výchozů. Pouhých 5 % vzorků z turonských kolektorů B, Ca, Cb, které se po vyloužení rozpadá z více než 50 %, bude po vyloužení tvořit krasové kanály v tektonicky neporušené hornině. Toto zastoupení je mnohem nižší, než v jizerském souvrství v západní části české křídové pánve. Jen malá část vzorků se zčásti rozpadá při obsahu kalcitu do 78 %, většina vykazuje žádný nebo velmi malý rozpad. Teprve pokud obsah kalcitu ve vzorcích překoná 80 %, rozpadají se vzorky zcela či z velké části. Porozita po vyloužení přesahuje u 26 % vzorků 50 %. Ani vysoký obsah kalcitu tak po jeho vyloužení nevede k rozpadu horniny, ale k vzniku extrémně porézního materiálu s nízkou hustotou a tím relativně malou odolností vůči erozi. Vysoce porézní vzorky drží pohromadě mikroskopická pěnovitá struktura vysrážené křemité hmoty uvolněné zřejmě při diagenезi z jehlic mořských hub bohatých opálem. Lokalizace a charakter hlavních přítoků do vrtů byl studován na 65 vrtech. K přítokům dochází v průměru jen z 10% mocnosti kolektorů. Přítoky mají vydatnost až desítek l/s na metr přítokové zóny. Zhodnocení dat z akustické karotáže ukázalo, že převažují přítoky ze subhorizontálních kaveren a poruch (70 %).*

*Nově bylo popsáno několik mechanismů vzniku otevřených a silně propustných puklinových kanálů: 1) Vyloužení vrstev s  $\text{CaCO}_3 \geq 80\%$  a jejich přetvoření po vymytí rezidua do subhorizontálních kaveren; 2) Vyloužení subvertikálních kalcitových žil; 3) Vyloužení kalcitem bohatých podrcených zón na stěnách subvertikálních puklin, kde jednotlivé puklinové plochy jsou od sebe vzdálené jen několik málo centimetrů. Po vzniku strmého hydraulického gradientu (např. v okolí údolí, při tektonicky porušených stopech*

*napjatých zvodní či při čerpání na vydatných vrtech) jsou úlomky silně porézniho materiálu s malou hustotou vyplavovány z puklinových zón a vznikají tak subvertikální otevřené (zející) pukliny často s ostrohrannými stěnami, které budí falešný dojem vzniku tektonickým rozevřením. Na základě stopovacích zkoušek je zjevné, že otevřené pukliny tvoří rozsáhlý propojený systém, kterým rychlostí stovek metrů za den proudí podzemní voda na vzdálenost dosahující několika km. Srovnatelné rychlosti proudění byly zjištěny v otevřených puklinách v siliciklasticko-karbonátových horninách v Minnesotě a Wisconsinu v USA i v Sherwoodském pískovci ve Velké Británii.*

*Nejpropustnější porozita ve východočeských křídových synklinálách má tak krasový původ, byť pro vznik kanálů na subvertikálních puklinových zónách je zároveň nutné tektonické porušení horniny. Jedná se o ghost-rock kras, kdy v první fázi dochází k pomalému vyluhování kalcitu z horniny vodou pomalu proudící vodou v pórech a úzkých puklinách. Teprve ve druhé fázi při vzniku strmého hydraulického gradientu se reziduum vyplavuje a vznikají zející i dm široké otevřené vrstevní plochy nebo subvertikální pukliny s extrémní průtočností až 90 l/s.*

**Klíčová slova:** pískovce, slínovce, podzemní voda, porušené zóny, kanály, kras, karotáž

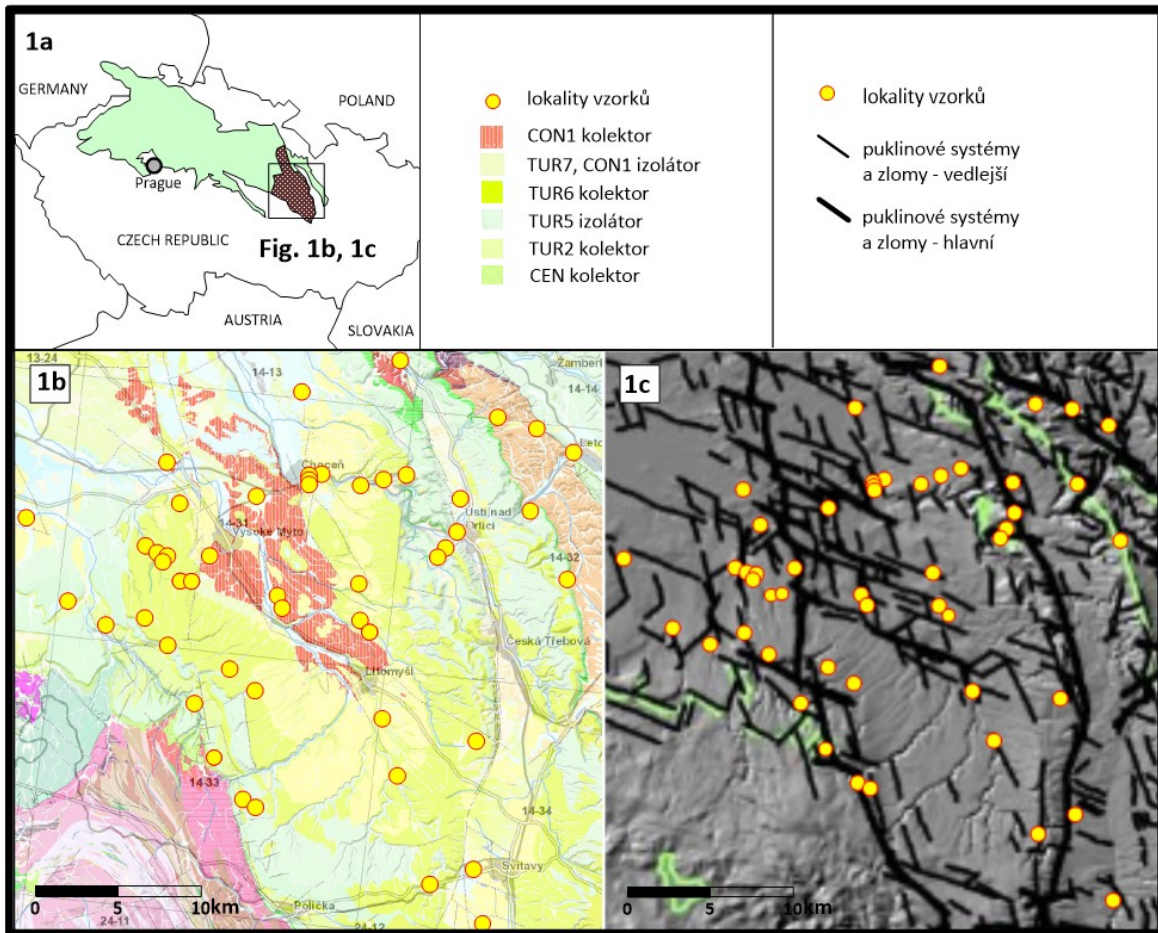
### **Geologické a hydrogeologické poměry zájmového území**

Studovaná oblast se nachází při východním okraji české křídové pánve a zahrnuje území 4 hydrogeologických rajonů – 4270 Vysokomýtská synklinála, 4231 Ústecká synklinála v povodí Orlice, 4232 Ústecká synklinála v povodí Svitavy a 4310 Chrudimská křída. Svrchnokřídové sledy jsou zde vyvinuty převážně v rozsahu cenoman – coniac (obr. č. 1).

Předmětem studia je přechodní facie v bělohorském a jizerském souvrství (turon), kde jsou dokumentovány zejména vápnité pískovce, písčité vápence, prachovce, slínovce a silicity. Zdejší sedimenty jsou vyvinuty v přechodu mezi tzv. orlicko-žďárským litofaciálním vývojem (písčité sedimenty) a labským litofaciálním vývojem (jemnozrné jílovitovápnité sedimenty) (např. Svoboda ed. 1964) – obr. č. 2 a 3.

Z hlediska horizontálního dělení lze studovanou oblast rozdělit na 2 areály (Herčík et al. 1999):

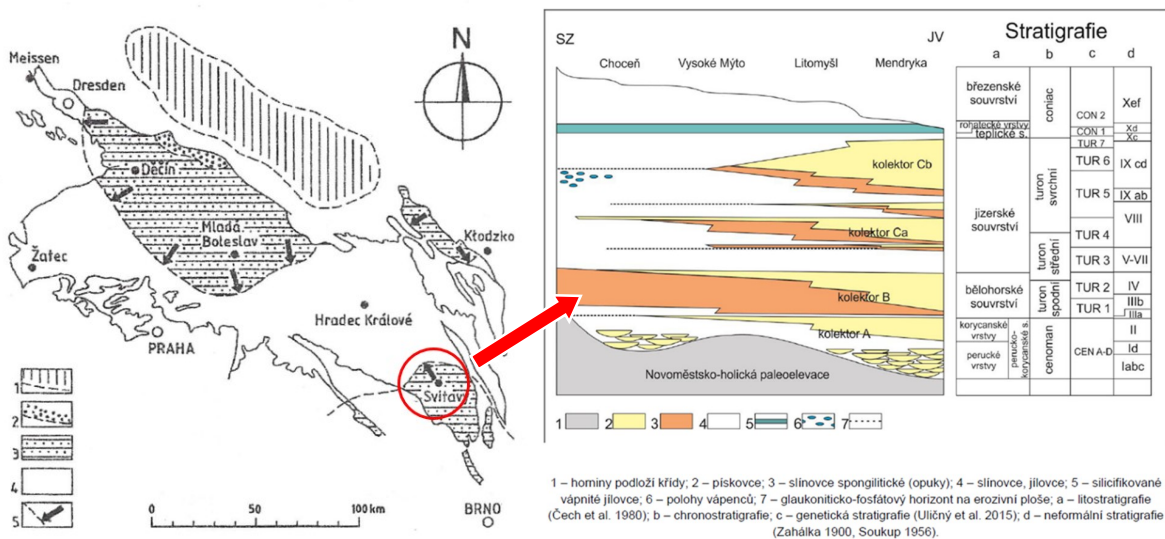
progradační - obsahuje především siliciklastický materiál hrubší frakce  
pánevní - převažují karbonáty a slínovce.



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

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

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



Obr. 2 – vlevo) Litofaciální areály v české křídové pánvi (Herčík et al. 1999)

1 – situace západosudetského ostrova (dle paleogeografických analýz Tröger 1969, Valečka 1979, Klein et al. 1979, Skoček et al. 1983, Milewicz 1997); 2 – přízdrojový areál; 3 – progradční areál; 4 – pánevní areál; 5 – směry progradace pískovcových těles

Obr. 3 - vpravo) Stratigrafické schéma a pozice kolektorů v HGR 4270 (Kadlecová et al. 2016)

## Metodika prací

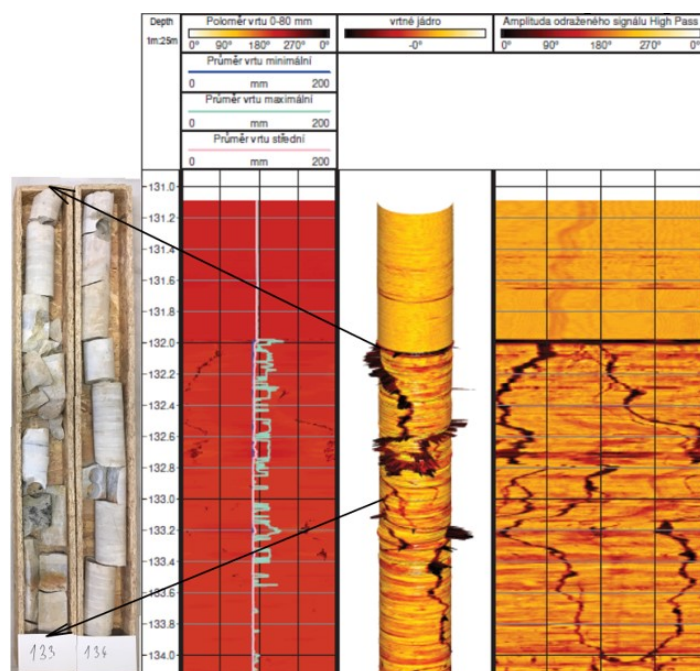
Jedním z hlavních zdrojů vzorkovaného materiálu pro účely tohoto výzkumu byla horninová jádra z vrtů projektu Rebalance zásob podzemních vod (Kadlecová et al. 2016 a-d). Další významný regionální průzkum, který poskytl cennou hmotnou dokumentaci pro výzkum, byl regionální hydrogeologický průzkum v povodí Novohradky (Smutek 1988). Průzkum zde probíhal v letech 1987 – 1991 na rozhraní dnešních rajonů 4270 a 4310 v povodí řeky Novohradky. Vzorky hornin byly odebírány z geologických jádrových vrtů (celkem 152 ks) a z povrchových výchozů svrchnokřídových hornin (celkem 56 ks). Pro účely komplexnějšího hodnocení byly do práce zahrnuty také výsledky kalcimetrických analýz a loužení vzorků z prací Baláka (2015) a Vojtíška (2016) v počtu 46 ks vzorků, resp. 34 ks vzorků.

Jednotlivé vzorky (malá jádra) byly v laboratoři rozřezány kolmo na jejich osu na 3 válcové kusy o výšce 1-2 cm. První kus byl použit na laboratorní kalcimetrické analýzy, které byly prováděny na České geologické službě v laboratořích na Barrandově. Princip kalcimetrie spočívá v rozdrcení vzorku a rozemletí na frakci <63  $\mu\text{m}$  a jeho následné homogenizaci. Poté je obsah  $\text{CO}_2$  změřen coulometricky. Obsahy  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{FeO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  a  $\text{MnO}$  jsou určeny za využití plamenové atomové absorpční spektrometrie (FAAS). Druhá část vzorku byla použita pro saturaci ve vodě a následně na loužení v 10%  $\text{HCl}$  a za účelem měření obsahu rozpustné složky a změny porozity. Třetí část jader byla u vybraných vzorků byla využita na skenovací elektronovou mikroskopii (SEM) a mikrosundu.

**Dále byly ve vrtech východočeské křídly využity zejména výsledky těchto karotážních metod:**

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

Obr. 4) 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. Vrt 4270\_02W Janov. (Upraveno dle: Procházka 2015)

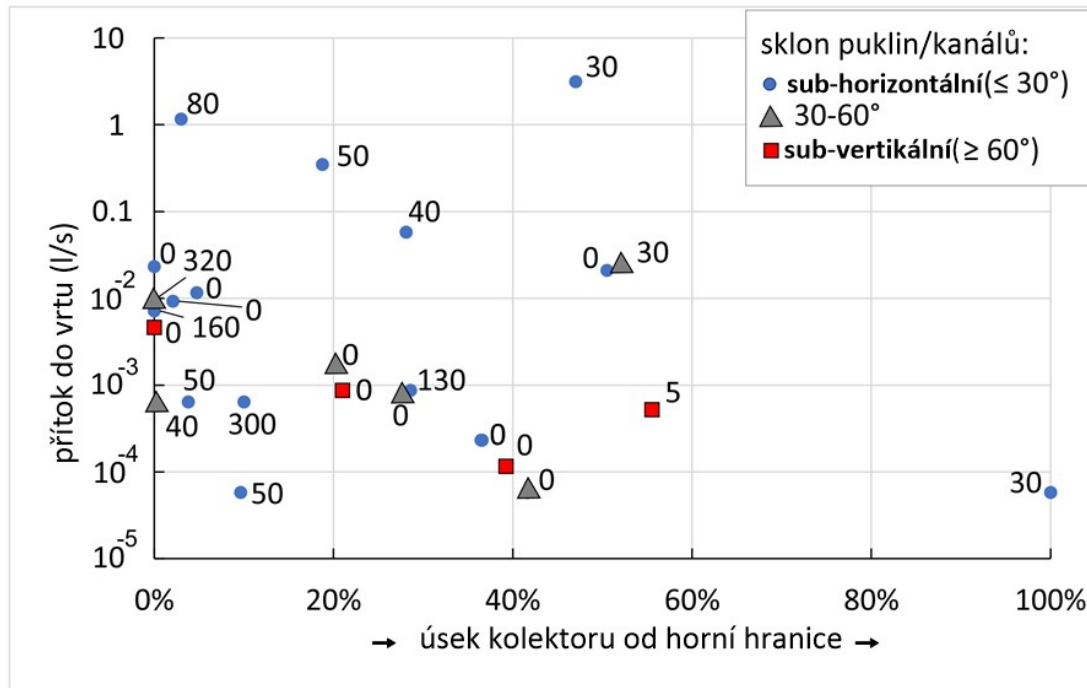




## Výsledky

### Vyhodnocení pozice a funkce poruchových systémů ve vrtech dle akustické karotáže

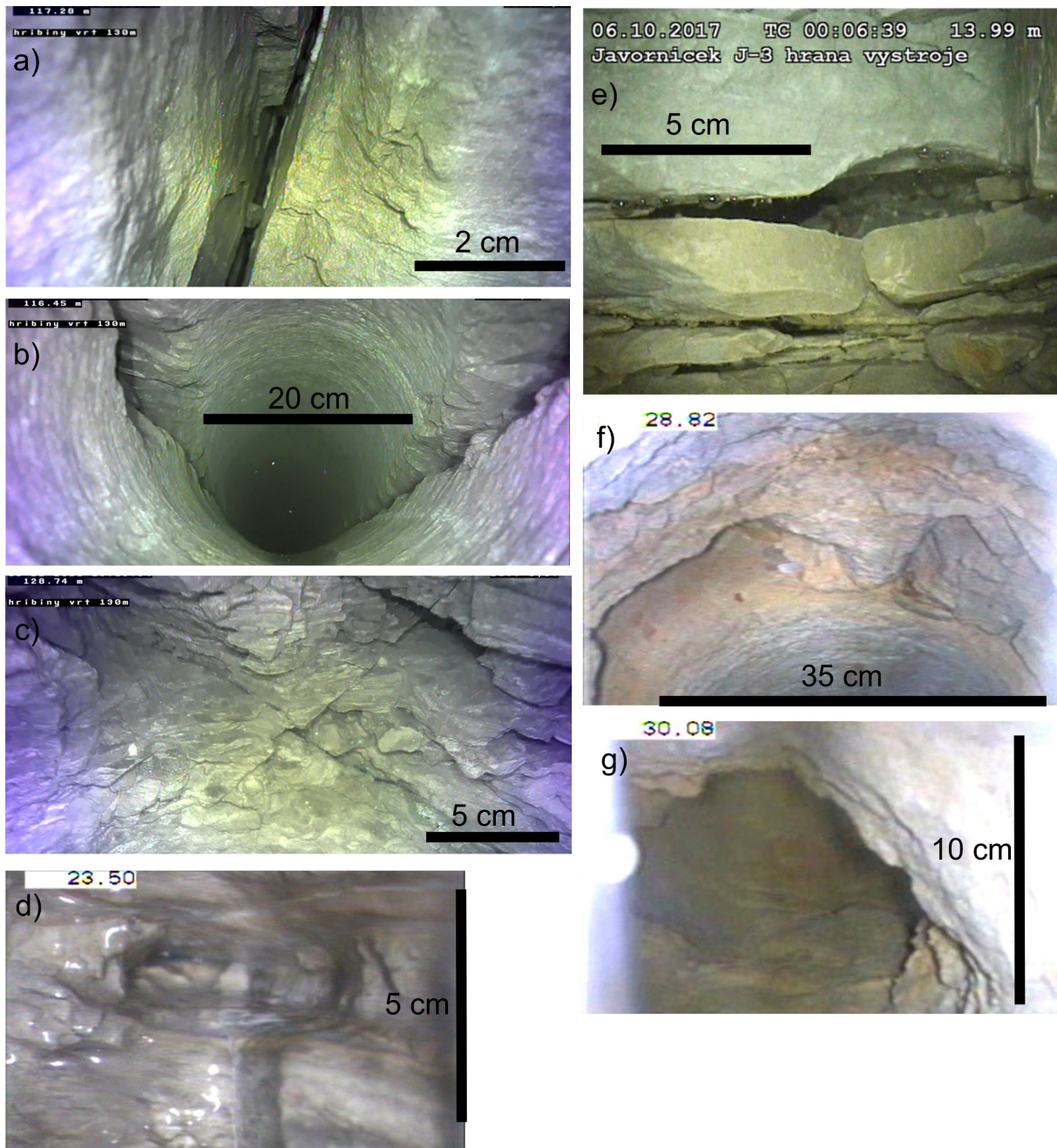
Byla provedena detailní analýza poruchových systémů zjištěných karotáží a přítoků z nich v jednotlivých vrtech za účelem identifikace hlavních přítokových zón, ve vztahu k jejich sklonu a rozevření poruch (kaverny, kanály).



Obr. 5) Charakterizace poruch dle záznamů z akustického skeneru se zaznamenanými přítoky zjištěnými metodou ředění na vrtech. Vodorovná osa znázorňuje vertikální polohu ve vodonosné vrstvě (0 % je nahoře, 100 % je dole). Svislá osa ukazuje intenzitu přítoku z dané poruchy (určenou metodou ředění). Čísla na obrázku označují rozevření poruchy v mm.

- **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.

**Hlavní přítoky podzemní vody do studovaných vrtů jsou vázány na rozevřené převážně subhorizontální pukliny.**



Obr. 6) Příklady subhorizontálních a subvertikálních aktivních přítokových zón do studovaných vrtů

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

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

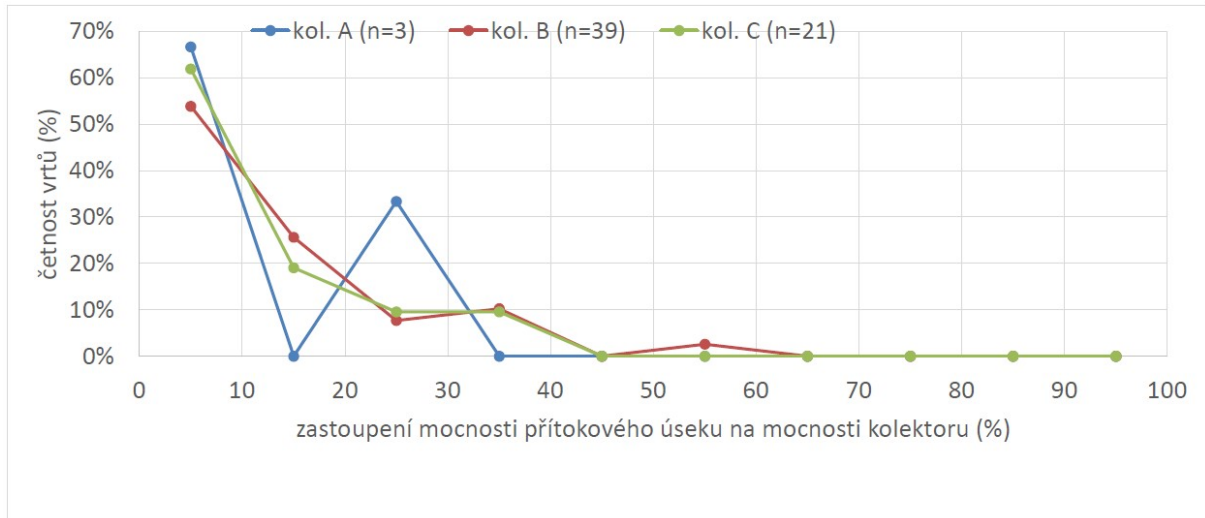
Obr. e) Javorníček – kolektor C

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

### **Souvislosti mezi přítoky do vrtů určenými karotážními metodami a rozpadavostí horninového materiálu**

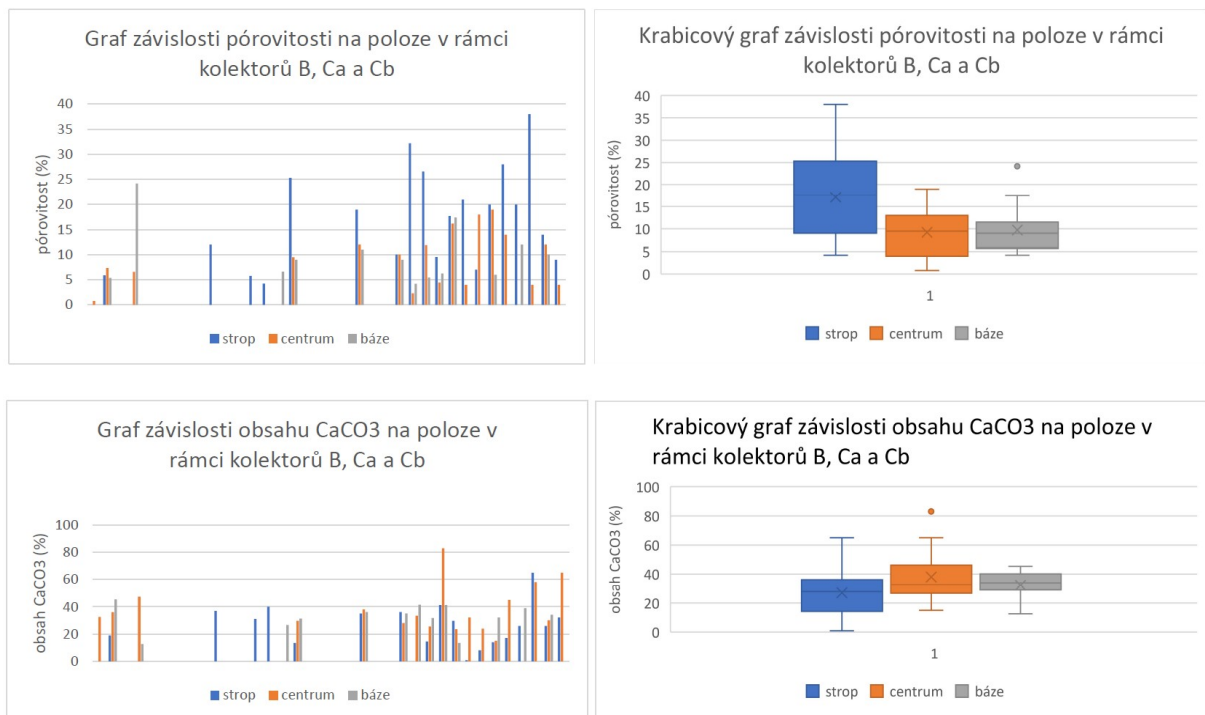
- v turosských kolektorech dochází k hlavním přítokům v průměru jen z 10% mocnosti kolektoru (Obr. 7)
- převažují přítoky 0,5-1 l/s na metr přítokové zóny, ale v 12-18 % případů byly dokumentovány extrémní přítoky s vydatností přes 10 l/s na metr přítokové zóny

- nejvydatnější vrty mívají vysokou výtlačnou výšku hladiny podzemní vody vůči stropu studovaných kolektorů



Obr. 7) Graf podílu mocnosti přítokových zón vůči celkové mocnosti kolektorů

Data z celkem 12 vrtů v rámci výzkumu východočeské křídly ukazují, že nejvyšší porozita byla dokumentována v prostoru stropu kolektorů, nejvyšší obsah  $\text{CaCO}_3$  při bázi kolektorů (Obr. 8). Pokles obsahu  $\text{CaCO}_3$  - vykompenzován nárůstem pórového prostoru. Prouděním podzemní vody došlo k vyloužení kalcitu a tím k nárůstu porozity horniny.

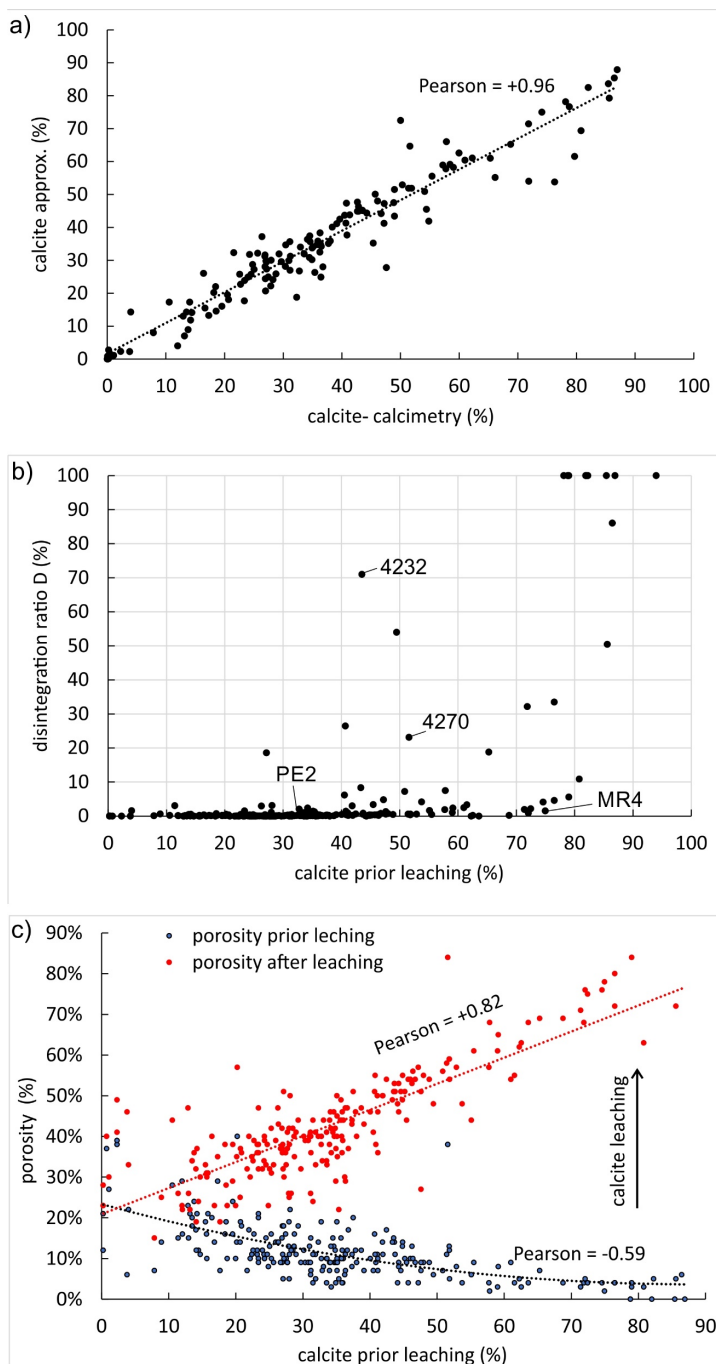


Obr. 8) Grafické závislosti pórovitosti a obsahu  $\text{CaCO}_3$  na poloze vzorků v rámci kolektorů B, Ca a Cb

Obsah  $\text{CaCO}_3$  ve vzorcích z vrtů se pohybuje v širokém rozmezí 0,3 – 86,9 % hm, průměrně činí 35,8 % hm. Obsah  $\text{CaCO}_3$  ve vzorcích z povrchových výchozů je srovnatelný - pohybuje se v rozpětí 0 – 85,4 % hm, průměrně činí 36,4 % hm (Obr. 9a).

Z Obr. 9b) je patrná celkově velmi nízká míra rozpadu vzorků a překvapivě vysoká stabilita vzorků, které před loužením obsahovaly až 80 % hm  $\text{CaCO}_3$ . To znamená, že 20 % zbývajících materiálu je schopno udržet stabilní strukturu horniny. Hranice kritického obsahu kalcitu, která vede k úplnému rozpadu, je velmi vysoká (79-86 hm. %).

Vyluhování  $\text{CaCO}_3$  vede spíše ke zvýšení pórovitosti na neobvykle vysoké hodnoty než k rozpadu vzorků (Obr. 9c). 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).



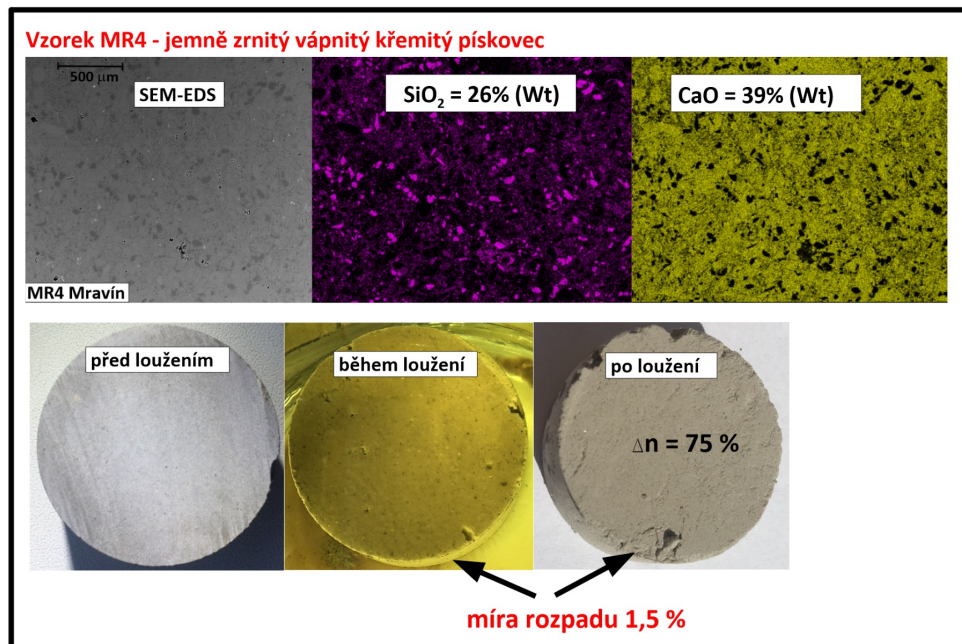
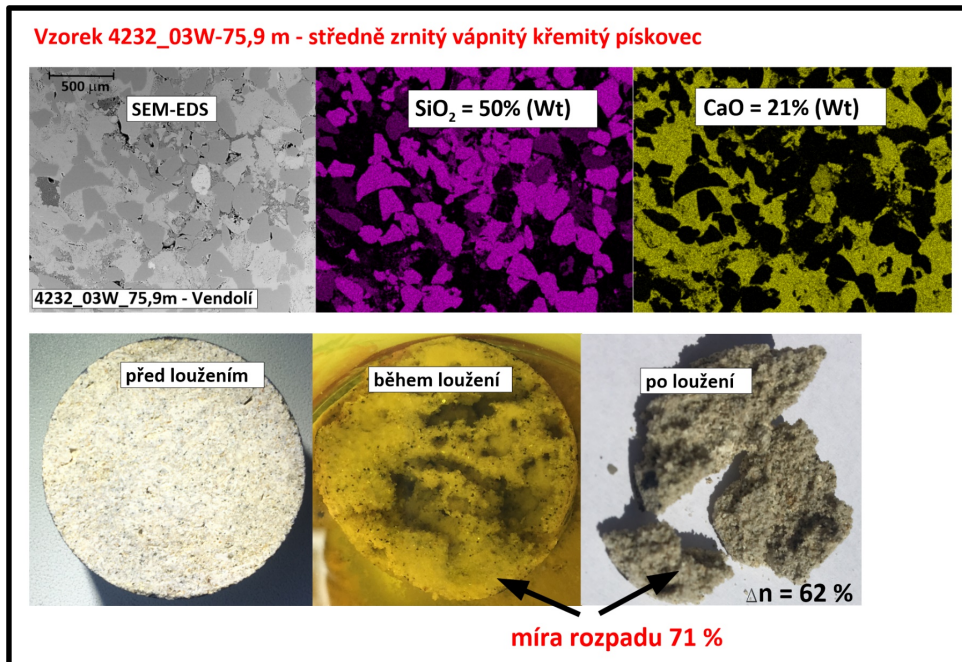
Obr. 9)

### **Studium mikrostruktury horninových vzorků z vrtů a horninových výchozů**

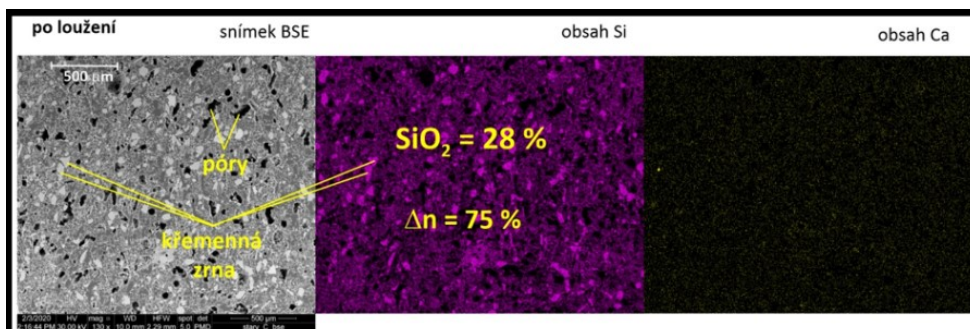
Snímky z vrtu 4232\_3W Vendolí během a po loužení zachycují kompletní rozpuštění vápnitě složky a následný výrazný rozpad vzorku bez podpůrné struktury křemičitého tmelu (Obr. 10 - nahoře).

Na snímcích Si jsou u nevyloženého vzorku MR4 z výchozu v Mravíně dobře patrná relativně rovnoměrně rozptýlená „plovoucí“ křemenná zrna o velikosti do 100  $\mu\text{m}$  v křemičitém a kalcitovém tmelu, póry v hornině nejsou viditelné (Obr. 10 - dole).



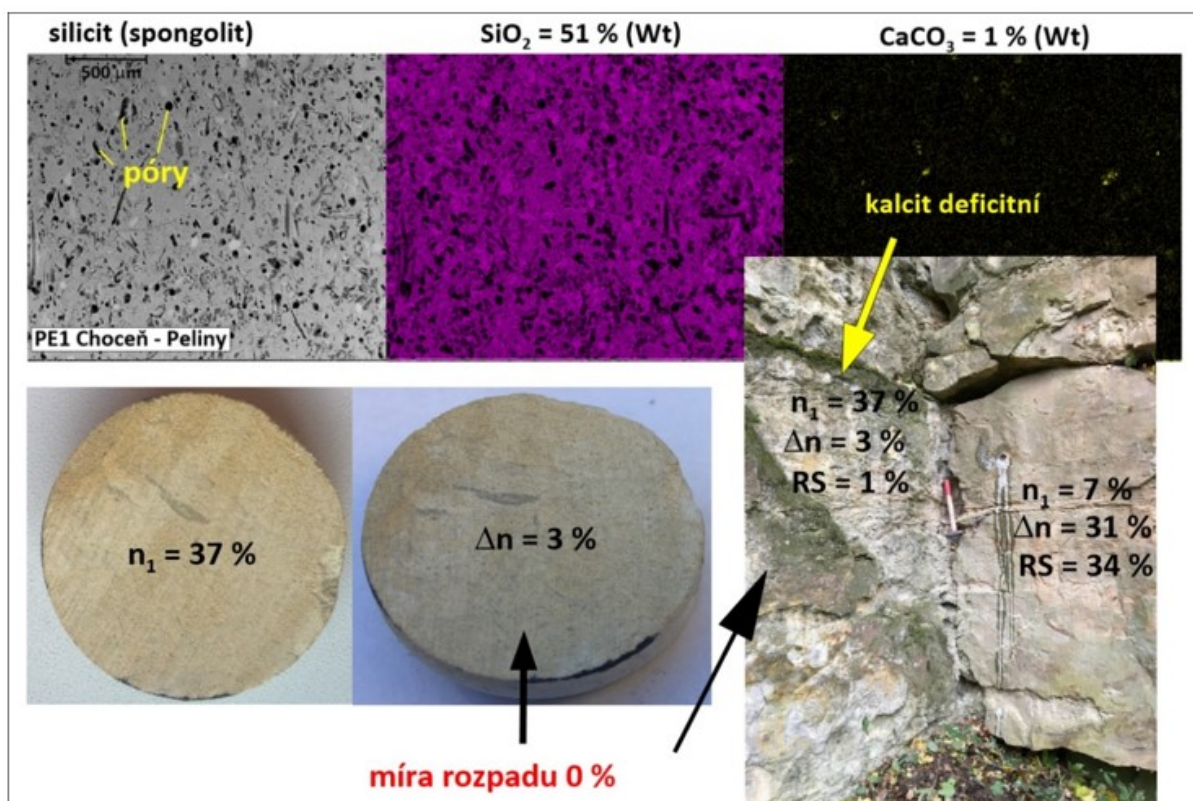


Obr. 10) Srovnání makro- a mikro-struktury vzorků z vrtu 4232\_3W ve Vendolí a vzorku MR4 z povrchového výchozu v Mravíně (snímky z loužení horniny a SEM-snímky horniny před loužením)

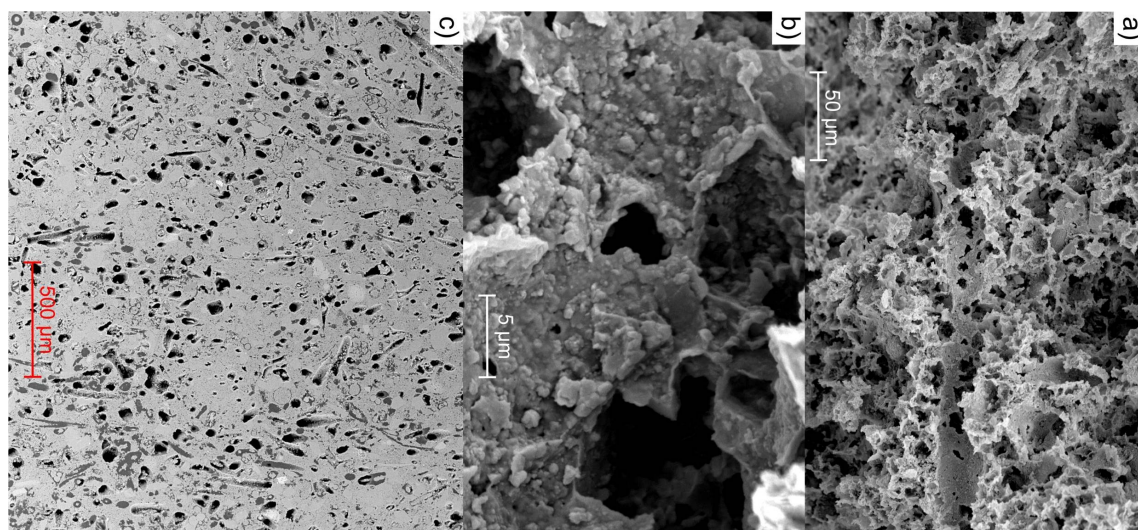


Obr. 11) Po vyloužení rozpustné složky výrazně vyniká reliéf křemíčitého tmelu, včetně širokých pórů o průměru až 200  $\mu\text{m}$ , které jsou celkem rovnoměrně rozmístěny. Vápnité složky je zcela vyloužena (výchoz MR4 v Mravíně).





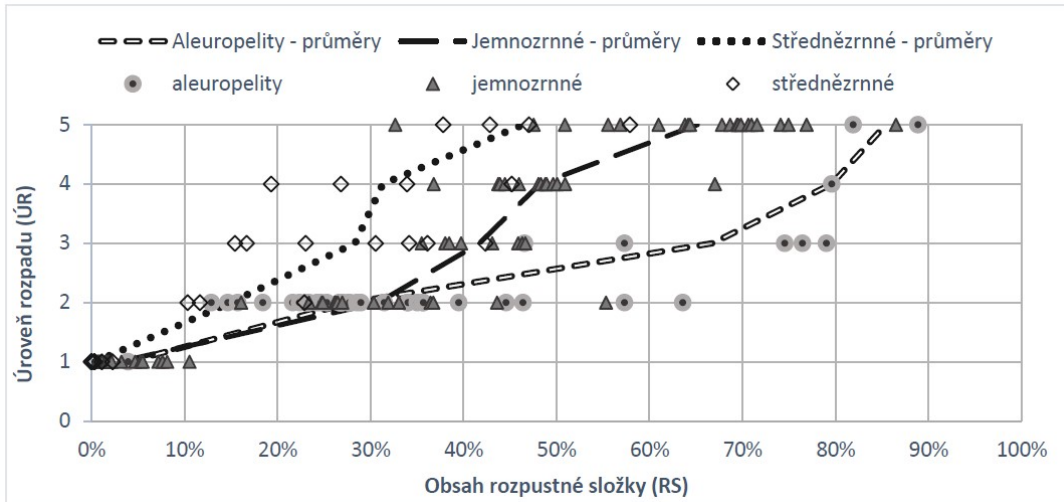
Obr. 12) Snímky SEM a fotodokumentace vzorků z výchozu PE1 v Chocni - Pelinách. Na snímku BSE je patrná výrazná porézní struktura silicitu (původně vápenného pískovce) a na dalších snímcích SEM významný rozdíl mezi obsahy  $\text{SiO}_2$  a  $\text{CaCO}_3$  ve vzorku před loužením. Na fotodokumentaci výchozu je patrný zjevný makroskopický rozdíl mezi porušenou zónou postiženou dekalifikací a masivní nenarušenou horninou.



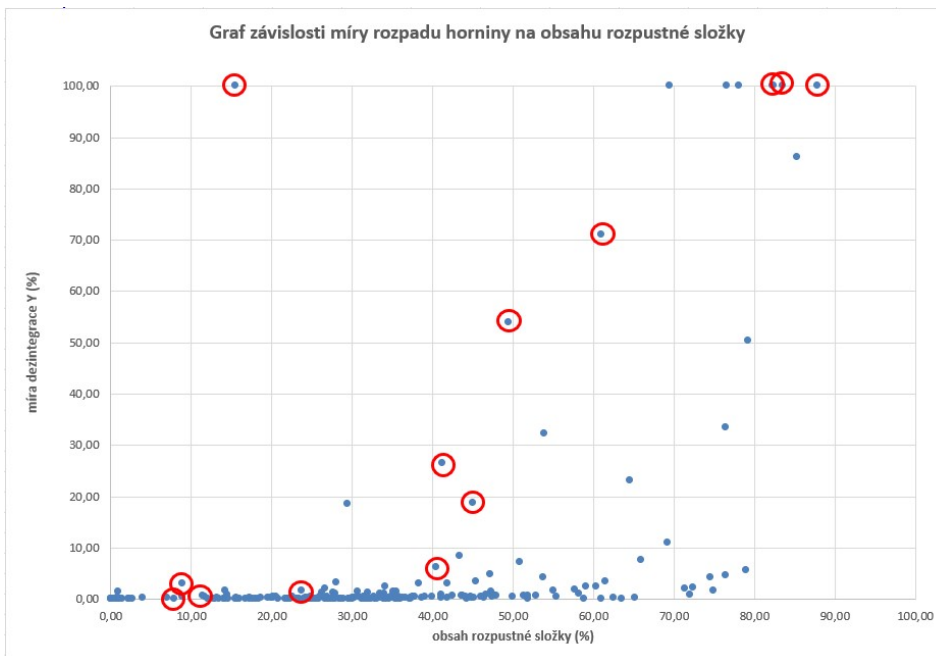
Obr. 13) Vzorek z výchozu PE2 po loužení v HCl, 78 % pórovitost. Detailní pohled odhaluje specifické prostorové uspořádání mikrokryalického křemene, který tmelí křemenná zrna dohromady a tvoří pěnivou podpurnou strukturu v jemnozrnných kalcitem bohatých polohách. Proto i při vyloužení 78% hmoty horniny stále drží pohromadě. Na obr. 13 a) jsou dobře patrné trubicovité otisky jehlic mořských hub, které byly původně tvořeny biogenním opálem, který se při diagenězi rozpustil.

**Mikrokryalický křemitý tmel ve vápenných pískovcích má zásadní vliv na vyšší soudržnost a odolnost vzorků vůči rozpouštění.**

**Porovnání potenciálu krasovění východočeské křídý s dalšími oblastmi české křídové pánve**



Obr. 14) Závislost úrovně (míry) rozpadu vzorků na obsahu rozpustné složky v celé české křídové pánvi (Balák 2015)

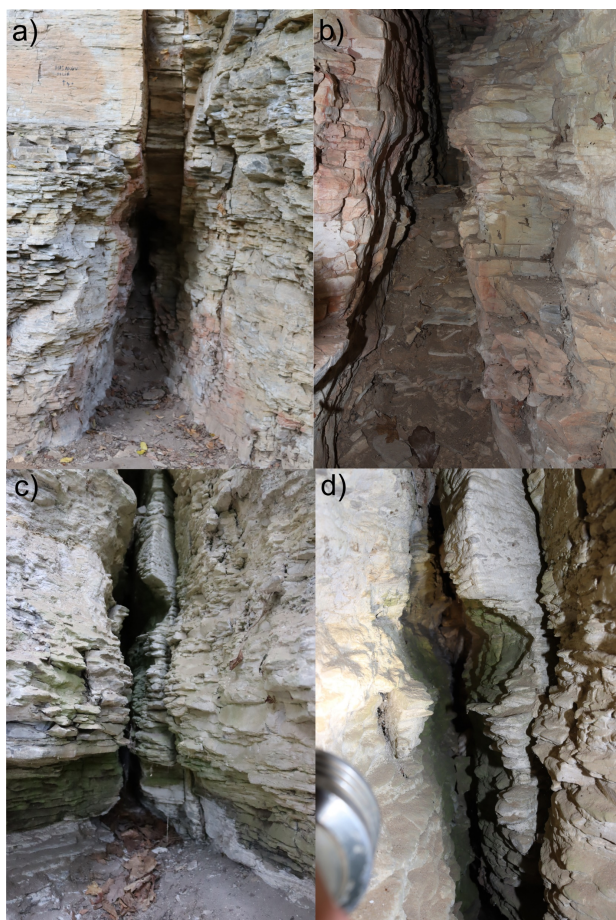


Obr. 15) Závislost úrovně (míry) rozpadu vzorků na obsahu rozpustné složky ve východočeské křídě (Starý 2024). Červeně jsou zvýrazněny vzorky střednězrných pískovců z kolektorů B a C.

- výrazně nižší míra rozpadu je dokumentována u vzorků z východočeské křídě (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***



*Obr. 16) Vertikálně protažené dutiny na povrchových výchozech kolektoru B u Nového Města nad Metují, a) celkový pohled, b) detail, c) celkový pohled, d) detail*



*Obr. 17) 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 Hrady kolektor B*

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

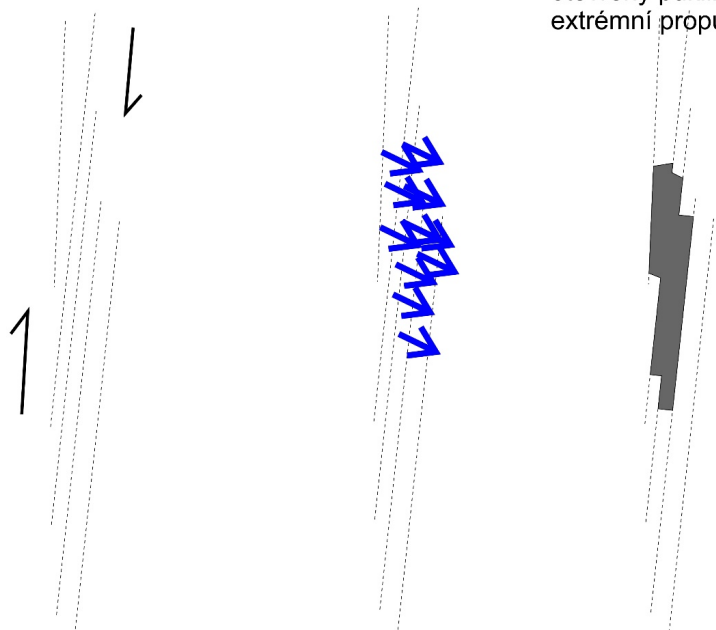
a) V první fázi vznikají tektonickým postižením četné shluky subvertikálních puklin, kde mezi nejbližšími paralelními puklinami je vzdálenost jen první cm; b) tyto zóny jsou přednostně využívány pro proudění podzemní vody, která vyluhuje veškerý kalcit z kalcitem bohatých poloh. Protože materiál obsahuje křemičitý tmel, nerozpadá se ani při obsahu  $\text{CaCO}_3$  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.



a) vytvoření shluku subvertikálních puklin během tektonického postižení horniny

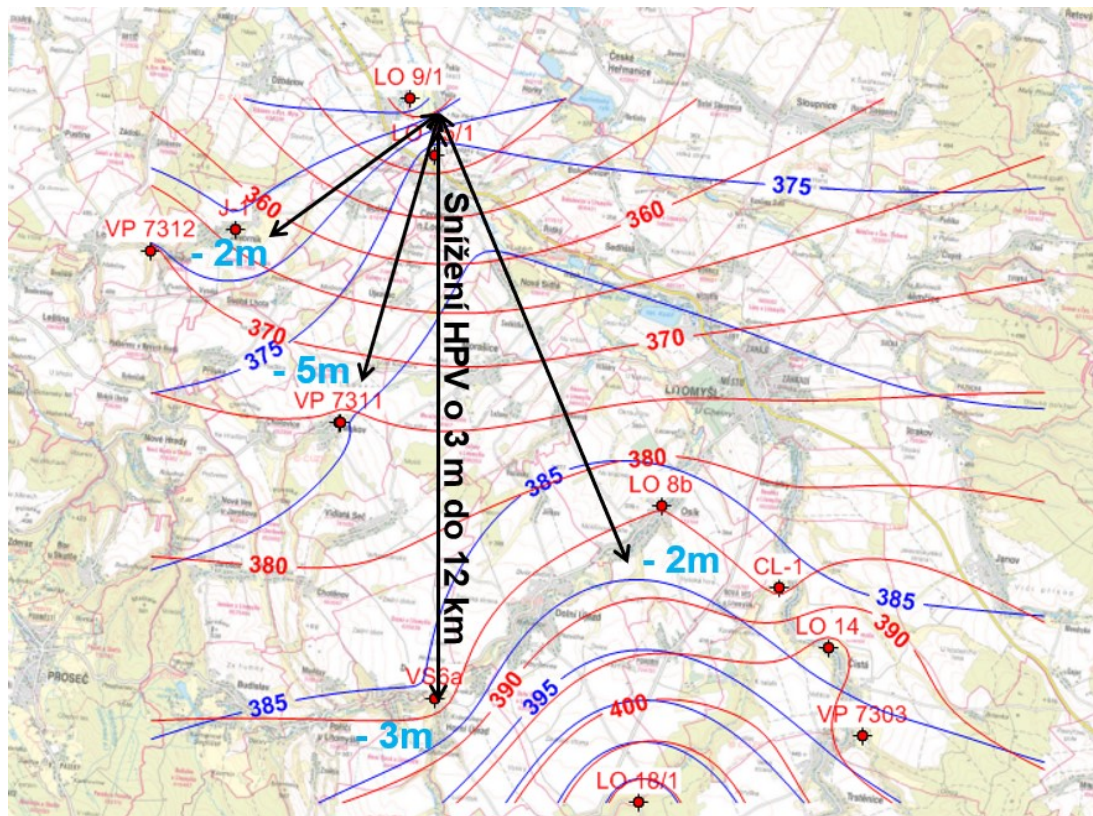
b) puklinovou zónu intenzivněji proudí podzemní voda a vyluhuje kalcit

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



Obr. 18) Grafické schéma vzniku vysoce propustných puklinových kanálů

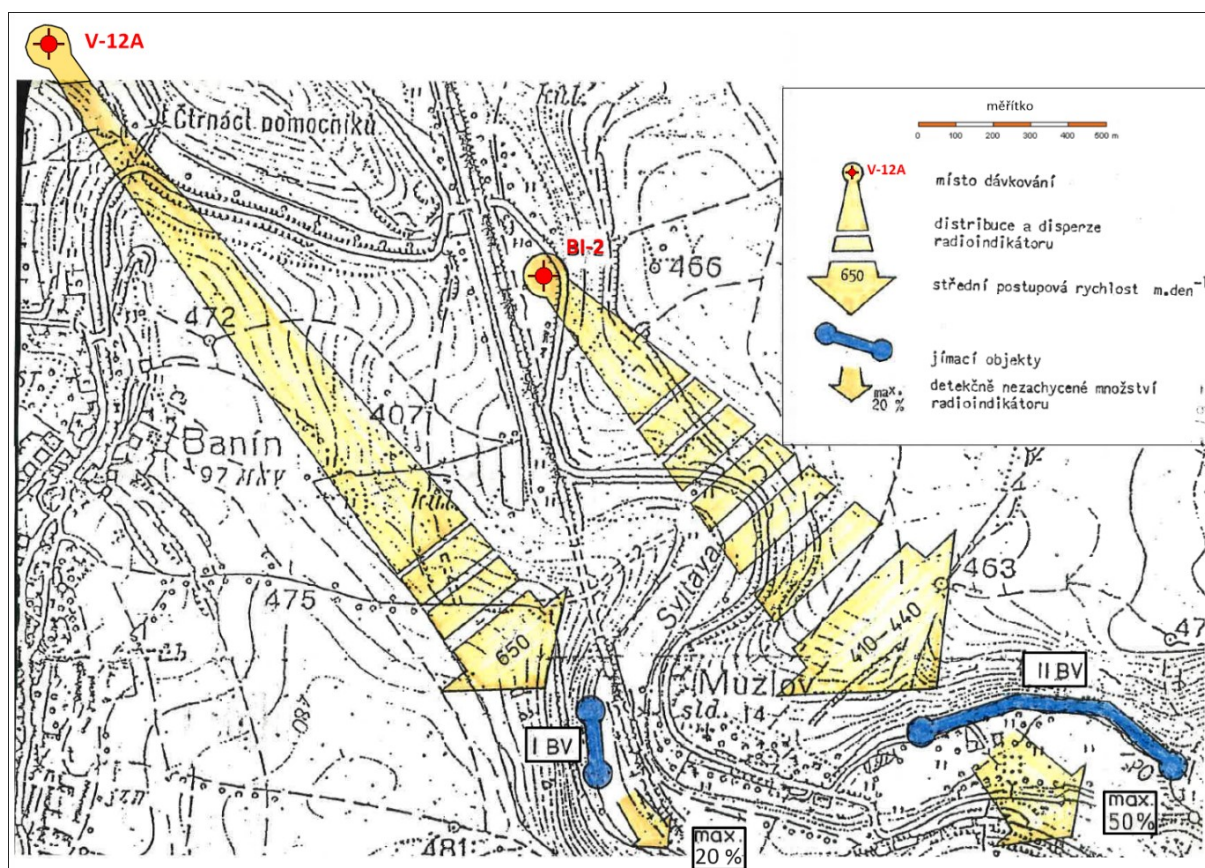
### Hydraulické projevy extrémní propustnosti hornin přechodní facie



Obr. 19) 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)

Na vrtu Lo15/1 byla v roce 2017 provedena čerpací zkouška (Novotný 2017). Během 9 dnů čerpání dochází ke všesměrnému snížení hladiny podzemní vody do vzdálenosti až 12 km (Obr. 19). Důvodem je existence sítě extrémně vodivých poruch nejen subvertikálního sklonu (labský, orlický směr) ale i subhorizontálního sklonu rovnoběžného s vrstevními plochami.

Dalším důkazem extrémní propustnosti je stopovací zkouška provedená v roce 1983 v prostoru jímacího území Březová nad Svitavou (Obr. 20).



Obr. 20) Stopovací zkoušky v jímacím území Březová nad Svitavou, v oblasti jižního uzávěru rajonu 4232 Ústecká synklinála v povodí Svitavy. (Převzato: Pavliš et al. 1983)

Vysoká rychlost proudění (410 – 650 m/den) z archivních stopovacích zkoušek provedených v 80. letech v jímacím území Březová nad Svitavou ukázala že otevřené pukliny či kanály tvoří 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 synklinálách.

Podobně porušené zóny se ve světě vyskytují:

- v horninách psací křídý (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.

## **Krasové zvětrávání ve východočeské křídě představuje 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

## **Literatura:**

Balák, F. (2015): Možnosti krasovění v přechodní facii české křídové pánve. Diplomová práce. Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta. Praha, 144 s.

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

Kadlecová R., Burda J., Grundloch J., Venera Z., Mixa P. et al. (2016a): Rebilance zásob podzemních vod. Závěrečná zpráva. Příloha č. 2/23. Stanovení zásob podzemních vod. Hydrogeologický rajon 4231 Ústecká synklinála v povodí Orlice. Česká geologická služba. Praha.

Kadlecová R., Burda J., Grundloch J., Venera Z., Mixa P. et al. (2016b): Rebilance zásob podzemních vod. Závěrečná zpráva. Příloha č. 2/24. Stanovení zásob podzemních vod. Hydrogeologický rajon 4232 Ústecká synklinála v povodí Svitavy. Česká geologická služba. Praha.

Kadlecová R., Burda J., Grundloch J., Venera Z., Mixa P. et al. (2016c): Rebilance zásob podzemních vod. Závěrečná zpráva. Příloha č. 2/26. Stanovení zásob podzemních vod. Hydrogeologický rajon 4270 Vysokomýtská synklinála. Česká geologická služba. Praha.

Kadlecová R., Burda J., Grundloch J., Venera Z., Mixa P. et al. (2016d): Rebilance zásob podzemních vod. Závěrečná zpráva. Příloha č. 2/28. Stanovení zásob podzemních vod. Hydrogeologický 4310 Chrudimská křída. Česká geologická služba. Praha.

Klein, V.; Müller, V., Valečka, J. (1979): Lithofazielle und paläogeographische Entwicklung des Böhemischen Kreide – beckens. – Aspekte der Kreide Europas. IUGS Series A, 6, 435 – 446. Stuttgart.

Maurice L., Atkinson T.C., Williams A.T., Barker J.A., Farrant A.R. (2010): Catchment scale tracer testing from karstic features in a porous limestone. Journal of hydrology 389:31-41

Maurice L.D., Atkinson T.C., Barker J.A., Bloomfield J.P., Farrant A.R., Williams A.T. (2006): Karstic behaviour of groundwaters in the English Chalk. Journal of Hydrology 330:63-70

Milewicz, J. (1997): Górna kréda depresji północnosudeckiej (Lito- i biostratygrafia, paleogeografia, tektonika oraz uwagi o surowcach). – Práce geol. – mineral., LXI. Wydawnictwo Uniwersytetu Wrocławskiego. Wrocław.

Novotný T. (2017): Cerekvice nad Loučnou Pekla. Podrobný hydrogeologický průzkum vrtu LO15/1. II. etapa. Závěrečná zpráva z průzkumných geologických prací. Vodovody a kanalizace Vysoké Mýto, s.r.o. Vysoké Mýto; 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. Obec Hřibiny – Ledská. Hydromania s.r.o., Kunvald.

Pavliš, R.; Tůma, W. (1983): Závěrečná zpráva o provedeném hydrogeologickém průzkumu na lokalitě Březová nad Svitavou - Hladové prameny. Vodní zdroje s.p. Chrudim.

- Procházka, M. (1991): Novohradka. Zpráva o karotáži vrtů SN-1, SN-2, SN-3, SN-4 a SN-5. Stavební geologie Praha a.s. Aquatest – karotážní středisko.
- Procházka, M.: (2015): Výsledky karotáže v geologickém vrtu 4270\_02W Janov u Litomyšle. Aquatest a.s. Praha.
- Runkel, A.C., Tipping, R.G., Alexander Jr., E.C., Green, J.A., Mossler, J.H., Alexander, S.C. (2003): Hydrogeology of the Paleozoic bedrock in southeastern Minnesota. Minnesota Geological Survey Report of Investigations 61, 105p.
- Runkel A.C., Tipping R.G., Alexander E. C., Alexander S.C. (2006): Hydrostratigraphic characterization of intergranular and secondary porosity in part of cambrian sandstone aquifer system of the cratonic interior of North America: Improving predictability of hydrogeologic properties. *Sedimentary geology* 184: 281-304
- Skoček, V.; Valečka, J. (1983): Paleogeography of Late Cretaceous Quadersandstein of Central Europe. – *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.*, 44, 71 – 92, Elsevier. Amsterdam.
- Smutek D. et al. (1988): Novohradka – vyhodnocení regionálního hydrogeologického průzkumu. Zpráva o hydrogeologickém průzkumu. - MS Vodní zdroje Chrudim.
- Svoboda J. ed. (1962): Vysvětlivky k přehledné geologické mapě ČSSR 1 : 200 000, M-33-XXIII Česká Třebová. – Geofond Praha, 245 s.
- Šeda, S. (2022): Choceň – mlékárna. Nový zdroj vody. Zpráva o provedení průzkumného hydrogeologického vrtu MH-1. Fingeo s.r.o. Choceň.
- Šeda, S. (2023): Ústí nad Orlicí – vrty Perla 06, Perla 06a. Projektová dokumentace pro ÚR a SP, vyjádření hydrogeologa, projekt bouracích prací. Fingeo s.r.o. Choceň.
- Tröger, K. A. (1969): Zur Paläontologie, biostratigrafie und Fazillen Ausbildung der unteren Oberkreide (Cenoman bis Turon), II.- Abh. Staatl. Mus. Mineral. Geol. , 13. Dresden.
- Valečka, J. (1979): Paleogeografie a litofaciální vývoj severozápadní části české křídové pánve. *Sbor. geol. Věd, Geol.*, 33, 47 – 80. Praha.
- Vojtíšek J. (2016): Krasovění karbonáto-silikátových hornin: rešerše literatury a loužící experimenty, Bakalářská práce. Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta. Praha, 78 s.



