



**VÝZNAM REGIONÁLNÍCH
HYDROGEOLOGICKÝCH STUDIÍ
PRO ÚZEMNÍ PLÁNOVÁNÍ A
OCEŇOVÁNÍ ZDROJŮ
PODZEMNÍCH VOD**

Jiří Krásný
Univerzita Karlova Praha
Přírodovědecká fakulta

Většina současných hydrogeologických úkolů a problémů je **lokálně** zaměřených (lokálního měřítka):

- Kontaminační hydrogeologie –
Sanace podzemních vod a hornin
- Místní zásobování vodou
- Podzemní voda ve stavebnictví
- Důlní hydrogeologie vč. následků těžby

Regionálně-hydrogeologické výsledky a podklady jsou nezbytné pro rozhodování správních orgánů/administrativy, zejména při:

- Územním plánování
- Strategických rozhodnutích v regionálních, státních či dokonce kontinentálních měřítcích
- Integrovaném využívání podzemních vod či vod všeobecně, jeho optimalizaci a ochraně vod

Význam ale i pro hydrogeology.

Regionálně-hydrogeologické poznání umožňuje:

- Porovnání různých území: Úvahy o činitelích, vyvolávajících období či rozdíly hydrogeologických poměrů v různých územích či hydrogeologických prostředích
- Výměnu zkušeností na regionální, státní či mezinárodní úrovni
- Sestavování hydrogeologických map malého či středního měřítka
- **Zevšeobecnění výsledků**

Dvě kvantitativní hlediska v hydrogeologii:

- 1) Geologické poměry určují geometrii a anatomii hydrogeologických těles :
 - typ hydrogeologického prostředí
 - velikost a rozdělení hydraulických parametrů (transmisivity a propustnosti, storativity)
- 2) Klimatické podmínky určují prostorové a časové změny přírodních zdrojů podzemních vod
Tyto a další podmínky pak za **přírodních podmínek** společně určují kvalitu podzemní vody

Regionální ocenění a znalost

všech těchto hledisek jsou nezbytné pro jakákoli racionální rozhodování o „trvale udržitelném“ využívání a ochraně podzemních vod v rozsáhlejších územích.

V závislosti na hydrogeologických a klimatických poměrech bud'

- hydrogeologické prostředí /
hydraulické parametry
nebo
- přírodní zdroje podzemní vody
určují limity
využívání podzemních vod.

Rozdíly mezi zemskými klimatickými zónami:

- **Aridní a semi-aridní oblasti:**

- Omezené srážky a vysoký výpar
- Přírodní zdroje anebo kvalita podzemních vod často představují limity využívání podzemních vod
- Intenzivní odběry vod mohou vést k nadměrnému čerpání podzemních vod a vysušování kolektorů

- **Oblasti mírného klimatického pásma:**

- Často značné přírodní zdroje podzemních vod
- Rozhodující faktor při odběrech podzemních vod mnohdy bývá transmisivita / propustnost

TYP HYDROGEOLOGICKÉHO PROSTŘEDÍ

určuje prostorové rozdělení
hydraulických parametrů a

vytváří v čase neměnný **statický** rámec –
„kostru“ v níž

**DYNAMICKÝ PRVEK - PODZEMNÍ
VODA VZNIKÁ, VYSKYTUJE SE A
PROUDÍ**

V přírodních podmínkách není hydrogeologické prostředí nikdy homogenní a izotropní.

V městských a průmyslových územích je situace navíc komplikována antropogénními vlivy.

Rozdělení transmisivity v různých hydrogeologických prostředích:

1. **Tvrdé horniny („Hard rocks“)** – *převládá puklinová porozita* - většinou tzv. hydrogeologický massif – prostorové rozdělení hydrogeologických těles **obvykle nezávisí na výskytu** petrograficky či stratigraficky **odlišných geologických jednotek**
2. **Zpevněné sedimentární horniny** – *většinou dvojná porozita (puklinovo-průlinová), v případě karbonátových hornin popř. až trojná porozita*
3. **Málo zpevněné či nezpevněné horniny** – *převládá průlinová (intergranulární) porozita*

Dvě poslední prostředí se často vyskytují v hydrogeologických pánvích kde je geometrie a anatomie hydrogeologických těles **vesměs určována jejich litologickým složením**. Vliv litologie se všeobecně zvětšuje u mladších sedimentů.

Klasifikace velikosti a variability transmisivity (Krásný 1993):

6 tříd velikosti transmisivity od velmi vysoké (I třída – více než 1000 m²/d) po nepatrnou transmisivitu (VI třída – méně než 0,1 m²/d).

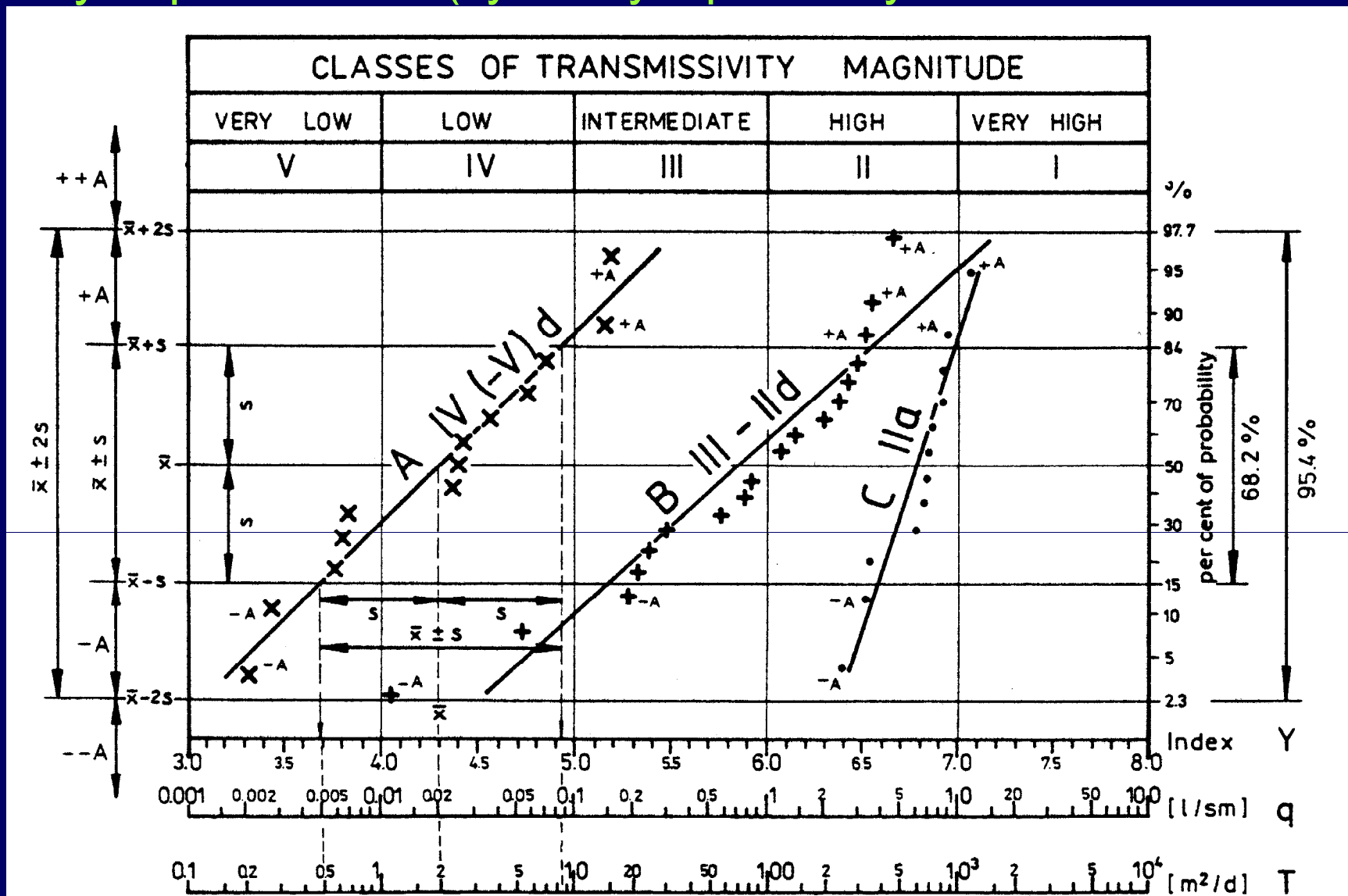
6 tříd variability transmisivity *a - f*, určených podle směrodatné odchylky transmisivity zkoumaného souboru dat („statistického vzorku).

Variabilita transmisivity všeobecně vyjadřuje charakter hydrogeologického prostředí a stupeň jeho hydraulické heterogenity.

Klasifikace velikosti transmisivity hornin

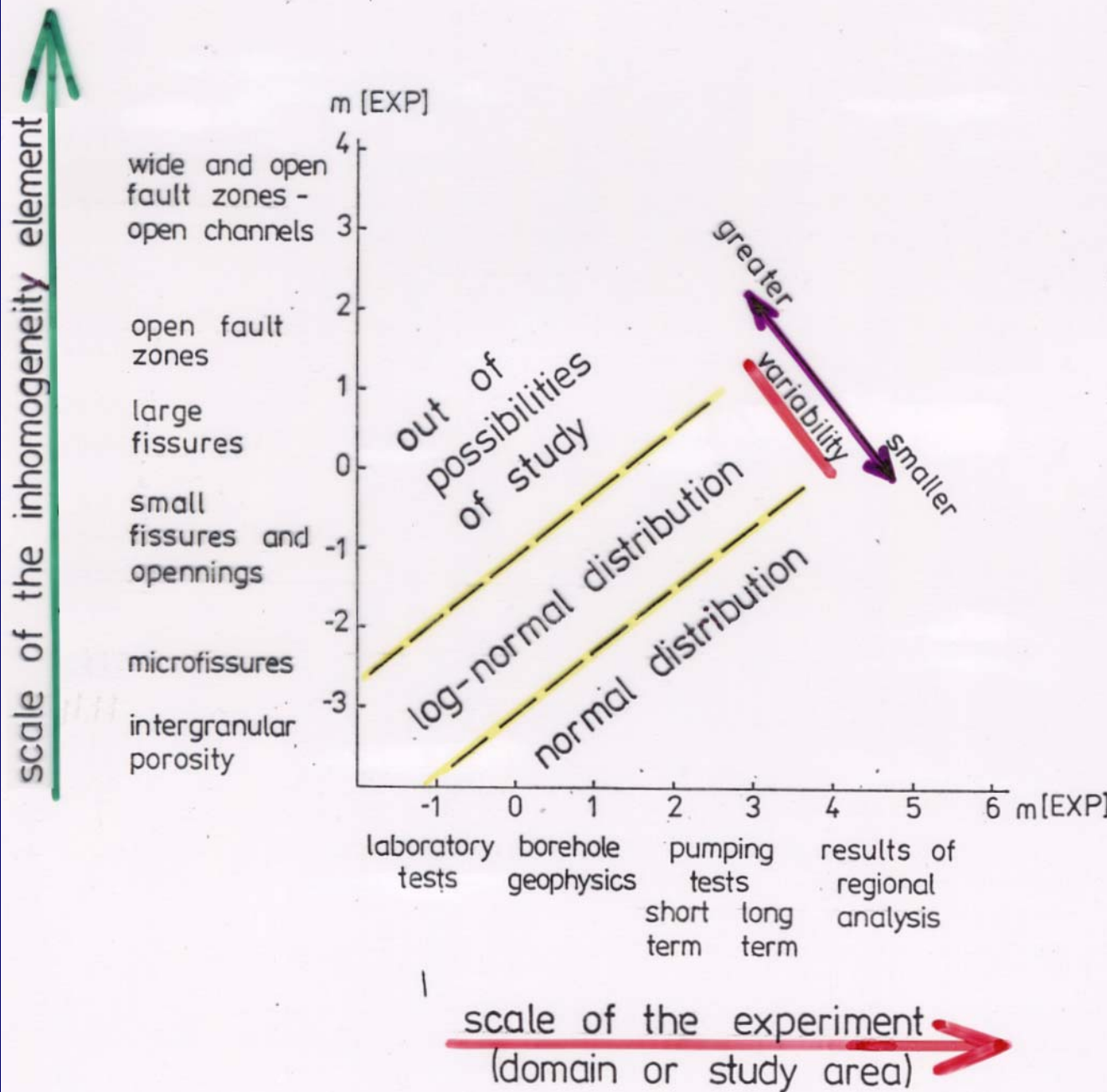
Třída velikosti transmisivity	Vodohospodářský význam Výše transmisivity naznačuje prostředí s předpoklady využití podzemních vod:
I Velmi vysoká	soustředěnými odběry mimořádného regionálního významu (velké skupinové vodovody)
II Vysoká	soustředěnými odběry menšího regionálního významu (menší skupinové vodovody, větší obce a závody)
III Střední	většími odběry pro místní zásobování (menší obce, továrny, zemědělské závody)
IV Nízká	menšími odběry pro místní zásobování (jednotlivé domy, hospodářská stavení nebo jejich malé skupiny)
V Velmi nízká	jednotlivými malými odběry pro místní (individuální) zásobování obyvatelstva při omezené potřebě
VI Nepatrná	zajištění zdrojů pro individuální zásobování i při omezené spotřebě bývá obtížné, někdy nemožné

Kumulativní relativní četnosti umožňují znázornit, analyzovat a klasifikovat prostorové rozdělení transmisivity v různých prostředích (výsledky z přítokových zkoušek ve vrtech)



- Transmisivita, hydraulická vodivost a další hydraulické parametry se značně liší v závislosti na **metodě použité** k jejich stanovení.
- Výběr použité metody se obvykle provádí s ohledem na rozsah **studovaného území**.

MĚŘÍTKOVÝ EFEKT

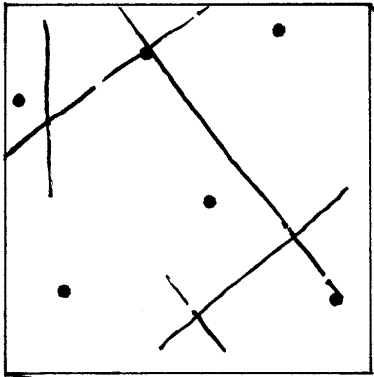


**Rac (1967),
Rac &
Černyšev
(1967), a
Kiraly (1975)**
diskutovali
vztah mezi
velikostí
rozhodujících
prvků
inhomogeneity
příslušného
hydrogeologické
ho prostředí a
rozsahem
studovaného
území.

Hierarchický systém nehomogenit různého řádu
existuje ve všech hydrogeologických
prostředích a určuje prostorové rozdělení
transmisivity a ostatních hydraulických
parametrů.

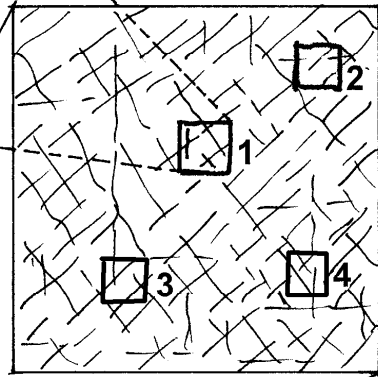
V tvrdých horninách při obvykle malých či
neznatelných rozdílech v transmisivitě,
způsobených různým petrografickým složením
hornin, vyvolává řádové rozdíly jejich rozpukání.

metres to
tens of metres **a**

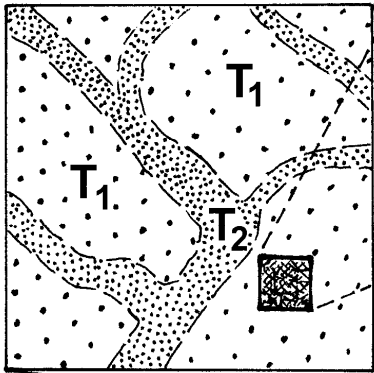


• hydrogeologic
borehole

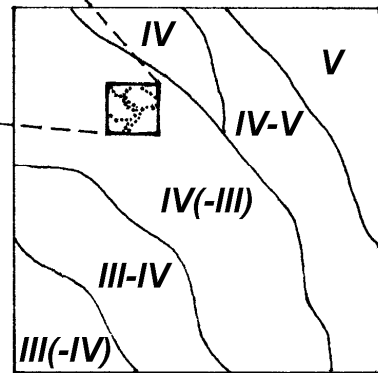
hundreds
of metres **b**



kilometers **c**



tens of
kilometers **d**



Vztah velikosti prvků nehomogenit k rozsahu studovaného území (příklad puklinově porézních hornin)

- a – pukliny a puklinové zóny v **lokálním měřítku**
- b – ze (sub-) regionálního pohledu víceméně pravidelné **rozpukání představující hydrogeologické pozadí**; čtverce 1-4 představují různé „statistické výběry“ s podobnou převládající velikostí a variabilitou transmisivity
- c – sub-regionální nehomogenity často sledující **údolí**:
 - T_1 – nižší převládající transmisivita,
 - T_2 – vyšší převládající transmisivita
- d – **regionální změny** transmisivity vyvolané různou **neotectonickou aktivitou**

Podobný **hierarchický systém nehomogenit různého řádu** existuje ve všech hydrogeologických prostředích a určuje prostorové rozdělení transmisivity a ostatních hydraulických parametrů.

Proměnlivost hydraulických parametrů v malých územích (prostorech) je tedy vesměs značná. Při zvětšování území se průměrné hodnoty sblížují až nakonec se **průměrná transmisivita (hydraulická vodivost atd.)** tzv. **representativního elementárního objemu – REV - REPRESENTATIVE ELEMENTARY VOLUME** - prakticky nemění.

Při existenci větších nehomogenit se ovšem zvětšuje také **REV**

Ke značnému stupni nehomogenity všech přírodních hydrogeologických prostředí je třeba přihlížet při **sestavování konceptuálních a numerických modelů**. Za hlavní problémy lze považovat:

1. Určení reálně existujících hydraulických heterogenit a prostorového rozdělení hydraulických parametrů
2. Racionální zohlednění měřítkových nekompatibilit mezi reálnými podmínkami a modelovanou situací.

Porovnání regionálně hydrogeologických poznatků v různých územích umožnilo formulovat princip **hydrodynamické a hydrochemické zonálnosti**. Zpočátku byla z více důvodů zaměřena pozornost hydrogeologů na hydrogeologické pánve.

V nich byly různými autory (mj. Ignatovič 1945, Marinov et al. 1978, Tóth 1999) v souladu se všeobecnými hydrogeologickými koncepty, rozsahem, hloubkou a rychlostí proudění podzemní vody definovány

3 vertikální zóny

schématicky vyjadřující

vertikální hydrodynamickou zonálnost.

Tyto zóny byly označovány, od zemského povrchu do hloubky, jako zóny

- lokálního (intenzivního, mělkého),
- středního (zpomaleného) a
- regionálního (pomalého či nevýrazného až stagnujícího, hlubokého)

proudění podzemní vody.

Původně jen v hydrogeologických pánvích, později byla obdobná situace zjištěna ve všech hydrogeologických prostředích.

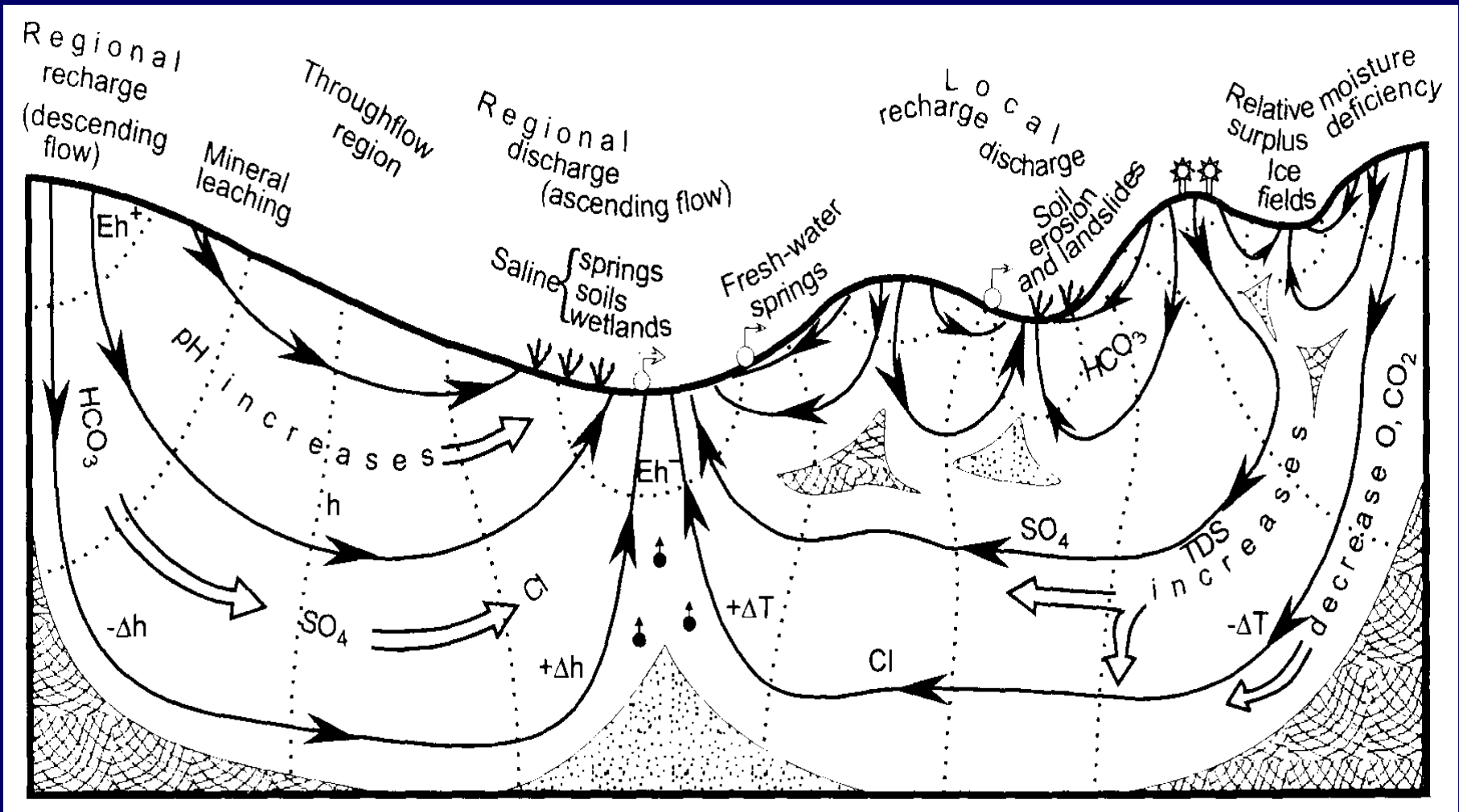
Obdobně regionálnímu zevšeobecnění proudění podzemní vody, vyjádřenému vertikální hydrodynamickou zonálností, existují víceméně pravidelné vertikální projevy změn chemického složení podzemní vody

-vertikální hydrochemická zonálnost,

a to jak v hydrogeologických pánvích, tak v hydrogeologických masivech.

Zóna	Hlavní složky	<i>S hloubkou všeobecně vzrůstá též:</i>
Svrchní	Ca (Mg) HCO ₃ SO ₄ Na HCO ₃	- celková mineralizace
Spodní	Na Cl Ca Cl	- teplota podzemních vod

Projevy proudění podzemní vody v rozlehlé hydrogeologické pánvi s volnou zvodní (Tóth 1999)



ZDROJE PODEMNÍCH VOD

- přírodní
- indukované
- umělé

Přírodní zdroje podzemních vod se tvoří a jsou využívány především ve **svrchní hydrodynamické a hydrochemické zóně** s intenzívním prouděním podzemní vody.

Různé metody k ocenění přírodních zdrojů podzemních vod.

Ke stanovení regionálně platných dlouhodobých průměrných hodnot přírodních zdrojů je nejvhodnější separace podzemního odtoku z odtoku celkového.

Tohoto postupu bylo využito při sestavení mapy přírodních zdrojů – podzemního odtoku v rámci dřívějšího Československa.

ODTOK PODZEMNÍ VODY

A) Dlouhodobý specifický odtok podzemní vody

Výše specifického odtoku podzemní vody- l. s. ¹ km ²	Stupeň	Označení výše specifického odtoku podzemní vody
< 0,5	I	nepatrný
0,5-1	II	velmi nízký
1-2	III	nízký
2-3	IV	střední
3-5	V	zvýšený
5-7	VI	vysoký
7-10	VII	velmi vysoký
> 10	VIII	extrémně vysoký

7-10 a více

specifický odtok podzemní vody kolísá v rozmezí dvou nebo více výše vymezených stupňů;

barvou a čísly se vyjadřuje velikost největších a nejmenších hodnot

(3-5)

specifický odtok stanoven na základě analogie (nižší věrohodnost stanovení specifického odtoku)

B) Dlouhodobý koeficient odtoku podzemní vody

(podíl odtoku podzemní vody a srážek v %)

15

izolinie koeficientu odtoku podzemní vody

10

dto předpokládané

3-7

40

v oblastech s výrazným kolísáním hodnot koeficientu odtoku podzemní vody není použito izolinií; střední hodnota koeficientu číselně uvedená pod údajem o výši specifického odtoku podzemní vody platí pro území, znázorněné na mapě určitou barvou (stupněm specifického odtoku podzemní vody), popř. pro část tohoto území

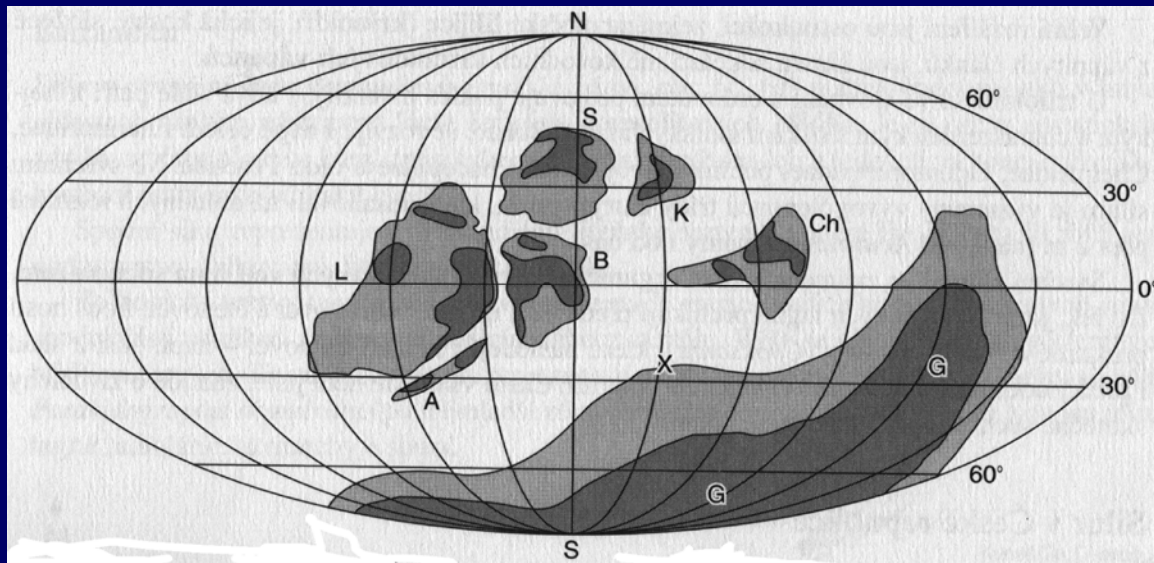
Při regionálně-hydrogeologických úvahách bývá nezbytné zahrnout časová hlediska – mnohdy velmi dlouhá období v geologických časových měřítcích.

Některé podzemní vody vznikaly ve velmi vzdálených hydrogeologických obdobích.

Příklady časových intervalů hydrogeologických procesů

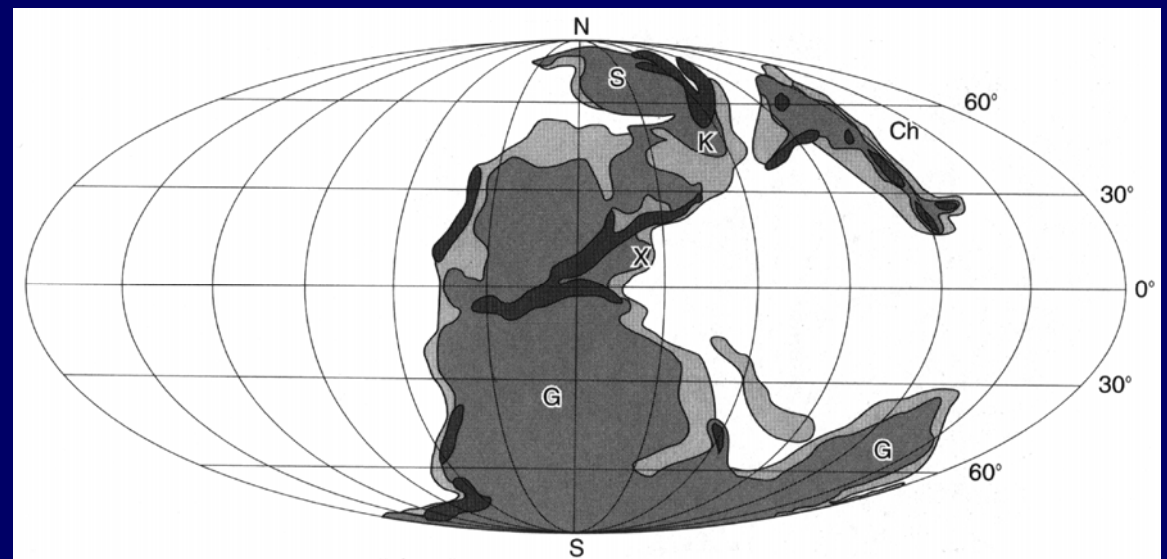
- **minuty - hodiny:** změny hladiny (piezometrického povrchu) podzemní vody v důsledku čerpání z blízkých vrtů, vzájemné hydraulické ovlivnění blízkých vrtů
- **hodiny - dny:** ovlivnění piezometrického povrchu napjaté zvodně v důsledku hydraulických zásahů i do několikakilometrových vzdáleností
- **až týdny - měsíce:** kolísání volných hladin freatických zvodní či podzemního odtoku v důsledku sezónních změn infiltrace ze srážek, projevy kontaminantů přenášených prouděním podzemní vody z nepříliš vzdálených zdrojů znečištění
- **až roky - desetiletí:** regionální projevy nadměrného využívání podzemních vod v rozsáhlých zvodněných systémech, projevy kontaminace v důsledku přenosu advekci v rozsáhlých zvodněných systémech či procesů gravitačního šíření kontaminantů
- **staletí, tisíciletí i delší období:** doba pohybu podzemní vody od infiltračních oblastí k zónám drenáže v rozlehlých zvodněných systémech (v hydrogeologických pánvích i masivech) = doba zdržení
- **milióny, desetimilióny, popř. až stamilióny let:** stáří synsedimentárních (reliktních) či postsedimentárních vod, obvykle v současné době hluboko se nacházejících solanek exogenního (alochtonního) původu

**Užitečnost paleogeografických,
paleoklimatických a
paleohydrogeologických
analýz**



Pozice území
současného
Českého masívu v
různých
geologických
obdobích (Chlupáč
et al. 2002)

Paleogeografie během siluru



Paleogeografie během permu

Převládající klima v současné střední Evropě během geologické historie (podle Schwarzbacha 1974)

Geologická období

MA BP

Teplota

Klima-srážky

Terciér

65

Nejdříve **velmi teplo** (subtropy),
postupně chladněji

V některých územích
a obdobích **aridní**

Křída

141

Teplo

Spodní křída vlhko

Jura

195

Svrchní jura **velmi teplo**,
spodní jura chladněji

Spodní jura vlhko

Trias

225

Velmi teplo

Větš. **aridní** až **velmi aridní**;
svrchní Keuper vlhčí

Perm

280

Velmi teplo

Nejdříve v někt. územích vlhko,
později **aridní** a **velmi aridní**

Karbon

345

Velmi teplo

Vlhko

Paleoklimatické podmínky určovaly během geologické historie vznik a chemické složení vod; vznikaly také slané vody, jako je běžné **za současných aridních podmínek.**

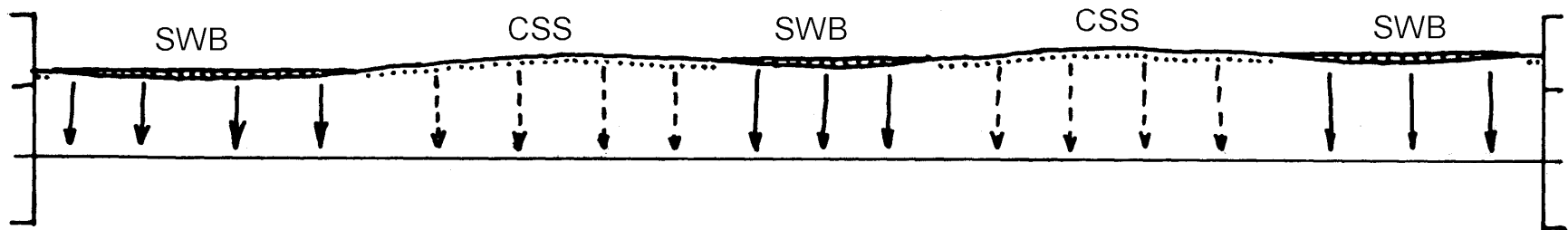
Solanky pak pronikaly díky své větší hustotě do větších hloubek (“gravity driven flow“) a v závislosti na paleohydrogeologickém vývoji se mohly zachovat v různých místech našeho území.

Příklad povariského paleohydrogeologického vývoje střední Evropy od svrchního Paleozoika po současnost.

V Českém masívu přísluší celé toto ca 300 MA dlouhé období jedinému paleohydrogeologickému cyklu se 3 hlavními etapami:

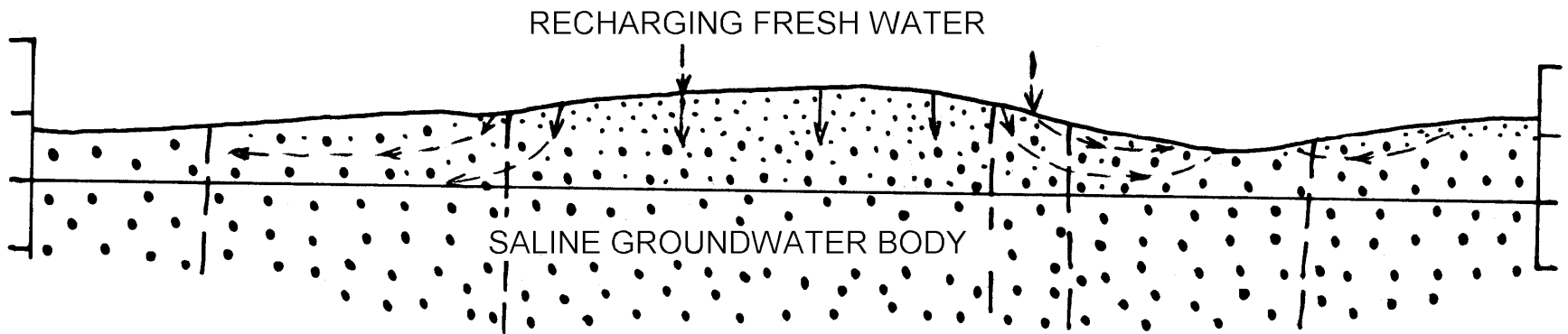
- 1. Akumulační etapou**
- 2. Vyluhovací etapou**
- 3. Antropogenní etapou**

a)



Akumulační etapa

b)



Vyluhovací etapa

Současná - antropogenní (recentní) etapa

Ač velmi krátká ve srovnání s předchozími etapami, představuje **nejdramatičtější změnu v přírodních podmínkách proudění podzemní vody v celém povariském období.**

Odběry prostých podzemních a minerálních vod a nejrůznější další lidské aktivity v mnoha územích výrazně zrychlily proudění podzemních vod.

Pokud vyloučíme z pohledu člověka jako hlavního uživatele vodních zdrojů evidentně negativní kvantitativní a kvalitativní dopady lidské činnosti na podzemní vody, objevuje se otázka, jak bychom se měli posuzovat dlouhodobé projevy antropogenní etapy na podzemní vody a jaký vývoj těchto změn je možno očekávat v budoucnosti.

**DĚKUJI
ZA POZORNOST**

Jiří Krásný

