

Podzemní a minerální vody

Garant a přednášející:

Martin Slavík (martin.slav@seznam.cz; tel: 728 255 218)

Další přednášející:

Jiří Bruthans (bruthans@natur.cuni.cz)

Martin Lanzendörfer (martin.lanzendorfer@natur.cuni.cz)

Jakub Mareš (kubamara@seznam.cz)

František Pastuszek (frantisek.pastuszek@natur.cuni.cz)

Tomáš Ondovčín (ondovcin@natur.cuni.cz)

Tomáš Weiss (tomas.weiss@gmail.com)

Obsah přednášek:

- 1 Úvod do hydrogeologie JB
- 2 Jak se podzemím pohybuje voda? ML
- 3 Hydrologická bilance JB
- 4 Doba zdržení vody v podzemí a její původ JB
- 5 Ochrana vody MS
- 6 Regionální hydrogeologie JB
- 7 Minerální vody JM
- 8 Lázně a lázeňství MS
- 9 Využití vrtů v hydrogeologii FP
- 10 Čerpací zkoušky z vrtů TO
- 11 Praktická práce hydrogeologa TW
- 12 Modelování v hydrogeologii ML
- 13 Stopovače a stopovací zkoušky MS
- 14 Nesaturovaná zóna TW

Doporučená literatura:

Krásný Jiří et al. (2012): Podzemní vody České republiky 1143 str.

Šilar, Jan (1992): Všeobecná hydrogeologie. PřFUK. Praha

Šrámek, O., Datel, J a Mls, J. (2002): Kontaminační hydrogeologie. PřFUK. Skripta



U.S. National Research Council (1991):

„**Hydrologie** je věda zabývající se **vodami na Zemi**, jejich výskytem, distribucí, cirkulací, chemickými a fyzikálními vlastnostmi a jejich reakcí s prostředím se zahrnutím vztahu s živými organismy. Oblast působnosti zahrnuje celou historii výskytu vody na Zemi“.

Domenico and Schwartz (1997):

„**Hydrogeologie** je studiem zákonitostí řídících **proudění vody v podzemí**, mechanické, chemické a tepelné interakce této vody s porézním prostředím, transportem energie, chemickými složkami a zvláště charakterem proudění“.

Geohydrology, Groundwater Hydrology

-GEO pochází z ložisek (zdroj vody, prospekce)

-vztah k geochemii (transport rozpuštěných látek)

-ochrana životního prostředí

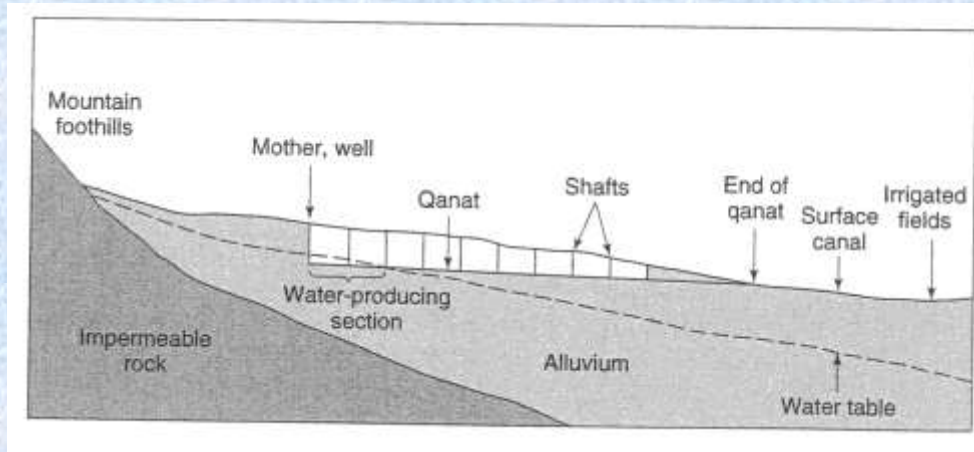
-ložiska (odvodnění, transport)

-výrazně využívána v praxi



Starověk až 17. stol

- již ve Starém Zákoně (prameny studny)
- kanáty (qanats), subhorizontální chodby o délce až 30 km; staré i přes 3000 let.



Původ vody v pramenech:

- Až do 17 století: voda v pramenech nemůže být původem ze srážek
- voda z moře (Platón), kondenzace ze vzduchu (Aristoteles)
- ALE: římský architekt Vitruvius popsal současnou infiltrační teorii

Pierre Perraut (1674) měřil úhrn srážek a odtok Seiny

-srážky v povodí přesahovaly cca 6x odtok

=> vyvrátil předpoklad, že množství srážek je příliš malé

Edmund Halley (1693)

- výpar z moře je dostatečný pro zásobování pramenů a toků vodou.

Henry Darcy (1856):

-lineární zákon pohybu vody v závislosti na hydraulickém gradientu a propustnosti

Chamberlin (1885):

-popsal proudění podzemní vody v artézském prostředí

Meinzer (1923):

-publikoval knihu o výskytu podzemních vod USA(do první poloviny 20 stol byly vymezeny a popsány hlavní kolektory)

Meinzer (1942): kniha „Hydrology“

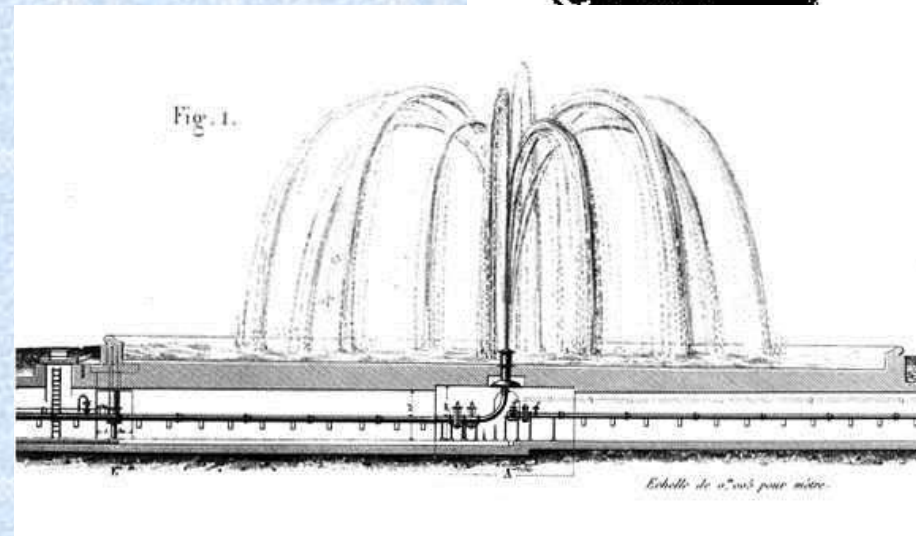
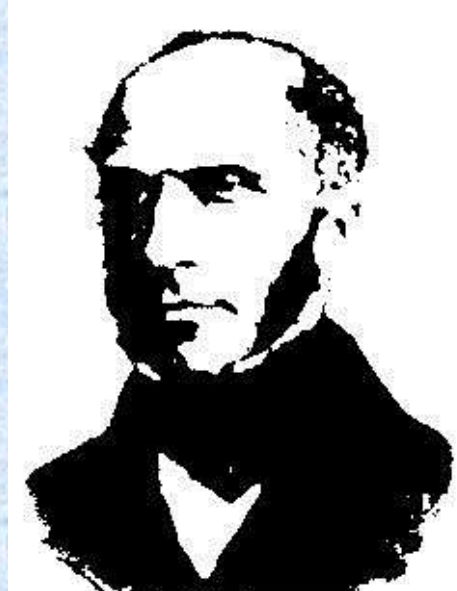
-v rámci hydrologického cyklu odlišil povrchovou hydrologii a hydrologii podzemních vod (geohydrology)

Theis (1935):

- s pomocí matematika Lubina využil podobnost mezi prouděním vody a tepla, popsal transienční proudění v okolí čerpaného vrtu

Jacob (1940):

- odvodil diferenciální rovnice popisující proudění podzemní vody



Hydrogeologie po 1950:

-zájem o geotermální zdroje (70. léta., ropná krize)

-v USA v 60. a 70. léta , později EU: **zákony týkající se životního prostředí:**
Clean Water Act, Clean Drinking Water Act, Resource Conservation and Recovery Act

EU: Water Framework Directive (2000), Nitrate Directive (1991) => **monitoring a čištění podzemních vod**

-**výpočetní technika** (umožňuje řešit složité případy proudění, transportu a reakce kontaminantů:

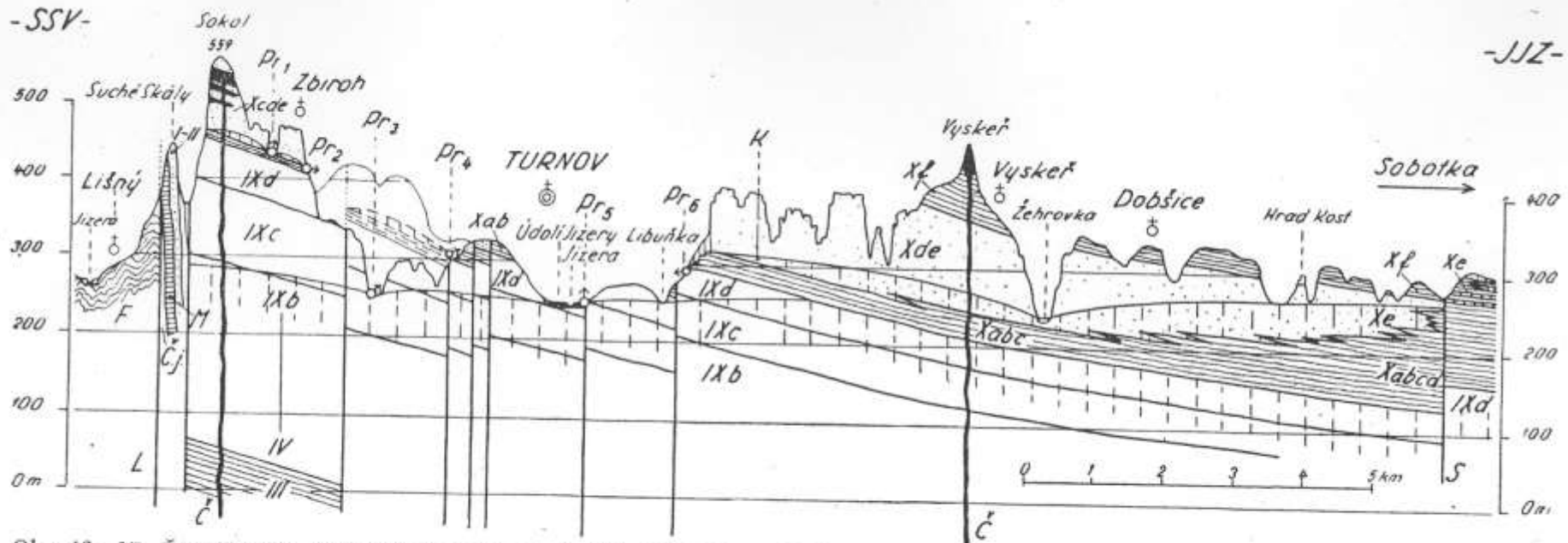
+ => možnost porovnat různé scénáře vývoje (různá intenzita čerpání)

- => možnost blufovat a zastírat realitu hezkými obrázky a složitými „dokonalými“ modely:

Hydrogeologie: aplikovaná věda

V ČR první hydrogeologické studie v druhé polovině 19. stol:

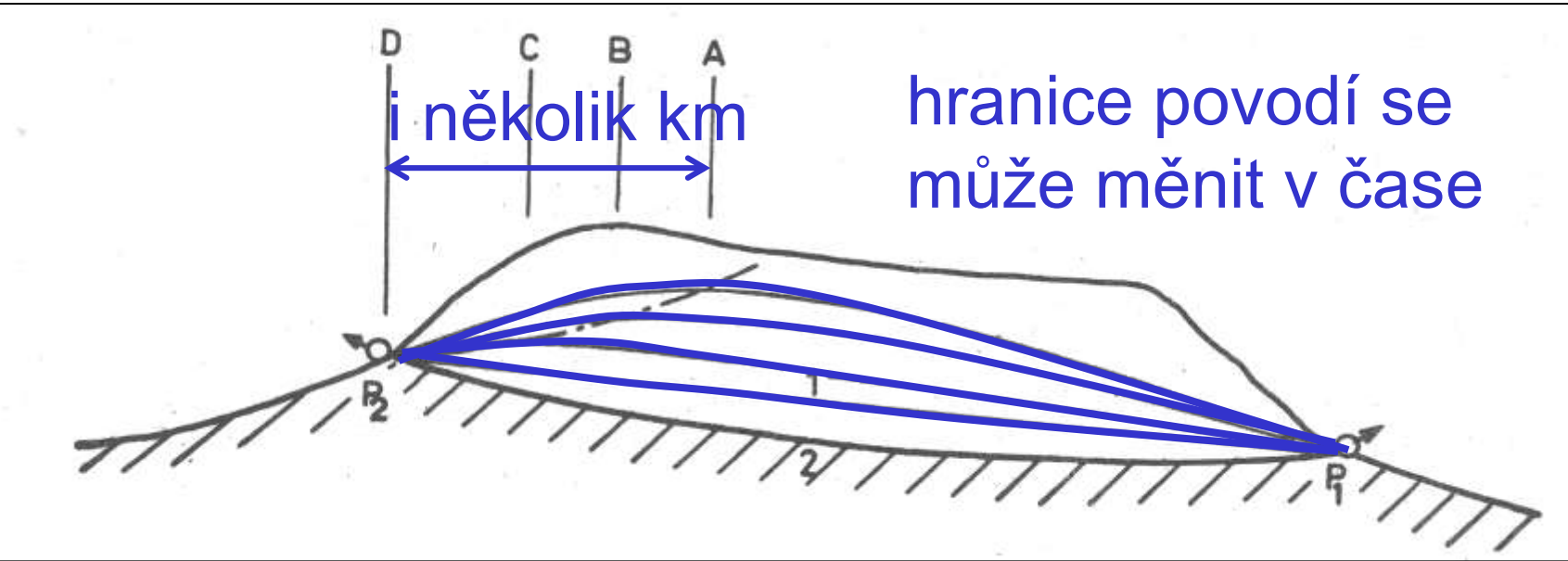
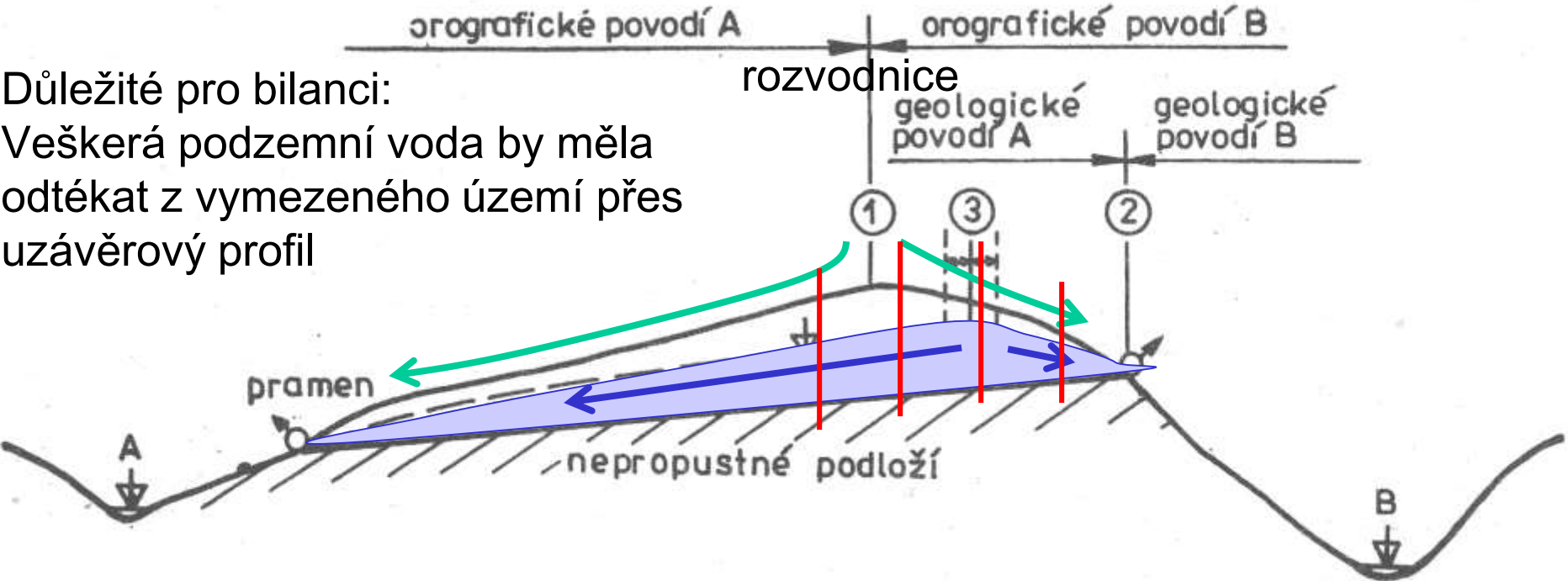
- katastrofický průval na dole Döllinger roku 10. února 1879 (23 obětí, konec slavné historie lázní Teplice)
 - zakládání městských vodovodů
 - první artézské vrty
- Prof. Hynie (1899-1968)** (nestor české hydrogeologie)
- vypracoval mnoho HG studií
 - knihy o prostých a minerálních vodách



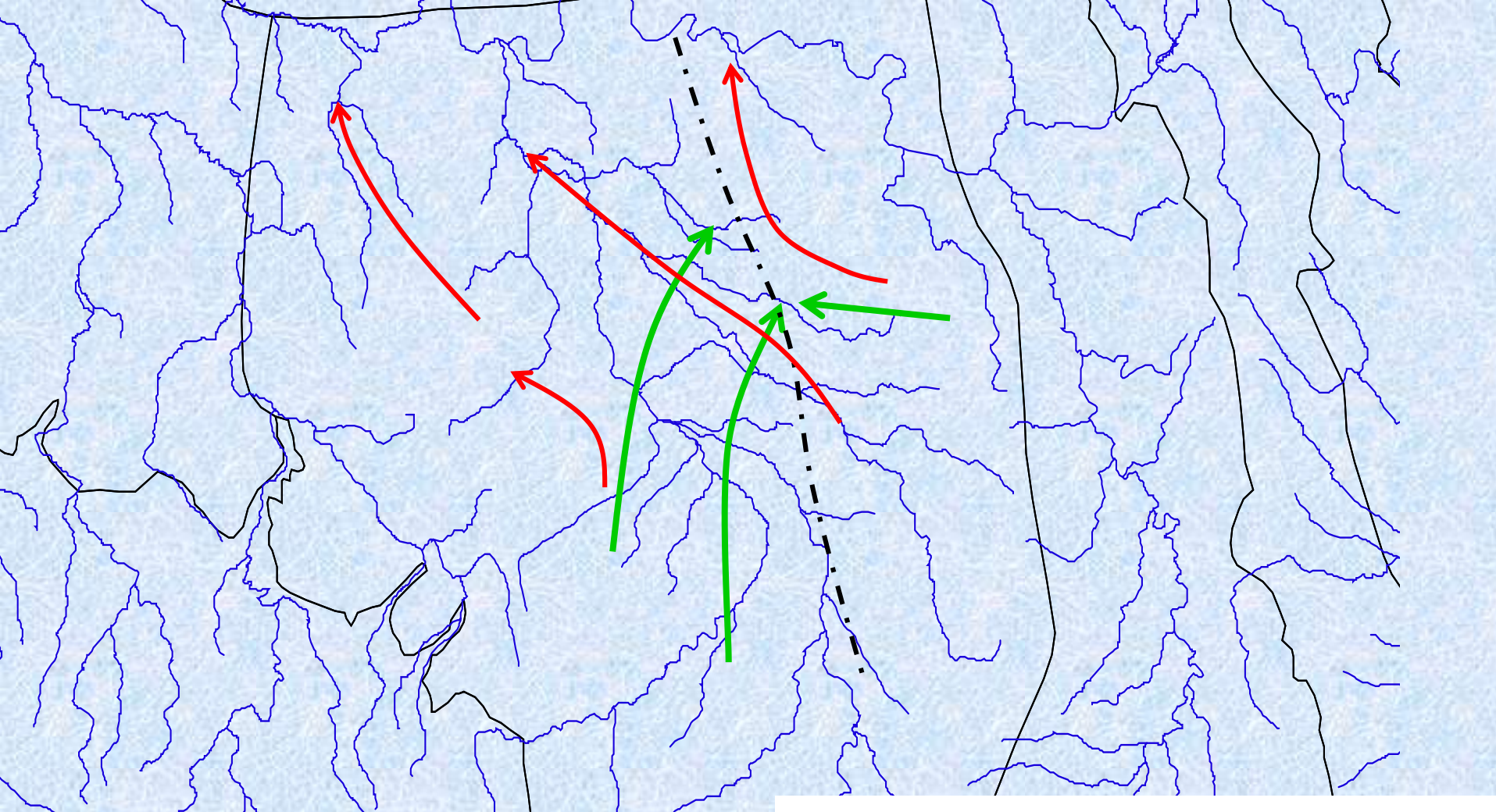
Obr. 46—17. Řez křídovým útvarem turnovské oblasti. (Originál O. HYNIE.) Převýšeno 25krát. *F* — fylity, *Č. j.* — červená jalovina, *M* — melafyr, *I-Xf* — křída, *Č* — čedič, *L* — lužický zlom, *S* — střežomský zlom, *Pr₁* — prameniště Kalich, *Pr₂* — prameniště Zbiroh, *Pr₃* — Betlémský pramen, *Pr₄* — pramen „Šleiferna“, *Pr₅* — rohozecké prameniště, *Pr₆* — pramenní čára hladových pramínek v údolí Libuňky na úpatí Hruboskalské vysočiny, *K* — vrtaná studna ve dvoře Konice.

orografické vs. skutečné (HG) povodí podzemní vody

Důležité pro bilanci:
Veškerá podzemní voda by měla
odtékat z vymezeného území přes
uzávěrový profil



hranice povodí se
může měnit v čase



Příklad nesouhlasu
orografických s skutečných
povodí podzemní vody z
vysokomýtské
synklinály (česká křídová pánev)

— proudění v nejnižším
kolektoru
— proudění ve středním
kolektoru

20 km

**Druhy vody podle
působících fyzikálních sil
a
vertikální zonálnost**

druhy vody (podle sil):

1) **hygroskopická**

-absorbovaná na povrch zrn, tenká vrstva, silně vázaná, ani rostliny ji nemohou využít, odstranění vysokým zahřátím

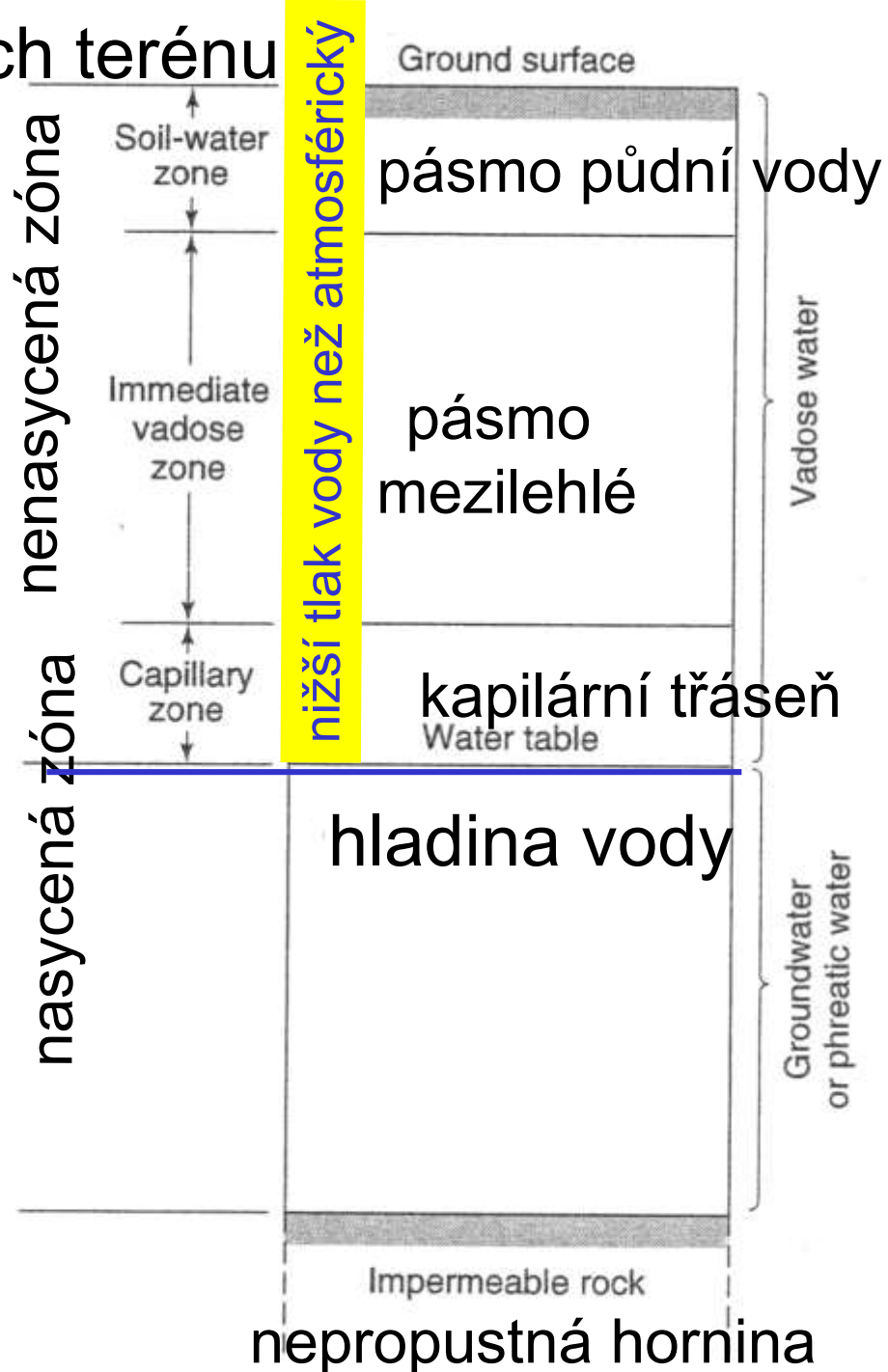
2) **kapilární**

-v malých pórech nad hladinou podzemní vody, využitelná rostlinami, nikoli pro jímání

3) **gravitační**

ve větších pórech, pouze tato se jímá ve studních

povrch terénu



Pórovitost: zastoupení pórů



každá hornina obsahuje dutiny: písek, žula

Celková pórovitost

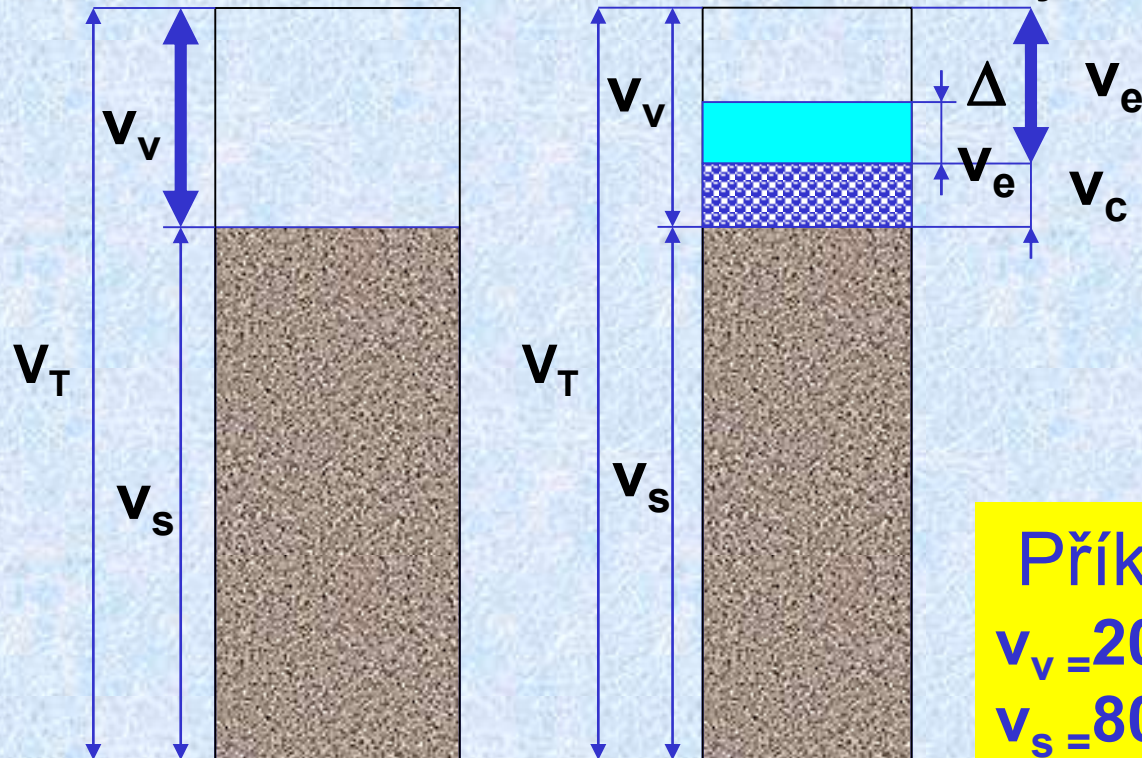
$$n = v_v / V_T \text{ (\%)}$$

Celková pórovitost je dána poměrem objemu dutin v hornině k objemu celé horniny

Efektivní pórovitost

$$n_e = v_e / V_T \text{ (\%)}$$

Poměrný objem průlin příhodných pro gravitační pohyb vody vztažený k celkovému objemu horniny



V_T celkový objem vzorku

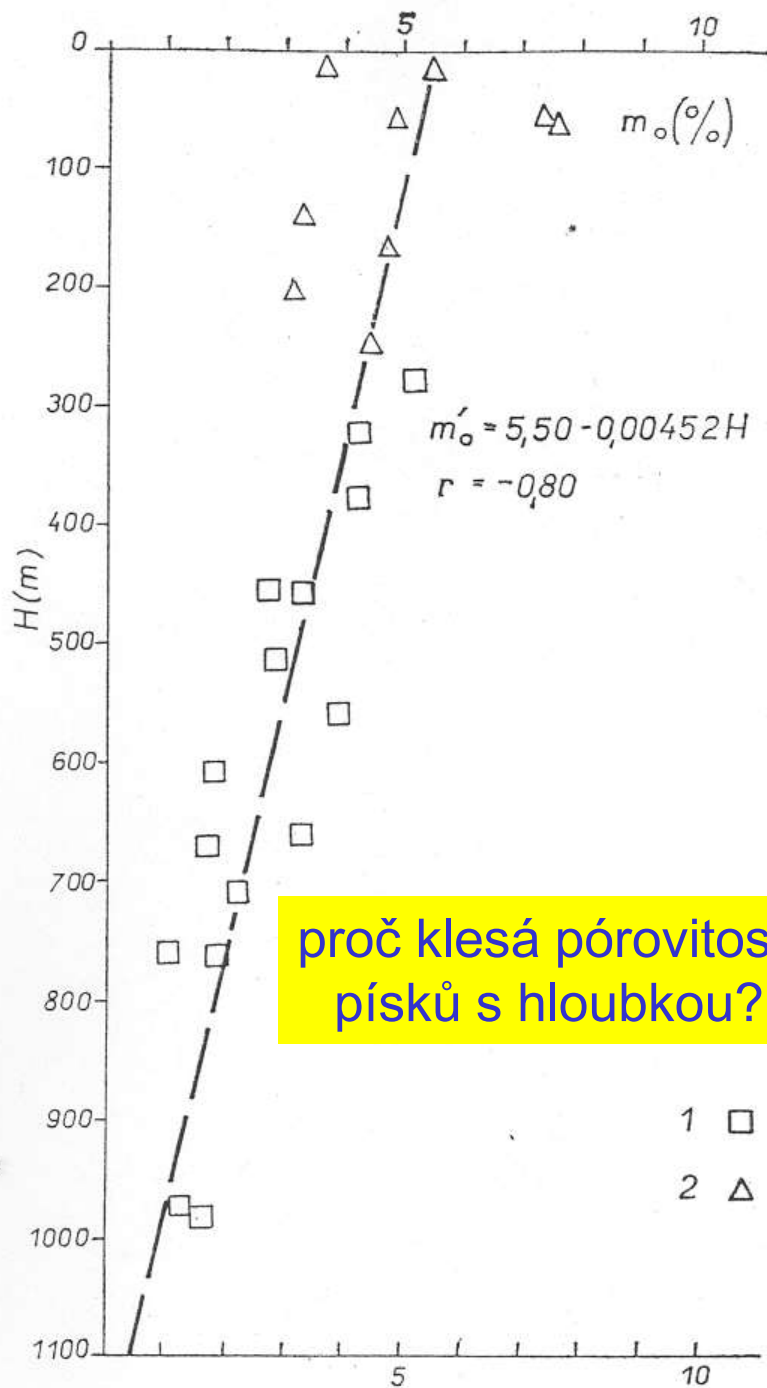
V_v objem pórů

V_s objem pevné fáze horniny

V_e objem pórů vhodných pro pohyb podzemní vody

V_c objem kapilárních pórů

Příklad:
 $v_v = 200 \text{ ml}$
 $v_s = 800 \text{ ml}$



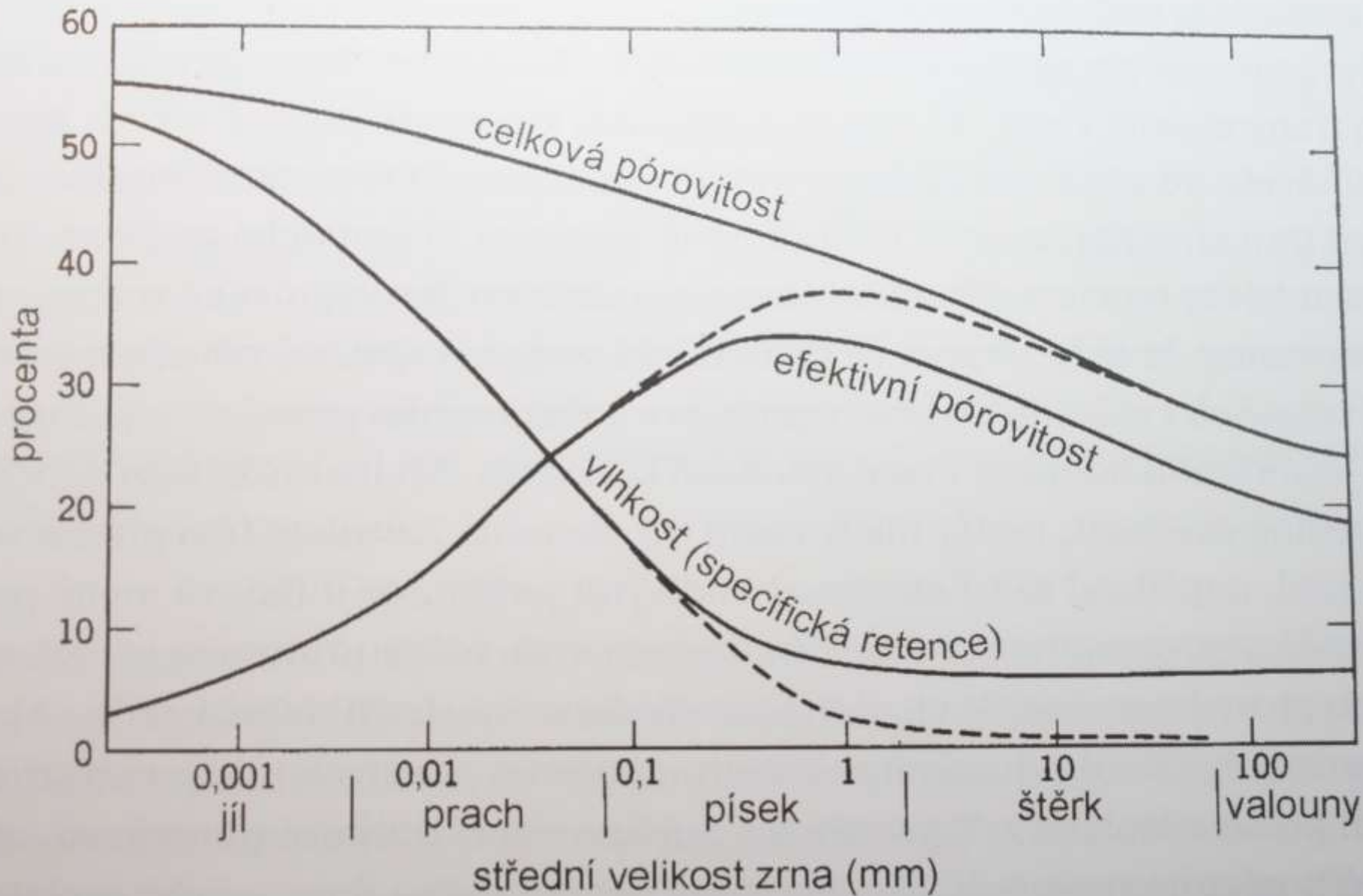
písek, štěrk:

-celková pórovitost 20-30%,
 efektivní 15%
 (velké propojené póry)

jíl:

-celková porovitost 40-60%,
 efektivní 1%
 (kapilární síly, izolované póry)

7. Graf regrese otevřené pórovitosti m_o na hloubce H (soubor Čž — psefity a středně zrnité psamity)
 1—6: stejné vysvětlivky jako u obr. 5

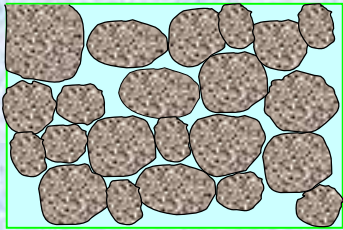


Vztah mezi zrnitostí a pórovitostí (Davise a DeWiest, 1966)

Se zmenšováním zrnitosti roste porozita ale klesá efektivní porozita

Typy propustnosti

primární

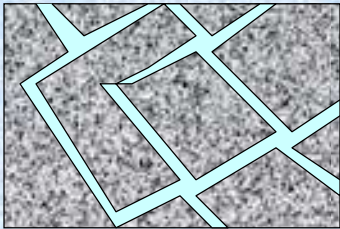


PRŮLINOVÁ
(intergranulární)

říční terasy, zóny zvětralin,
nezpevněné sedimenty atd.

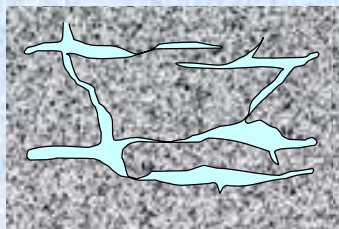
kombinace

sekundární



PUKLINOVÁ

Česká křídová pánev, zpevněné
sedimenty



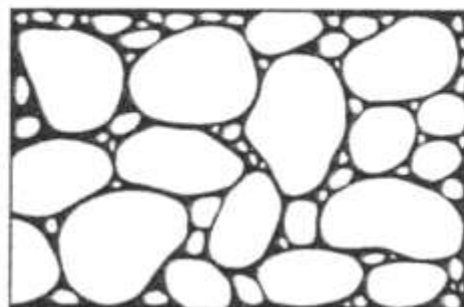
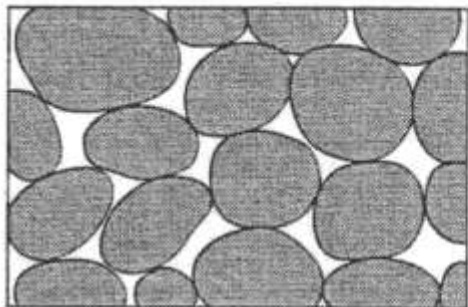
KRASOVÁ
(sebe-
organizovaná)

na rozdíl od předchozích, není výrazně ovlivněna tektonikou, nebo litologií, ale spíše historií proudového pole. S intenzitou proudění vody roste propustnost nově vytvářených krasových kanálů, čímž se následně zvyšuje intenzita proudění... (pozitivní zpětná vazba)

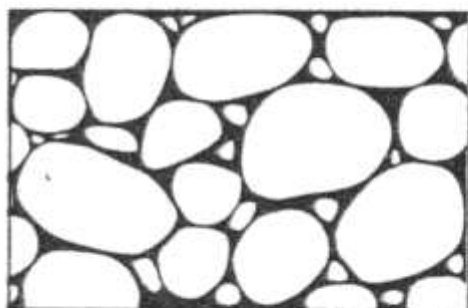
Velmi dobře tříděné
sedimenty s velkou
pórovitostí

Špatně tříděné
sedimenty s malou
pórovitostí

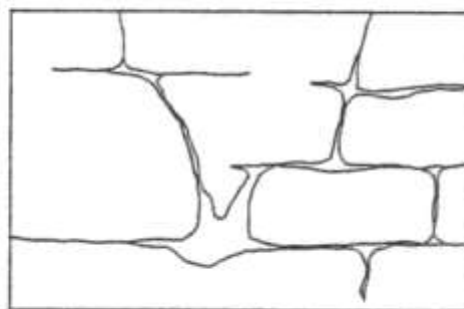
Velmi dobře tříděné
sedimenty s
propustnými zrnny



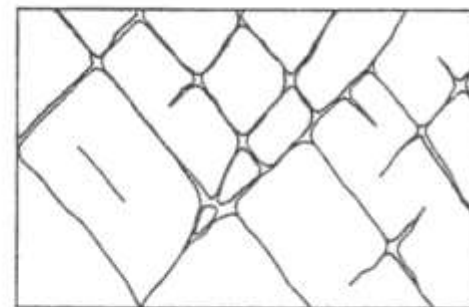
Vztah mezi texturou a propustností



(d)



(e)



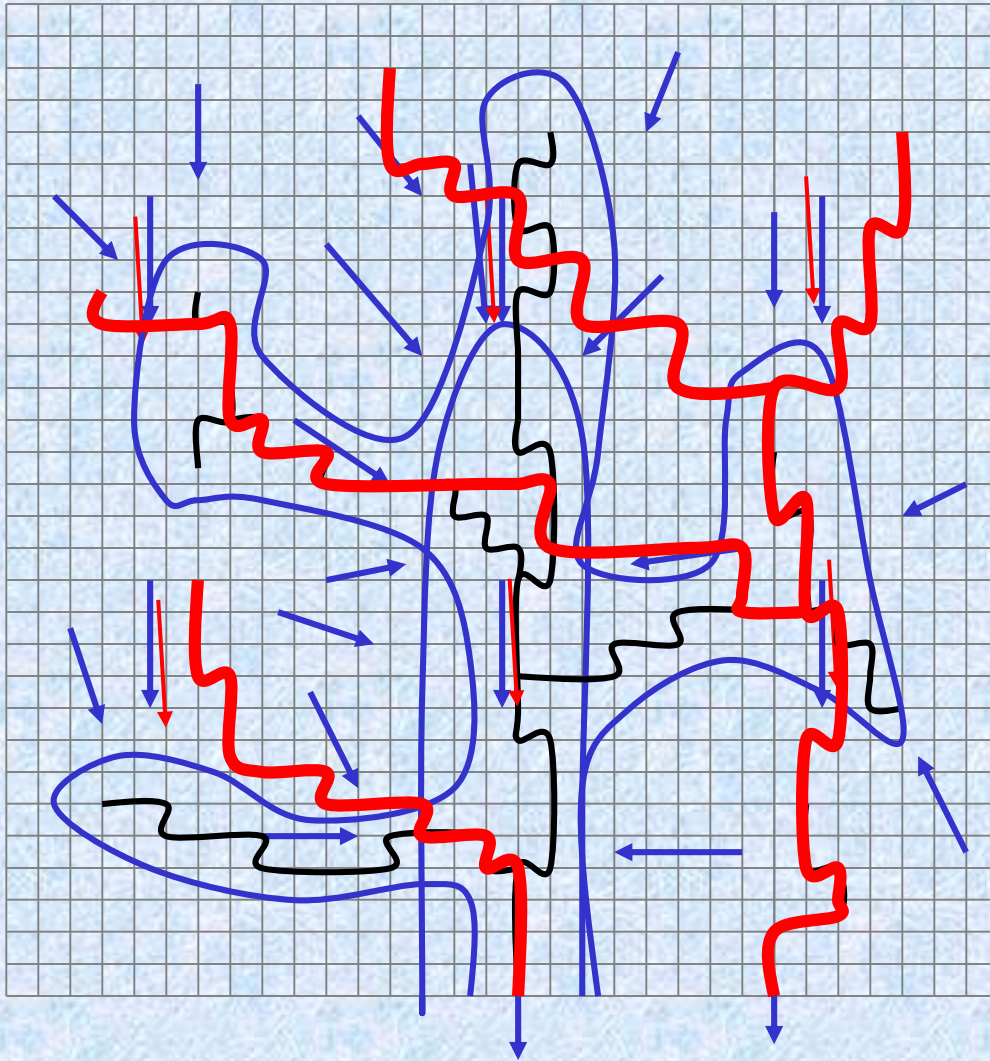
(f)

Velmi dobře tříděné
sedimenty, jejichž
propustnost je
omezena výskytem
tmele

Horniny, které se
stávají
propustnými
rozpuštěním

Horniny, které se
staly propustnými
díky rozpukání

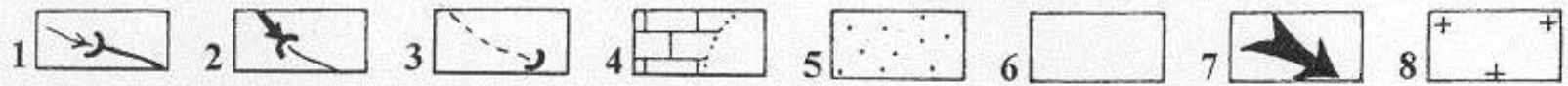
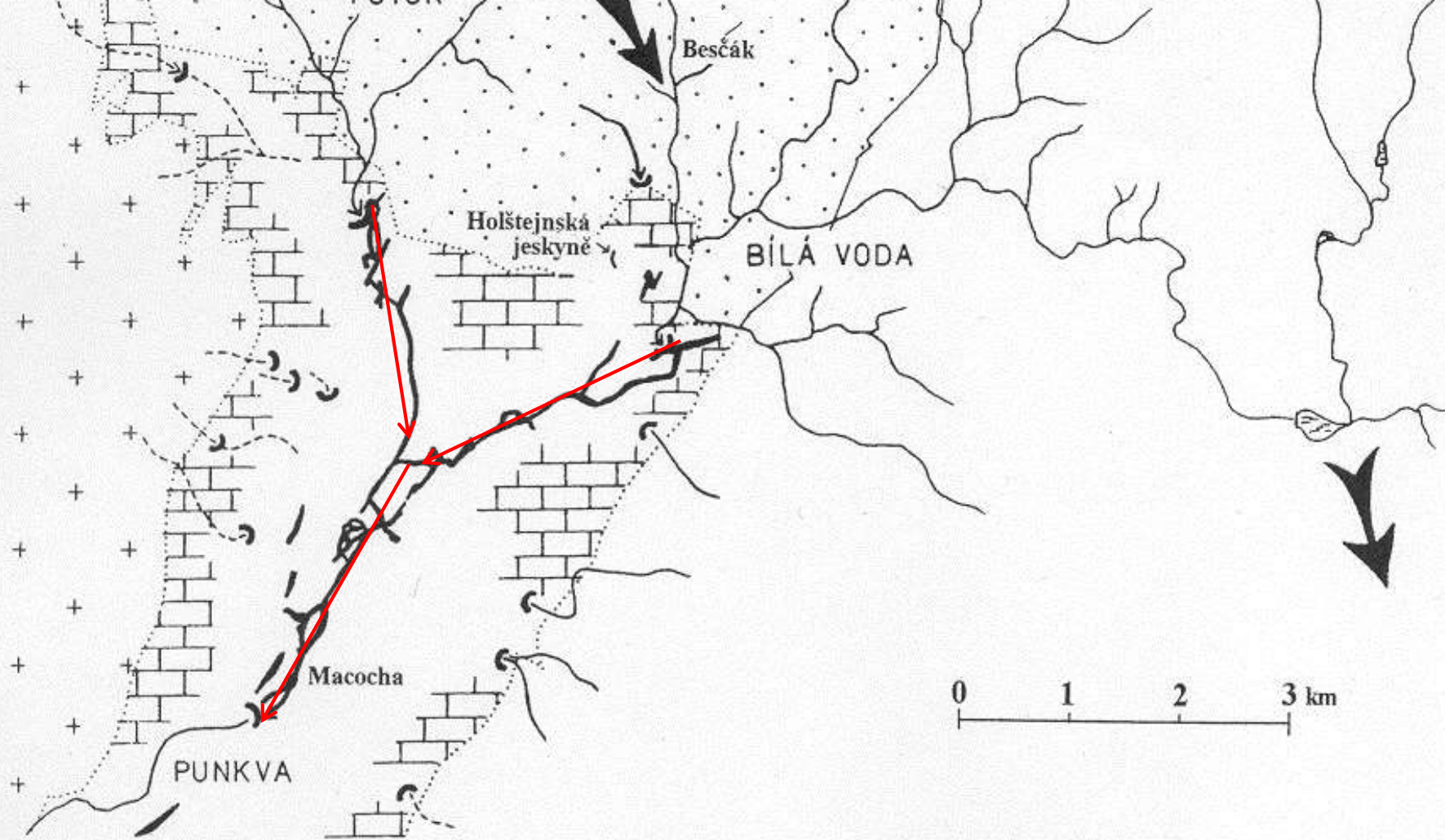
Půdorysné schéma rozvoje krasových kanálů



Podle výsledků modelů (Ford a Ewers, Dreybrodt, Sauter a Liedl) i reality (jeskyně)

- představte si rozpustnou horninu se sítí puklin
- prouděním vody se pukliny rozšiřují a vznikají krasové kanálky
- jakmile první z kanálů dosáhne místa drenáže poklesne prudce hladina v systému
- ostatní kanály vlivem změněného hydraulického pole začnou směřovat k prvnímu kanálu
- postupně vzniká větvený systém kanálů, kterými protéká téměř veškerá voda

Je zřejmé, že výsledné proudové pole se od původního výrazně liší



Obr. 5: Schematická geologická situace v povodích hlavních zdrojnic Punkvy
 1-ponory, 2-vývěry, 3-občasné toky, 4-geologická hranice vápenců, 5-protivanovské souvrství, 6-rozstáňské souvrství, 7-představy dřívějšího odvodňování, 8-brněňský masiv

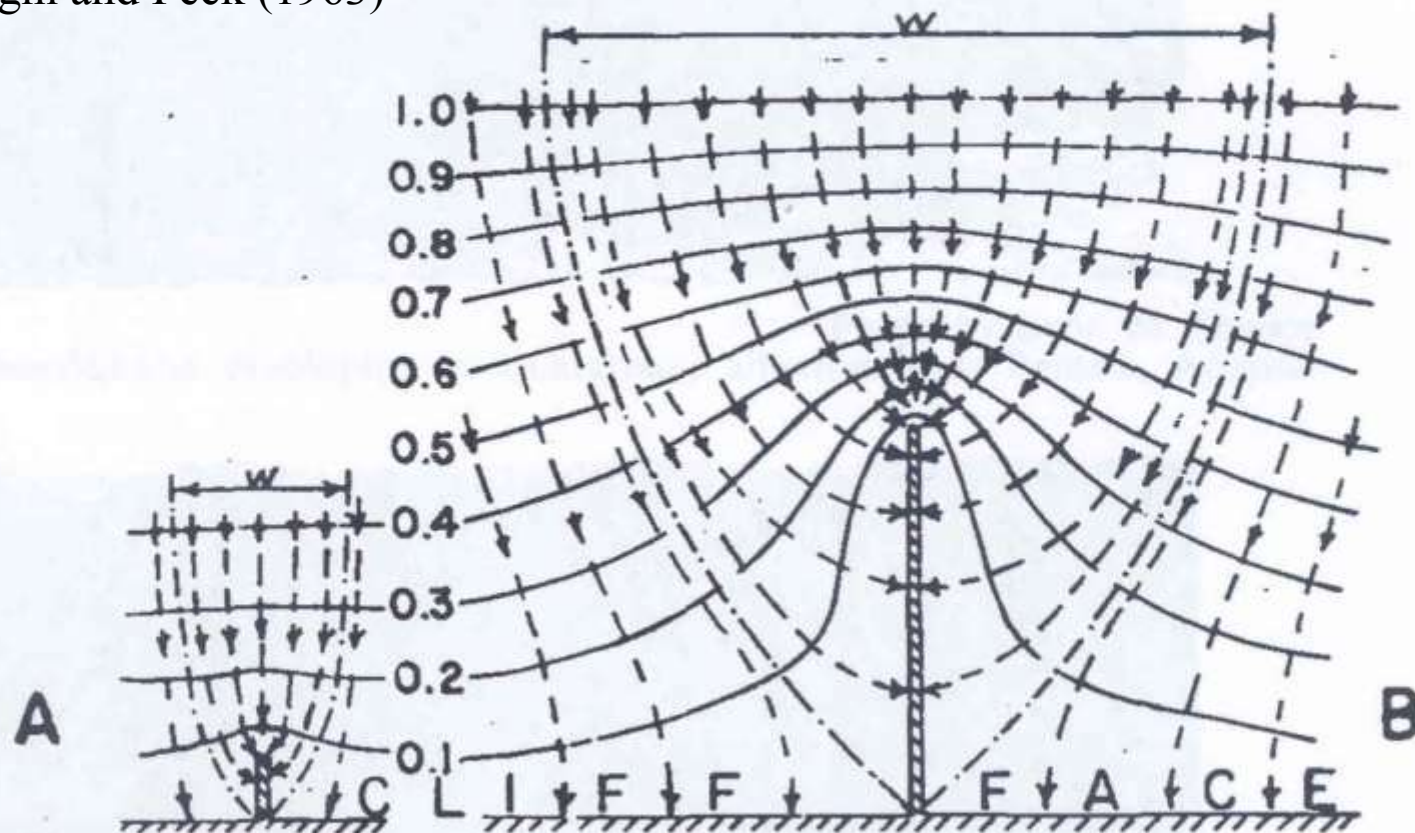
EXPLANATION

← w → WIDTH OF AREA CONTRIBUTING FLOW TO PIPE

— ISOPIESTIC LINES, 0.1 FOOT CONTOUR INTERVAL

- - - FLOW LINES, NORMAL TO ISOPIESTIC LINES

Terzaghi and Peck (1963)

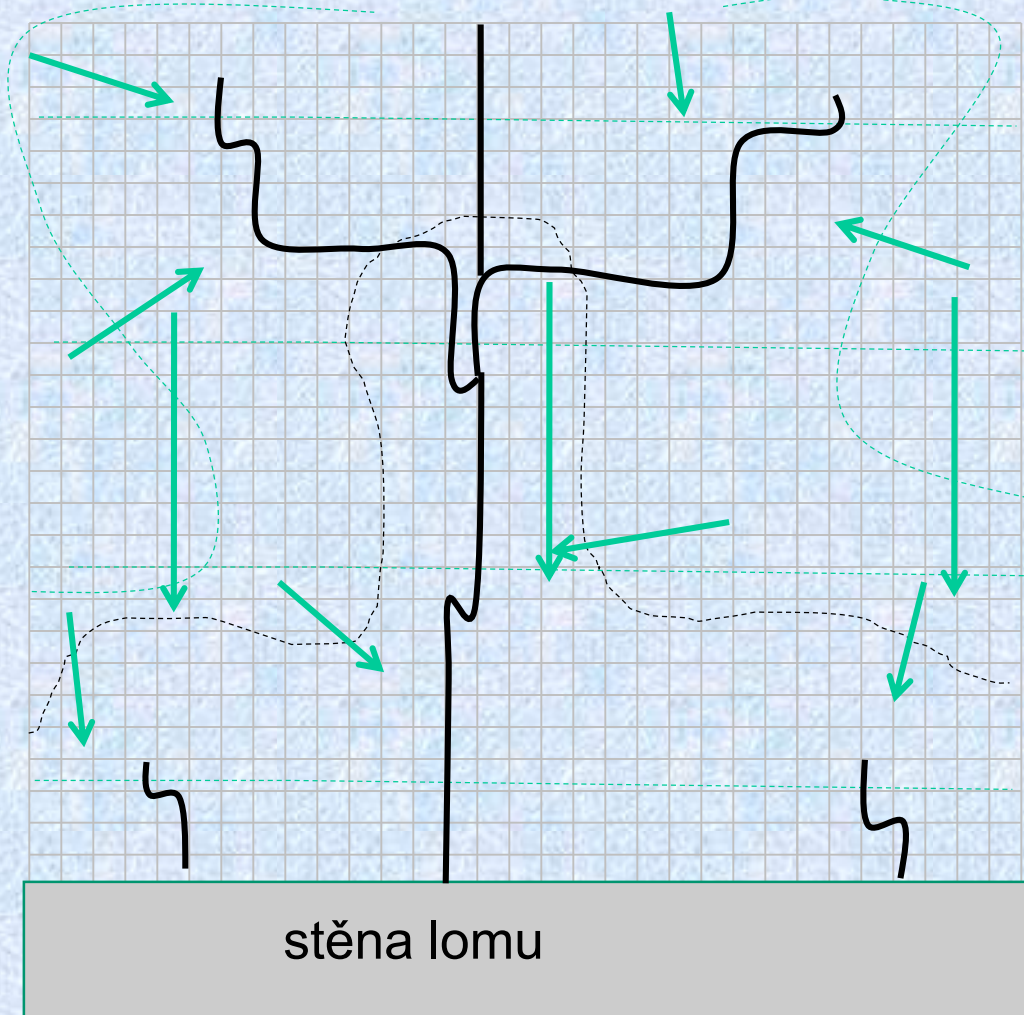


Adapted from Terzaghi & Peck, Soil Mechanics in Engineering Practice

Fig. 1 — Flow nets illustrating increase of intake area as pipe erodes headward. *A*, incipient state. *B*, after pipe is extended considerably headward.

Vývoj kanálů v půdorysu

(podobné diagramu Terzaghi and Peck 1948)



Analogie sebe-organizovaného proudění a porozity, na rozdíl od krasových kanálů se jeskyně v pískovci vyvíjí proti směru proudění během několika let

Počáteční podmínky:

-pískovec se sítí puklin, spád hladiny přes 2%

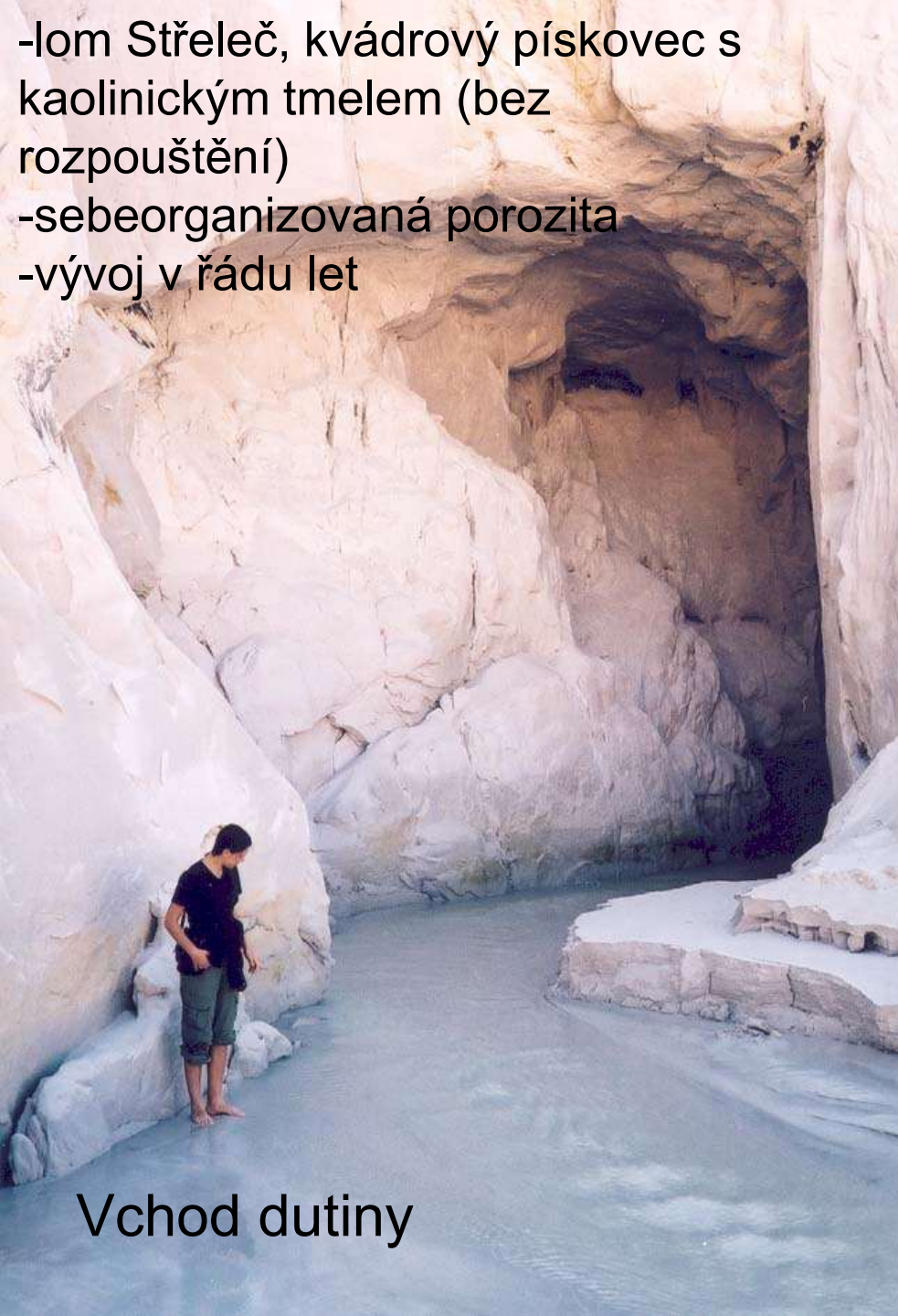
-pukliny se erozí rozšiřují do kanálků a jeskyní

-nejdelší kanál výrazně snižuje hladinu v okolí => **zvýší se průtok kanálem =>zvýší se intenzita eroze a rychlost prodlužování kanálu (zpětná vazba)**

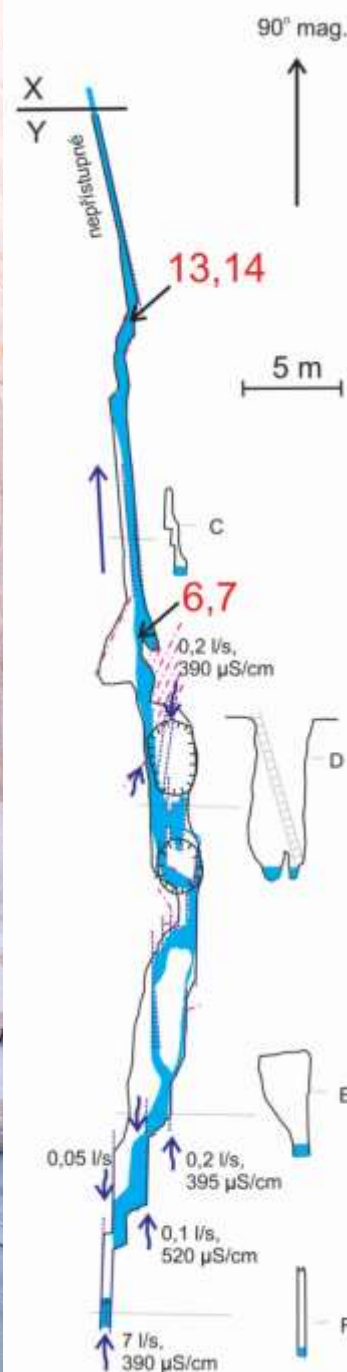
-proudění v okolí hlavního kanálu se re-orientuje ke kanálu

Díky tomu se sníží přítok do menších paralelních kanálů a jejich vývoj se zastaví

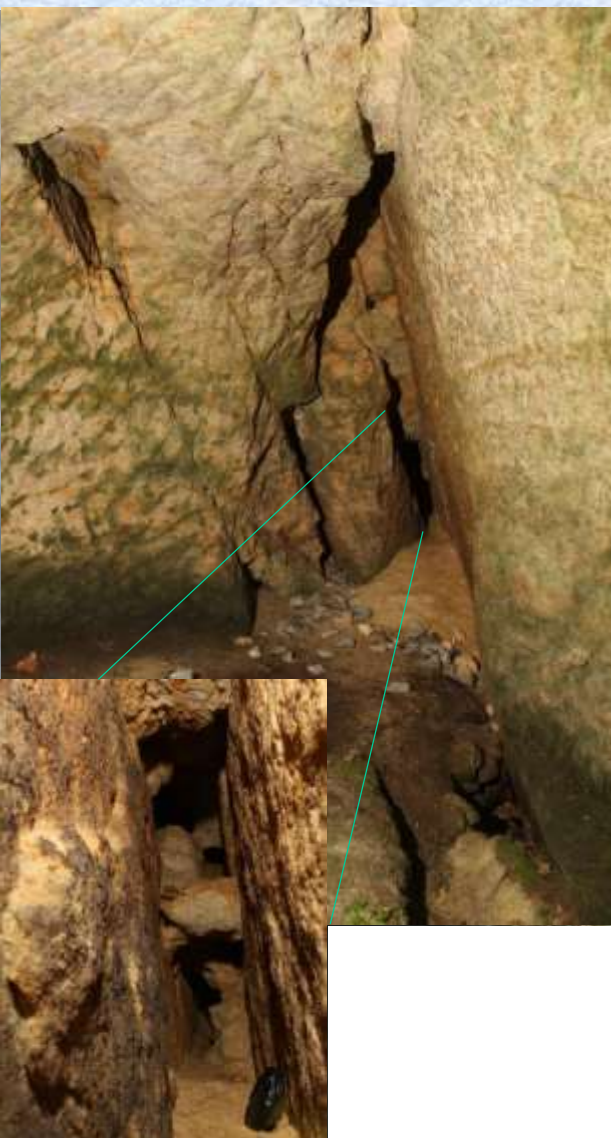
- lom Střeleč, kvádrový pískovec s kaolinickým tmelem (bez rozpouštění)
- sebeorganizovaná porozita
- vývoj v řádu let



Vchod dutiny



Stačí dvě paralelní vertikální pukliny aby vznikl kanál s vysokou propustností



Kolektor C Dubá
(Kokořínsko)
přítoková puklina pramene



Kolektor C Vojtěchov,
(Kokořínsko),
pramen 11 l/s



Kolektor D Věžický rybník,
(Troskovice)
pramen cca 0,5l/s

Sebeorganizovaná porozita

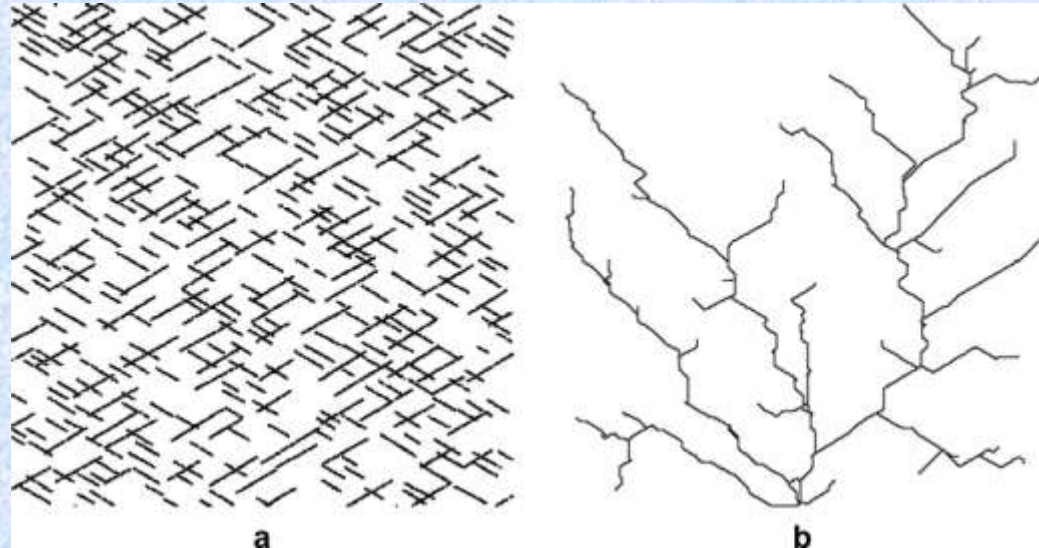
Existují dva fundamentálně odlišné typy porozity:

a) porozita organizovaná vnějšími procesy (sedimentace, diagenese, zvětrání, tektonika) ...**průlinová, puklinová**

b) porozita organizována hydraulickým polem za přítomnosti pozitivní zpětné vazby mezi množstvím vody protékající nově vznikající porozitou (dále kanálu) a mírou zvětšení kanálu. Příkladem druhého typu porozity jsou **krasové a sufozní jevy** (piping). ...nazývaná kras, pseudokras, sebeorganizace, ghost-rock karst, vymyté pukliny apod.

Klíčovými znaky sebeorganizované porozity je:

- 1) schopnost stahovat vodu z rozsáhlých oblastí sítí kanálů do jednoho bodu (velké prameny)
- 2) rozšiřuje se jen to co je nutné pro proudění (kanály zabírají pod 0,01% objemu kolektoru) tj. nezachytitelné vrty
- 3) vysoká rychlost proudění díky rozšiřování pouze nejpropustnějších kanálů- rychlé šíření kontaminace na velké vzdálenosti.



Kolektor

Izolátor

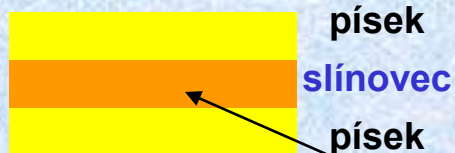
Zvodeň

Kolektor a izolátor

Kolektor je horninové prostředí, jehož propustnost je ve srovnání se okolním horninovým prostředím natolik větší, že gravitační voda se jím může pohybovat za jinak stejných podmínek snadněji.

Izolátor je horninové prostředí, jehož propustnost je ve srovnání se okolním horninovým prostředím natolik menší, že gravitační voda se jím může pohybovat za jinak stejných podmínek méně snadno.

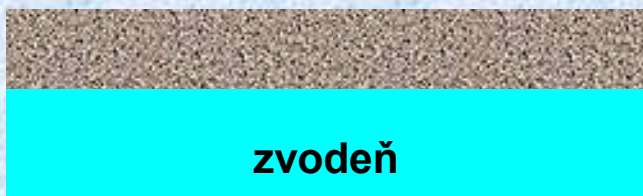
kolektor
izolátor
kolektor



kolektor
izolátor
kolektor

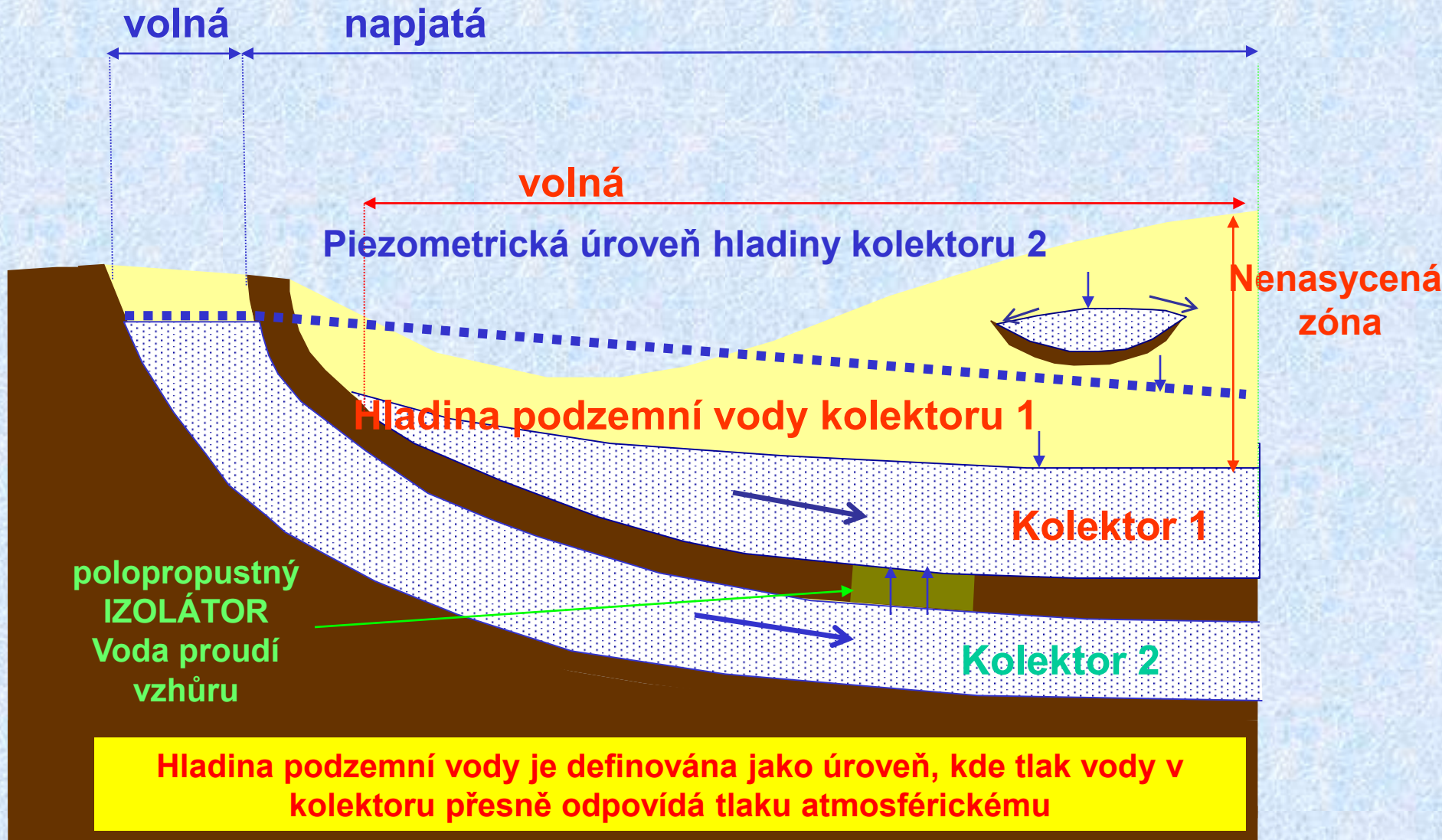


Horninová tělesa s obdobnou **ABSOLUTNÍ** propustností mohou být jednou kolektorem a jindy izolátorem (jde o relativní vlastnost)

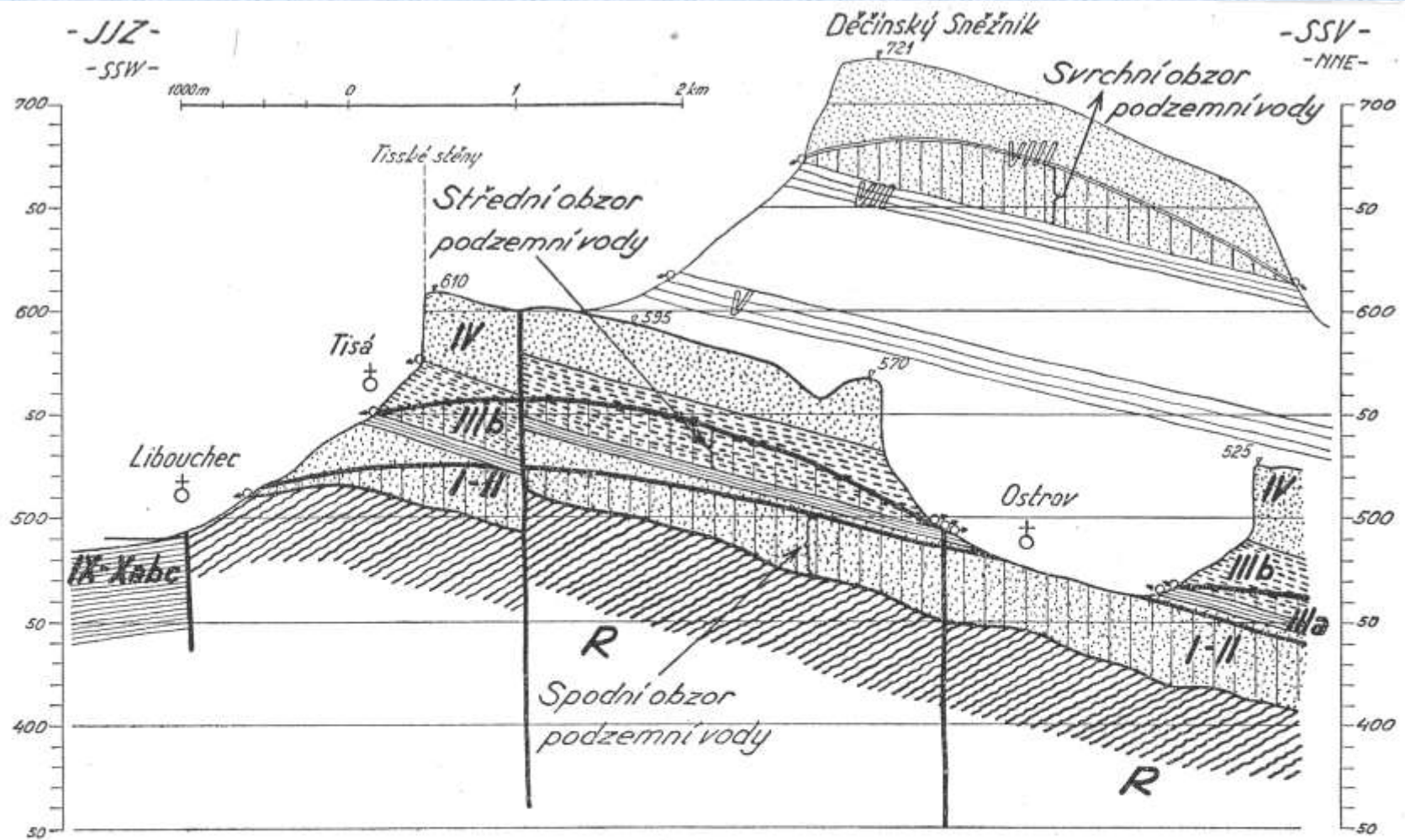


Zvodeň je část kolektoru vyplněná vodou

Typy kolektorů



Hydrogeologické pánve



Obr. 5. Geologický profil napříč Vysočiny Děčínského Sněžníku (dle linie v mapě na obr. 4).

Důležité termíny:

-orografické vs. hydrogeologické povodí

-gravitační vs. kapilární voda

-pórovitost celková, efektivní

-propustnost průlinová, puklinová, krasová (sebeorganizovaná)

-kolektor, izolátor, zvodeň