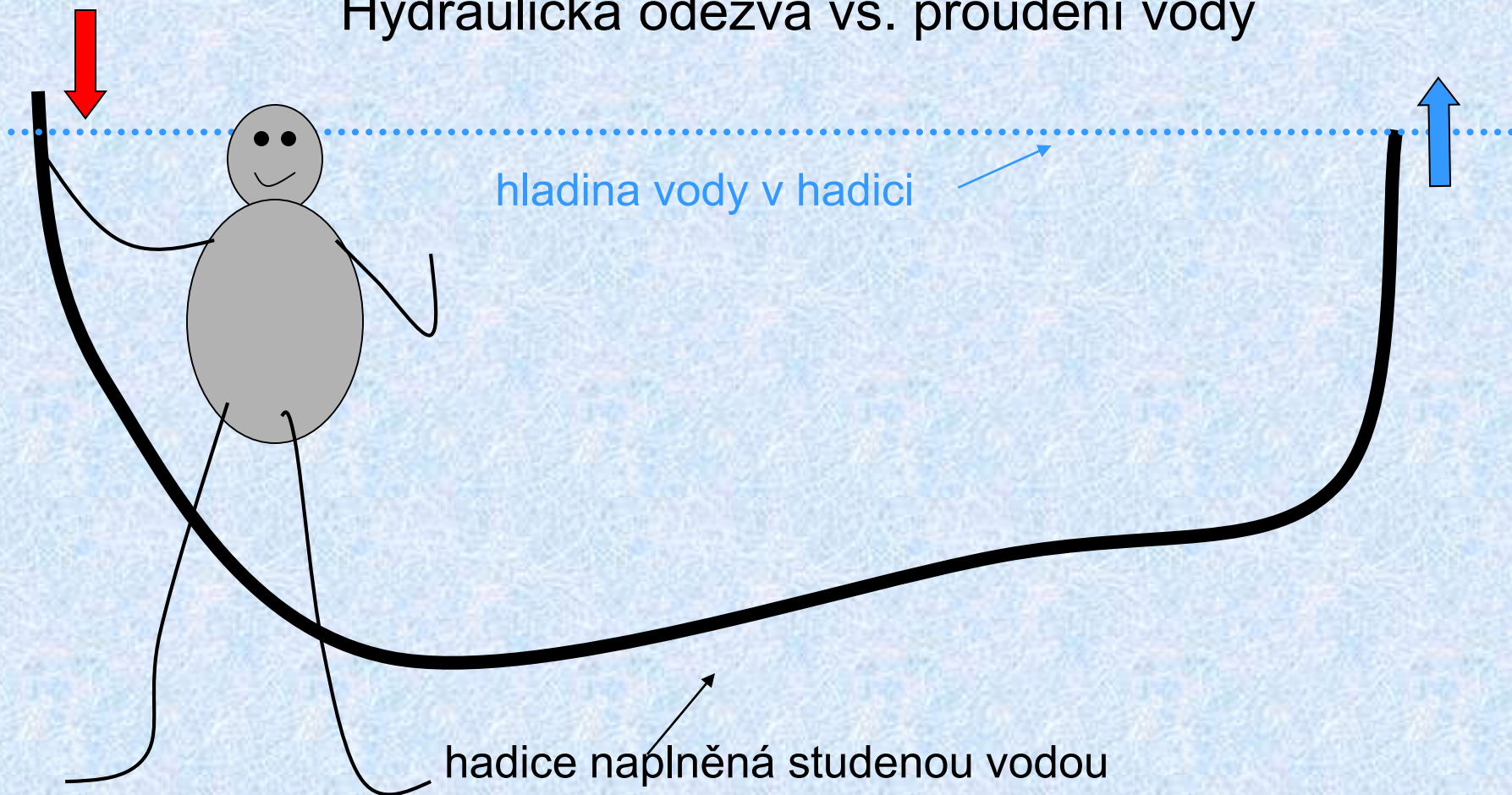


Původ vody a doba zdržení vod pod zemským povrchem

Jiří Bruthans



Hydraulická odezva vs. proudění vody



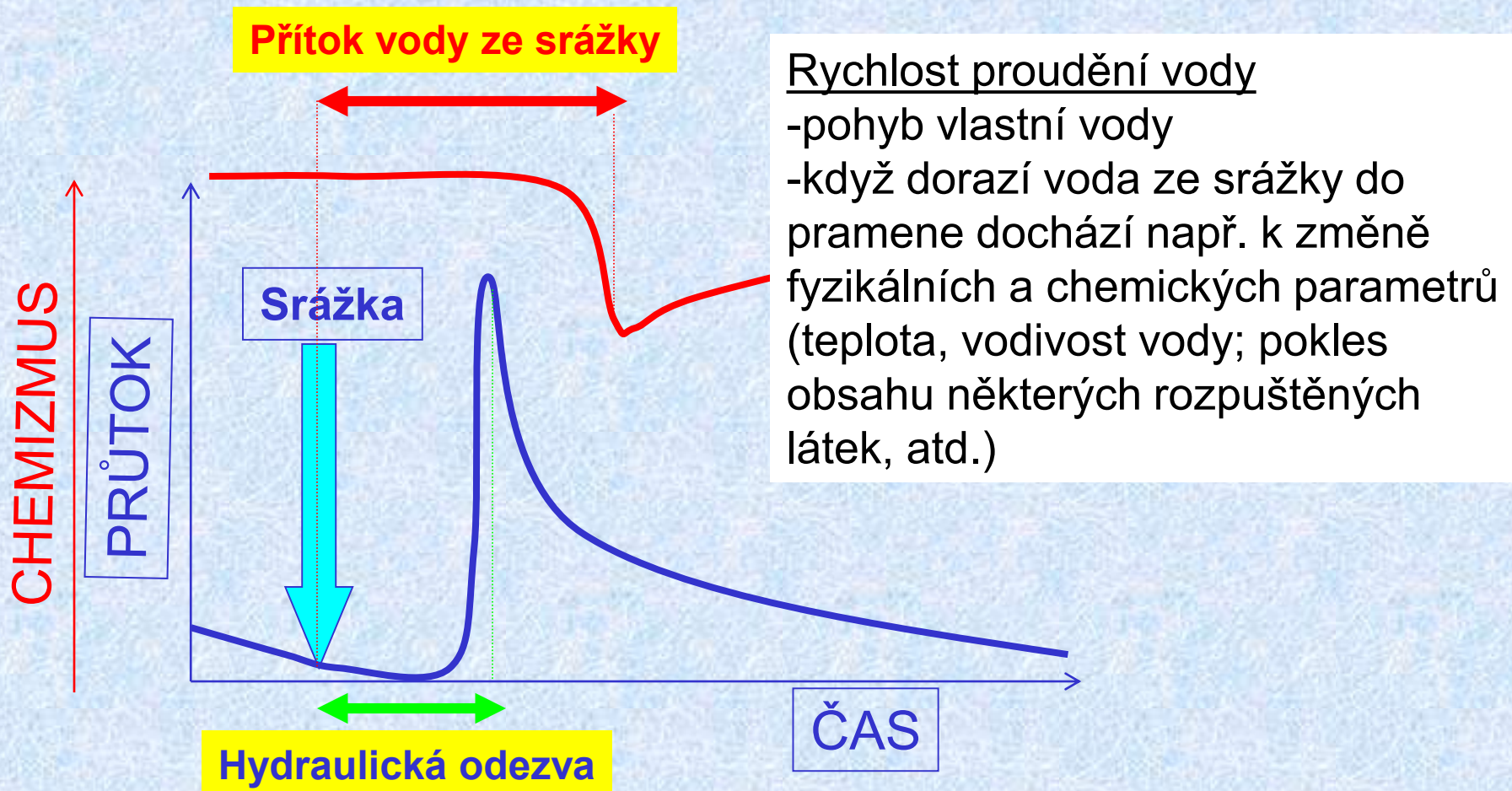
přilítí teplé vody do levého konce hadice vytlačí trochu studené vody z pravého konce hadice
hydraulický vzruch se šíří celou hadicí, částice vody se posunou vždy jen o pár centimetrů

Šíření hydraulické odezvy vs. šíření částic vody

Rychlost šíření tlakové změny

-nemá přímý vztah k šíření vlastních částic vody, šíří se často řádově rychleji než vlastní voda (až rychlostí zvuku ve vodě) **$D=T/S$**

-př: reakce průtoku pramene na srážku, pokles hladiny ve studni vlivem čerpání na sousedním vrtu



Stopovač

- látka, která se používá k sledování pohybu vody v horninovém prostředí a tocích (obecně jakékoli látky v prostředí)
- stopovač musí mít velmi obdobné chování jako zájmová látka
- konzervativní stopovač by neměl reagovat, rozpadat se, sorbovat se atd (jako voda).

dělení stopovačů vychází ze **způsobu jak se dostávají do prostředí:**

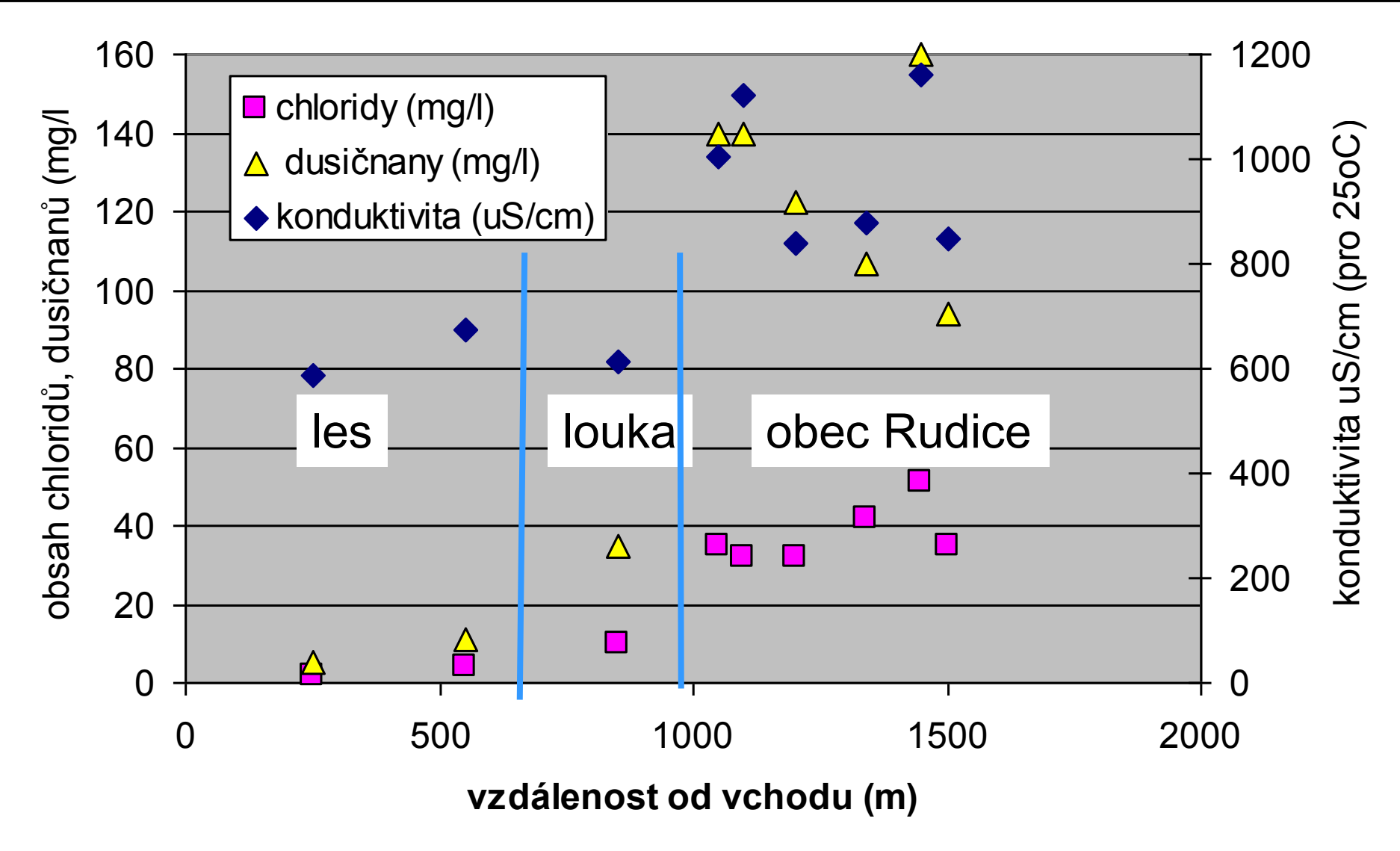
Environmentální stopovače (stopovače prostředí)

- do zájmového prostředí se dostávají necíleně, obvykle přírodní cestou (např. se srážkovou vodou)
- mohou být přírodního nebo umělého původu (tritium vzniklém v atmosféře kosmickým zářením, nebo termionukleárními výbuchy, freony rozpuštěné v půdní vodě)
- vstupují obvykle plošně přes velké plochy území

Stopovací zkoušky

- cílená injektáž stopovače za účelem sledování jeho pohybu do podzemí a sledování jeho pohybu
- injektovány obvykle bodově či v linii (velmi malá plocha) jednorázově či opakovaně (bodově v čase)

Environmentální stopovače chloridy a dusičnany. Jejich množství ukazuje zda je voda z lesa či pole/obce; Vody odtékající z nenasycené zóny v hloubce 150 m do jeskyně Rudické propadání:



Poříční jímací systém v Káraném (pitná voda pro část Prahy)

pěstování zeleniny, intenzivní hnojení

jímací studny, zatravnění

pěstování zeleniny, intenzivní hnojení



10 m

linie jímacích studní

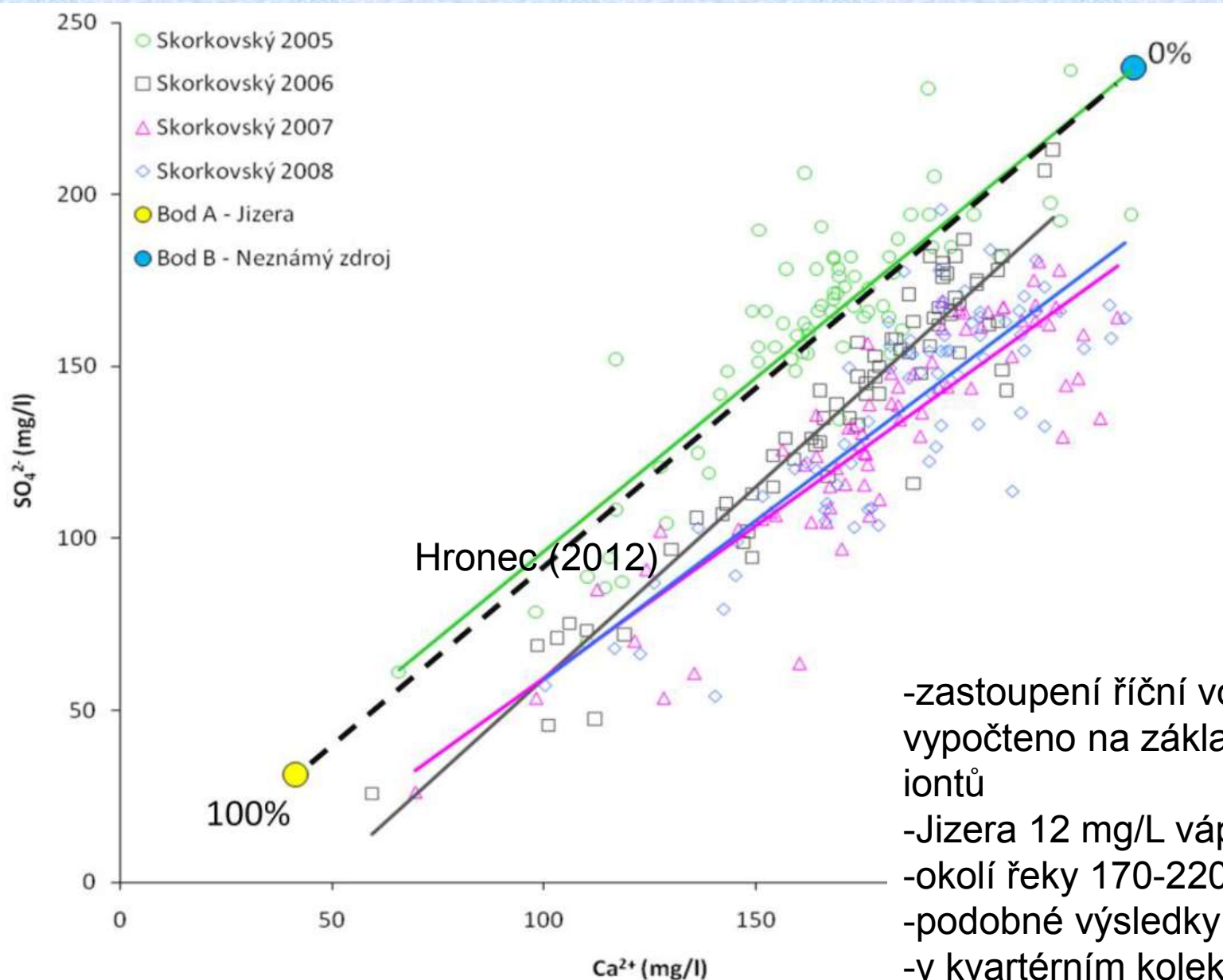
10 m



-sběrné potrubí, study svedeny násoskou

- 659 studní podél řeky Jizery a Labe
- celková délka 26 km (u Jizery od soutoku pod Dražice u Benátek)
- průměrně 250 m od Jizery
- zelinářská oblast, intenzivní hojení

-mísící linie pro studny Skorkovského jímacího řadu



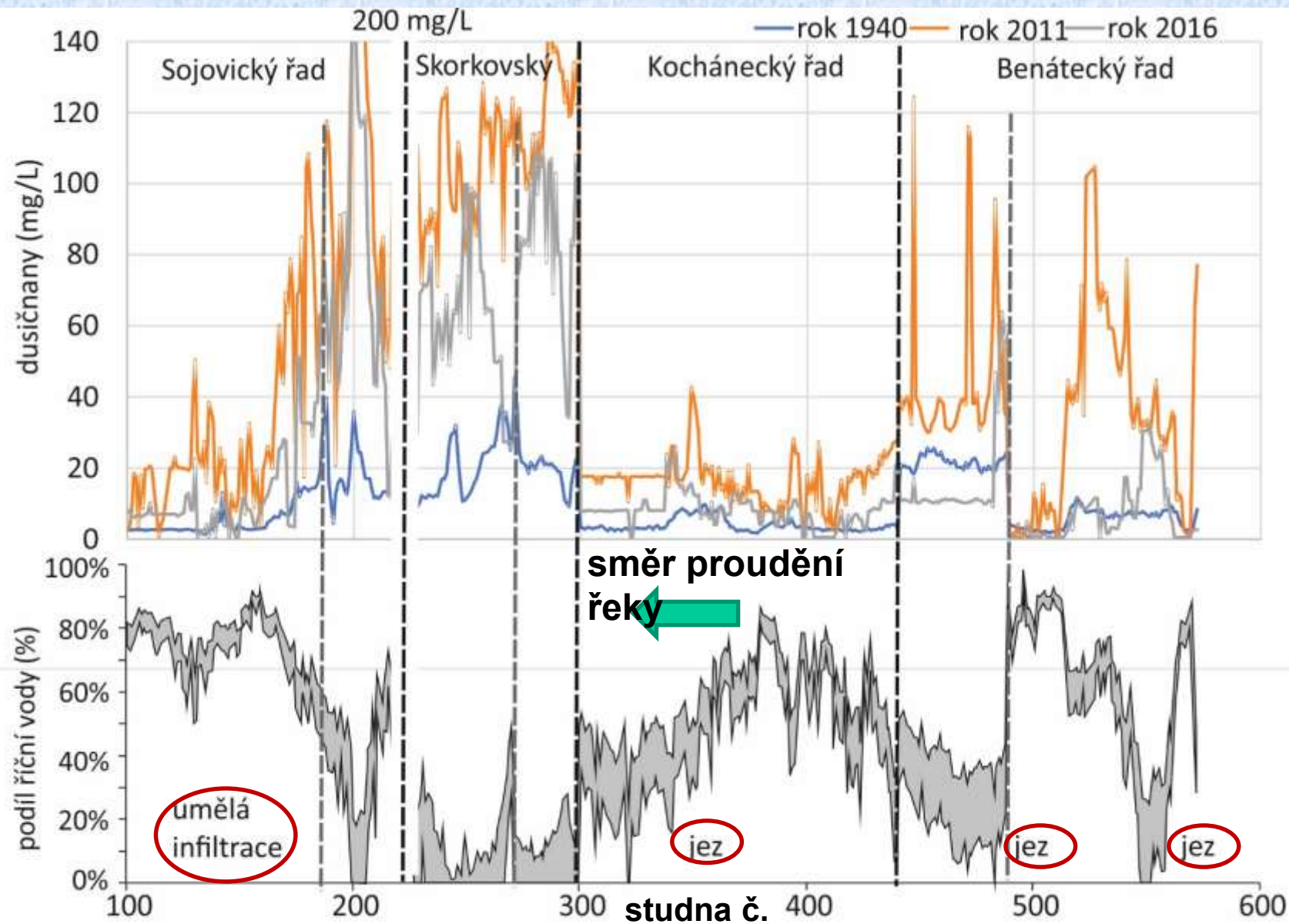
-zastoupení říční vody bylo vypočteno na základě obsahu Ca^{2+} iontů

-Jizera 12 mg/L vápníku

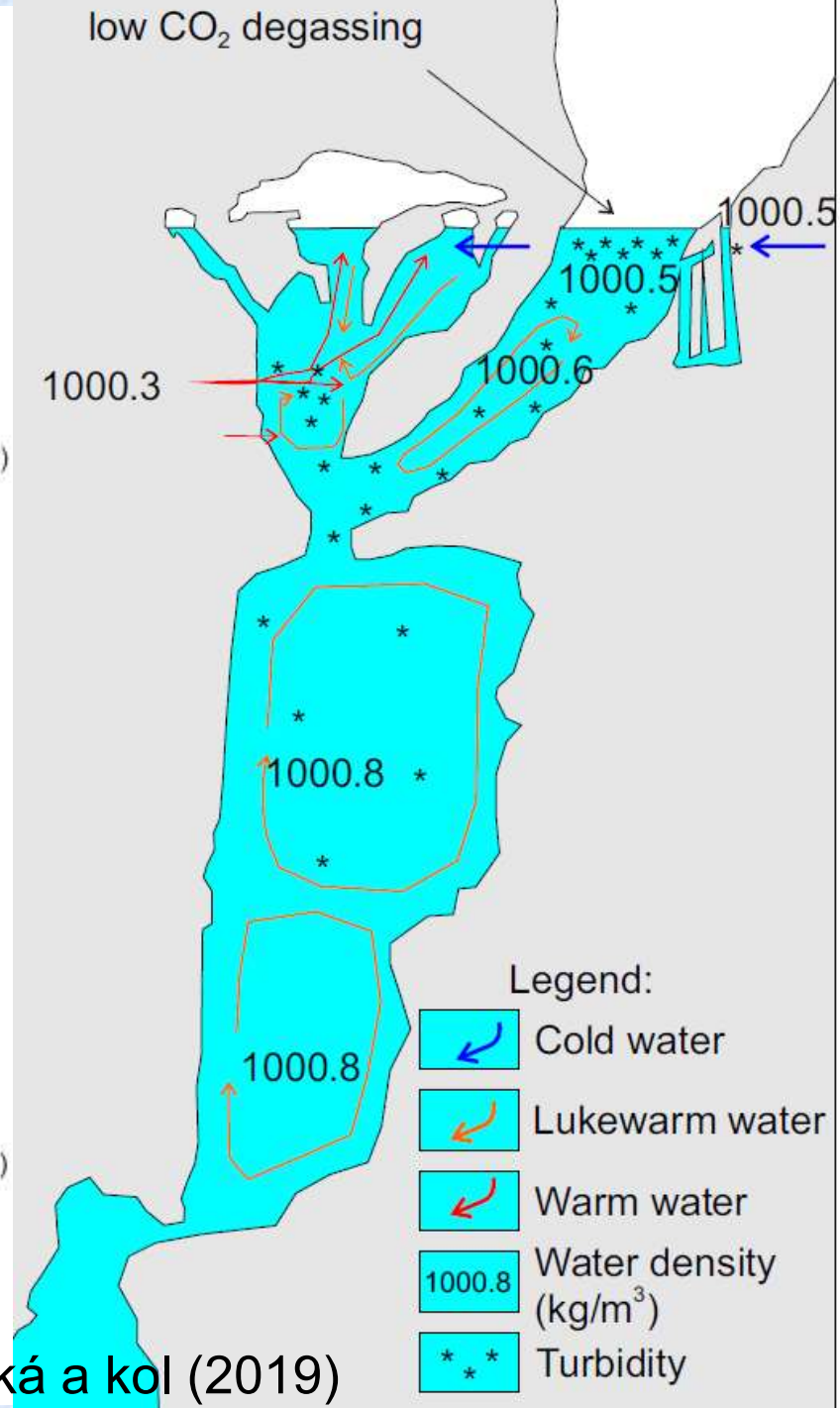
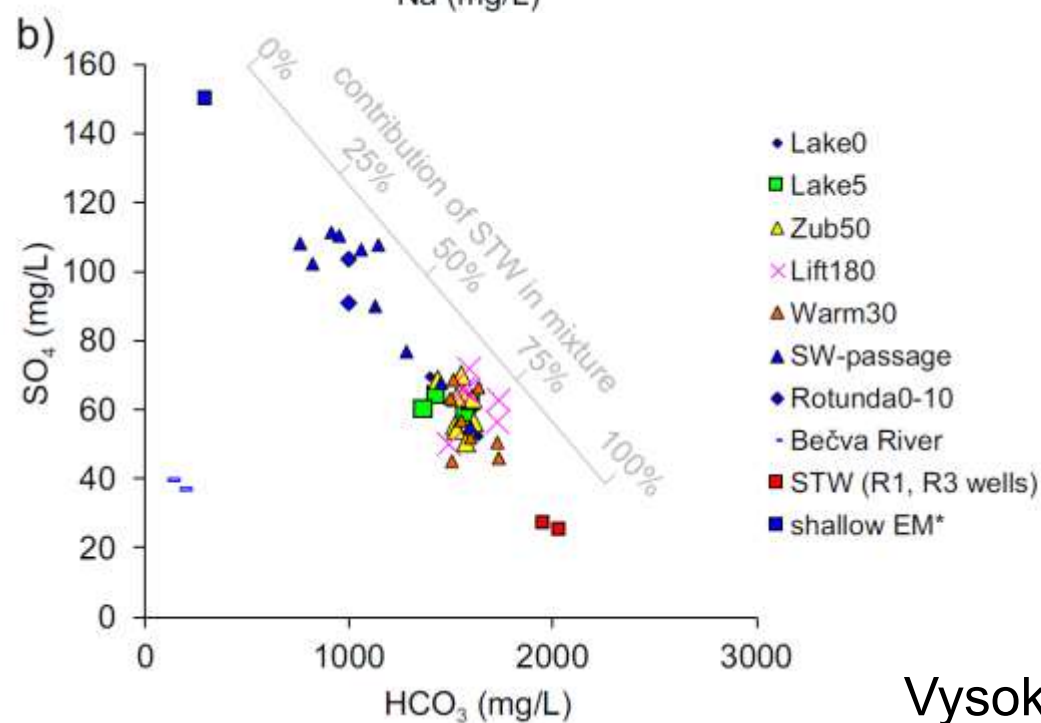
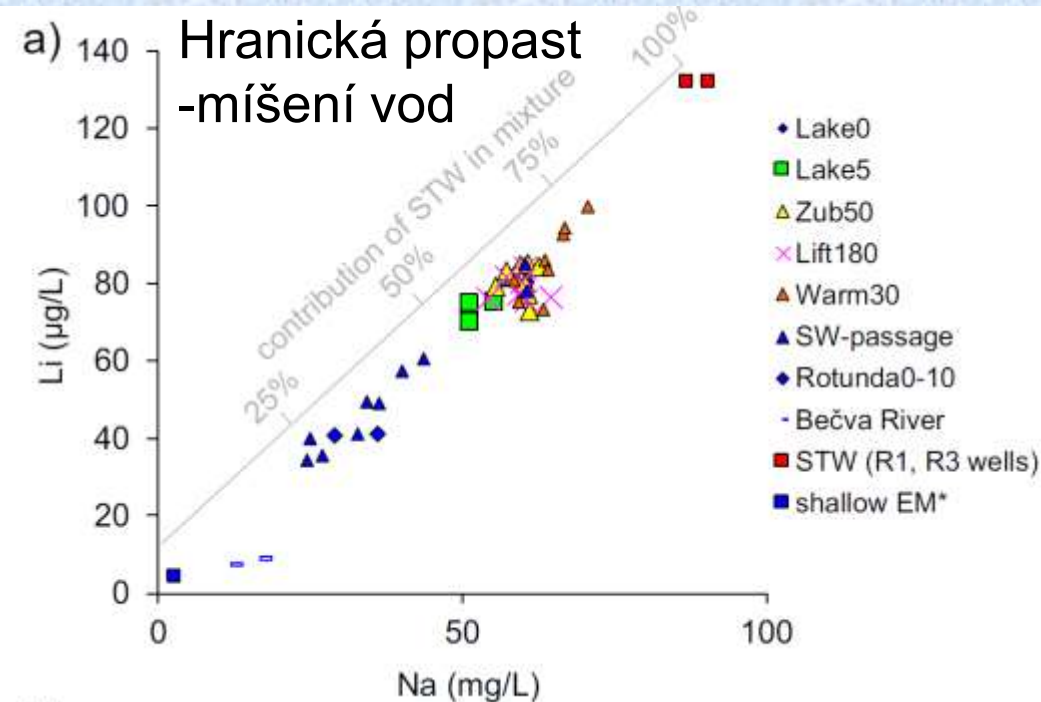
-okolí řeky 170-220 mg/L vápníku

-podobné výsledky ze síranů

-v kvartérním kolektoru nejsou přítomny karbonáty, Ca by se neměl uvolňovat



- koncentrace dusičnanů v studnách v letech 1940, 2011(vysoký) a 2016 (nízké)
- srovnání se zastoupením říční vody
- vysoké zastoupení říční vody je tak kde: umělá infiltrace, vzduť jezy



-izotopy jsou různé formy téhož prvku, lišící se počtem neutronů v jádře a tím i atomovou hmotností

-dělí se na stabilní (^2H , ^{13}C , ^{15}N , ^{18}O , ^{34}S) a radioaktivní (^3H , ^{14}C)

-zastoupení stabilních izotopů se měří na hmotovém spektrometru (např. ČGÚ Barrandov); radioaktivní na kapalinovém scintilačním spektrometru (např. PŘFUK)

-koncentrace stabilních izotopů se nevyjadřují v absolutních hodnotách, ale vzhledem ke zvolenému standardu (vystupuje zde poměr těžšího izotopu k lehčímu izotopu) např. $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$

Izotopy ^{18}O , ^2H (stabilní)

-ideální stopovače (součást molekuly H_2O)

-standardem je mořská voda (SMOW)

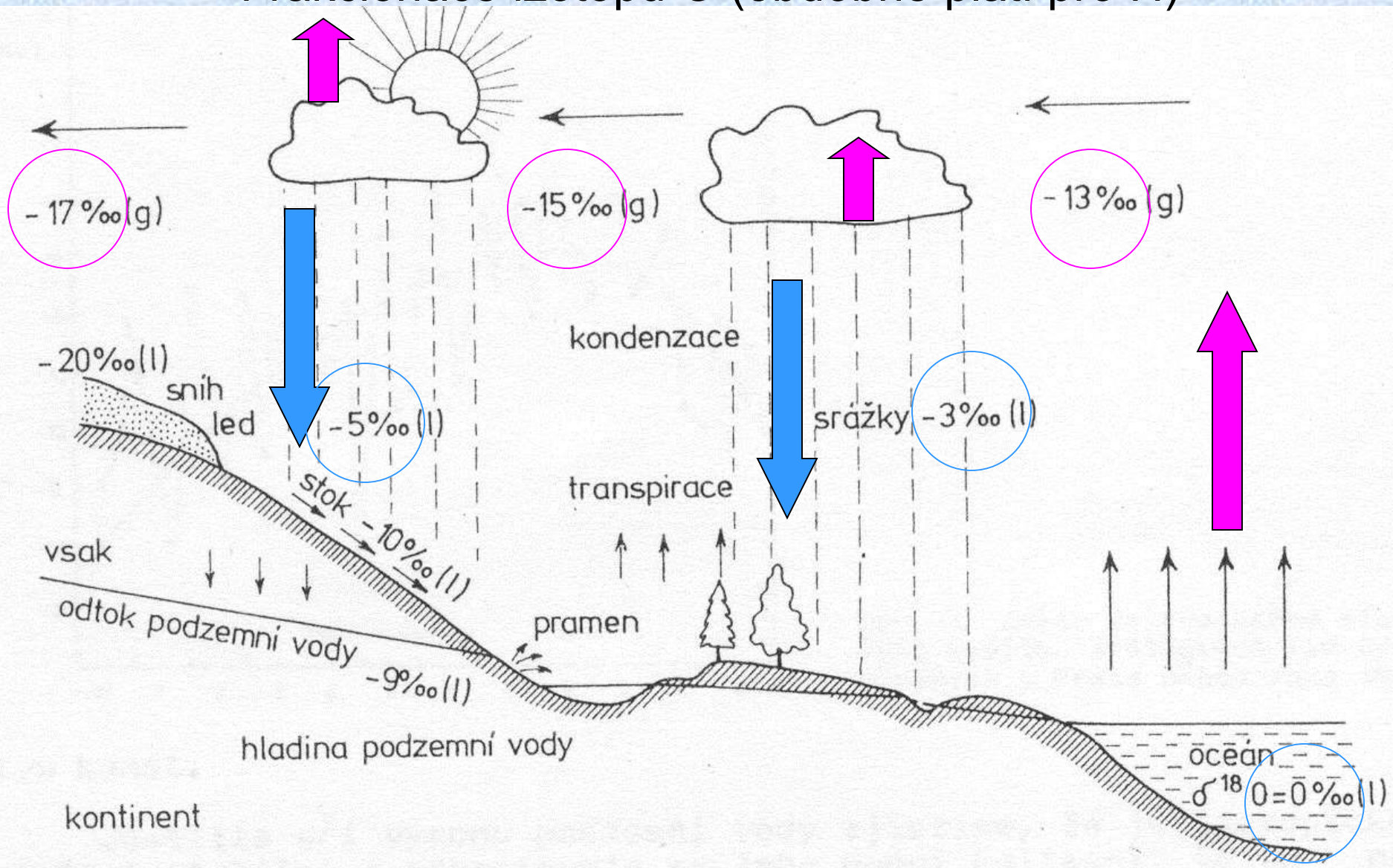
$$\delta^{18}\text{O} \text{ vzorku} = \frac{(^{18}\text{O}/^{16}\text{O} \text{ vzorku}) - (^{18}\text{O}/^{16}\text{O} \text{ standardu})}{(^{18}\text{O}/^{16}\text{O} \text{ standardu})} * 1000 (\text{‰})$$

-při geochemických procesech se izotopové složení mění (frakcionace)

-při výparu zůstává těžší izotop ve vodě a lehčí izotop přechází do páry

-při reakcích katalyzovaných bakteriemi přechází lehčí izotop do produktů a těžší izotop zůstává v reaktantech

Frakcionace izotopů O (obdobně platí pro H)



Obr. 1 Frakcionace izotopů kyslíku při modelovém hydrologickém oběhu vody
Buzek, 1987



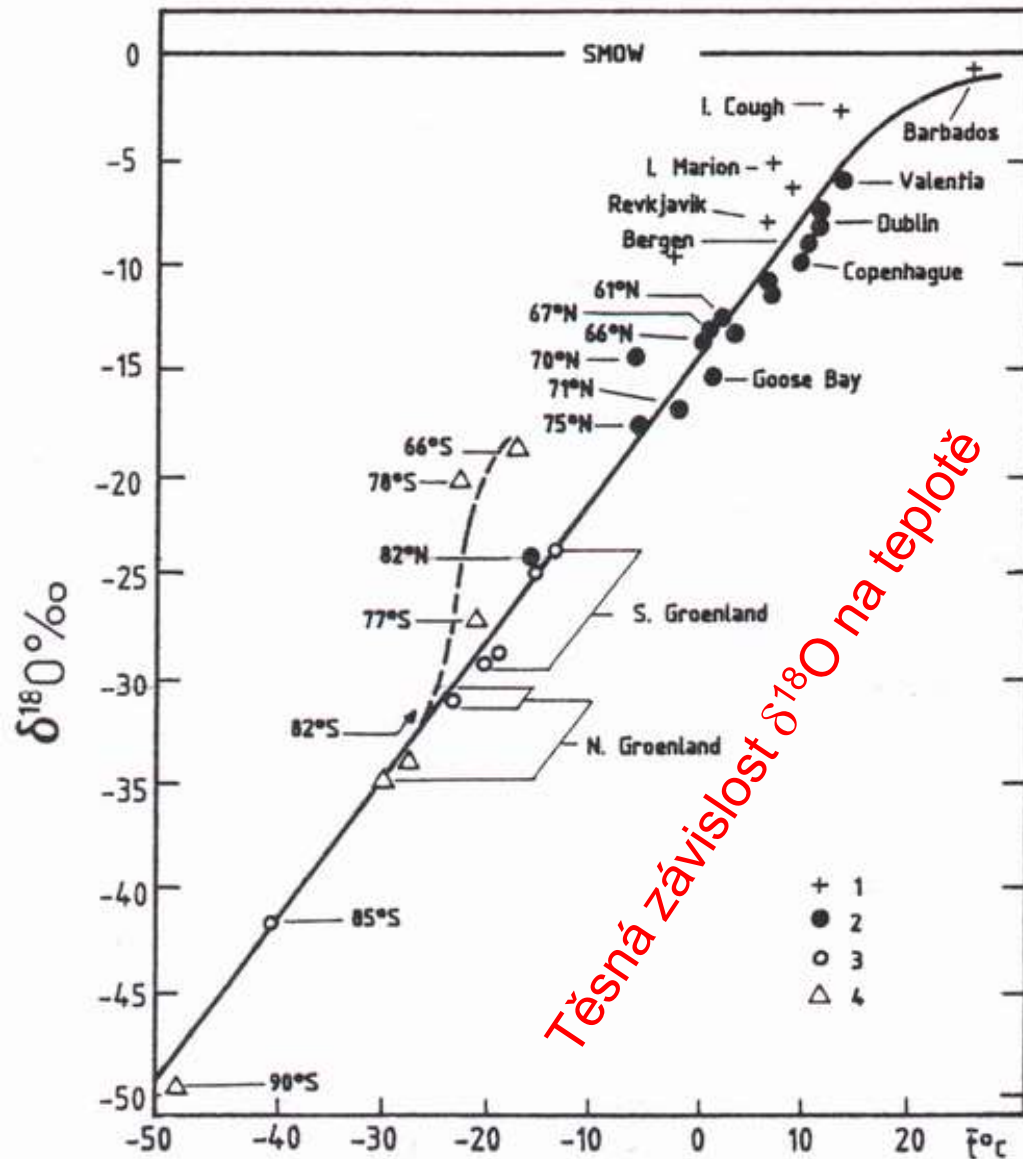
Fig. 16.13. Isolines of equal $\delta^2\text{H}$ values of Holocene groundwater in Europe and those of Pleistocene groundwater in North Africa. The isotope pattern reflects direct recharge of groundwater by local rain storms approaching from the Atlantic Ocean [108].

Mook et al 2001

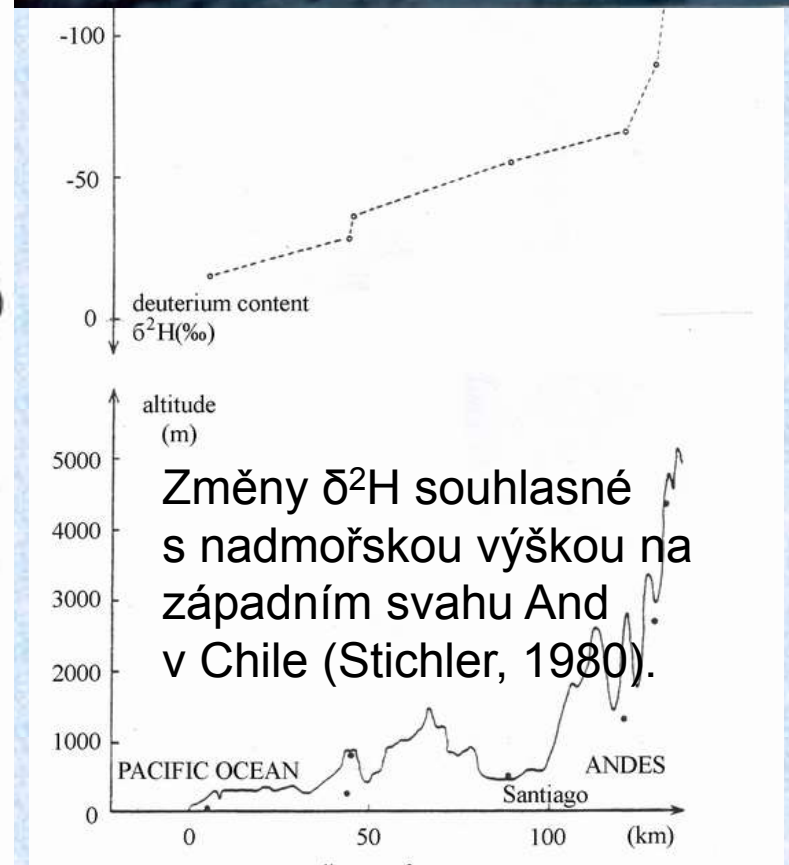
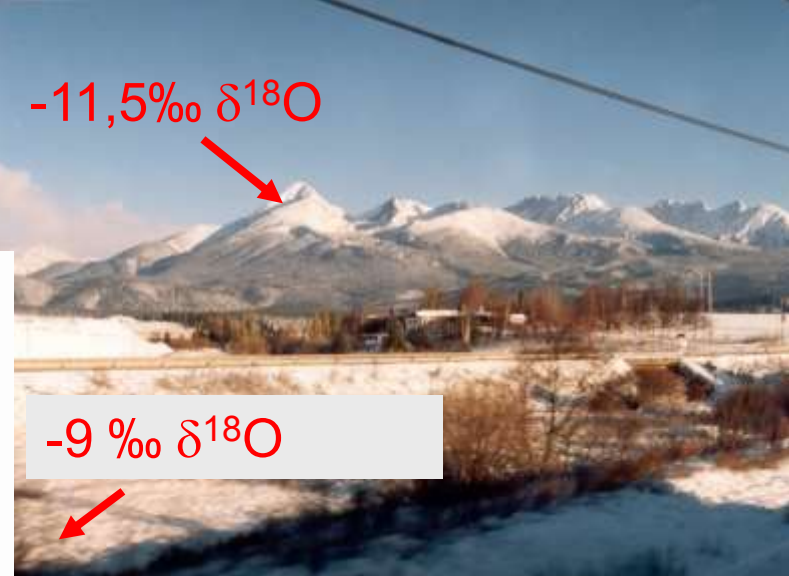
Těsná závislost mezi střední roční teplotou a isotopovým složením kyslíku ve srážkách (Dansgaard, 1964, fide IAEA, 1983, s.21).

-11,5‰ $\delta^{18}\text{O}$

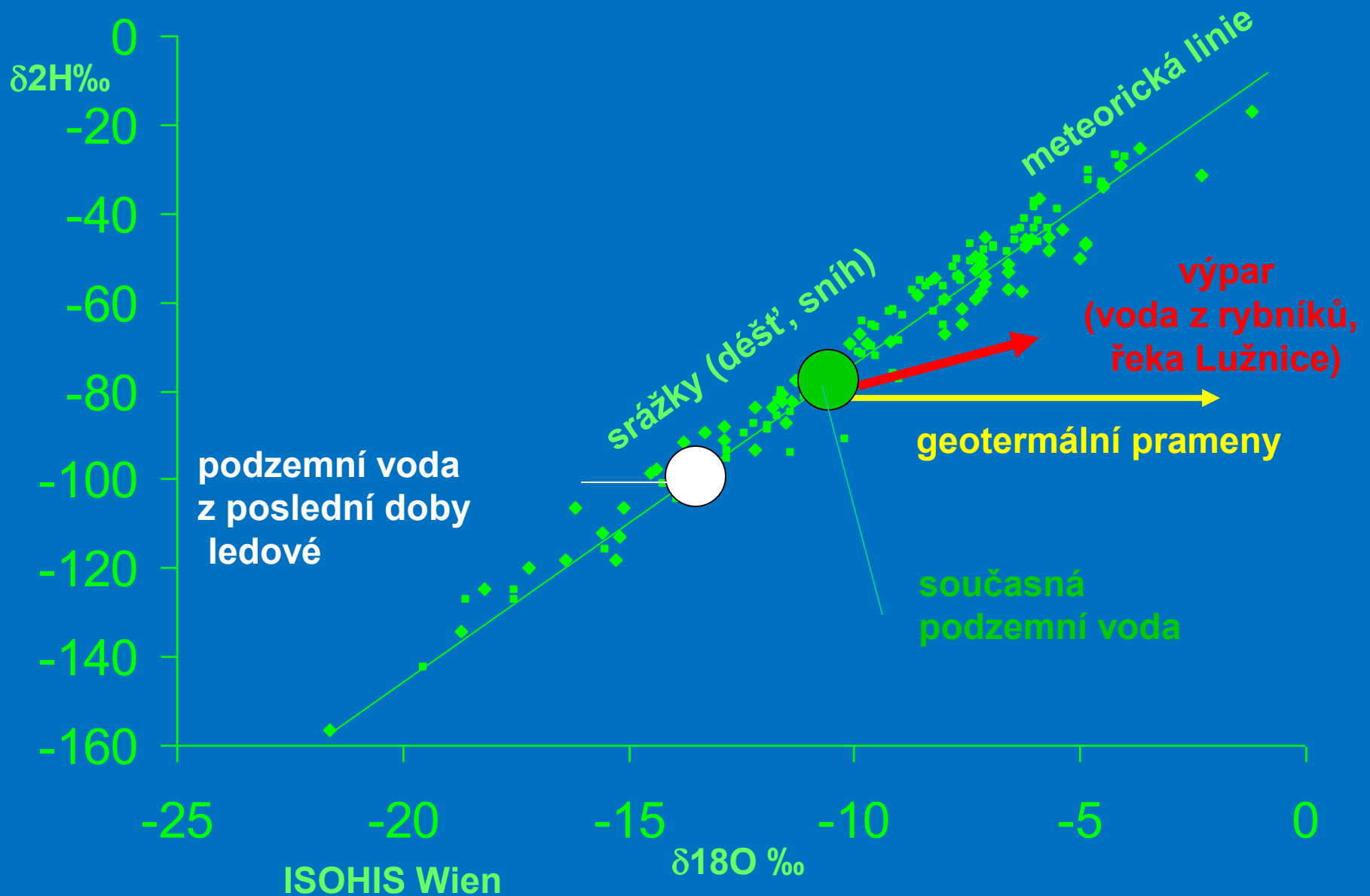
-9 ‰ $\delta^{18}\text{O}$



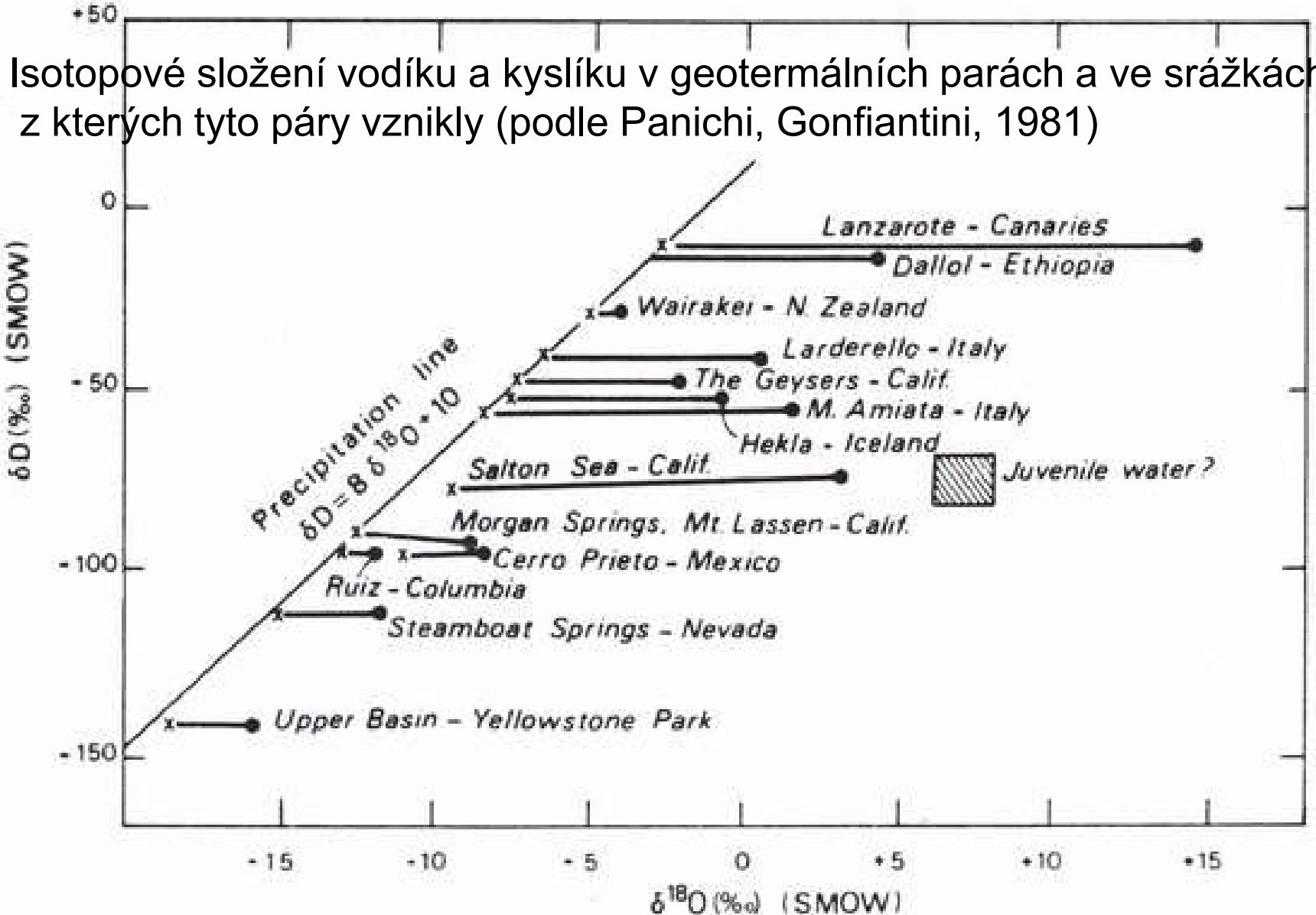
(a)



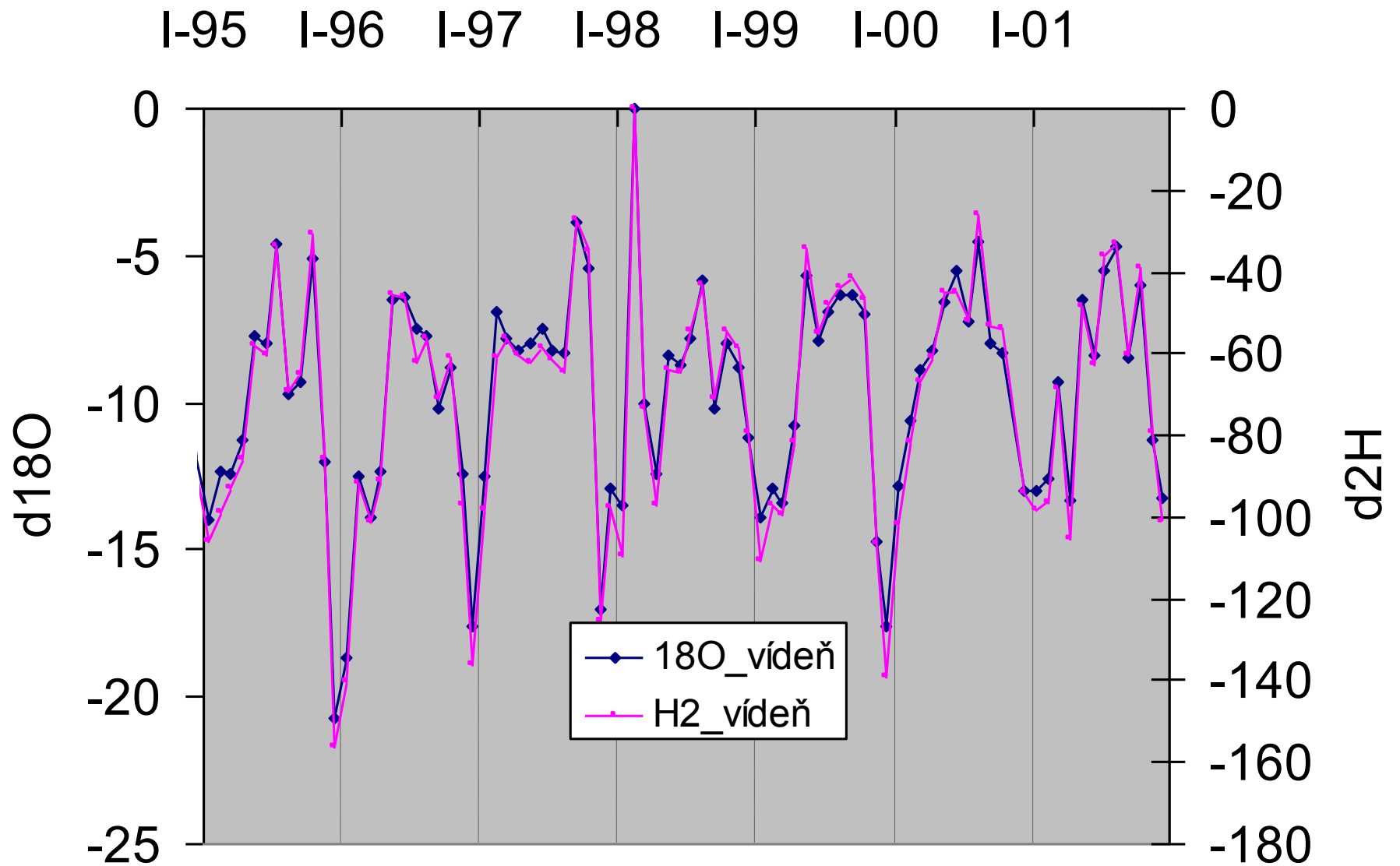
Závislost ^2H na ^{18}O v molekulách H_2O



Isotopové složení vodíku a kyslíku v geotermálních parách a ve srážkách, z kterých tyto páry vznikly (podle Panichi, Gonfiantini, 1981)

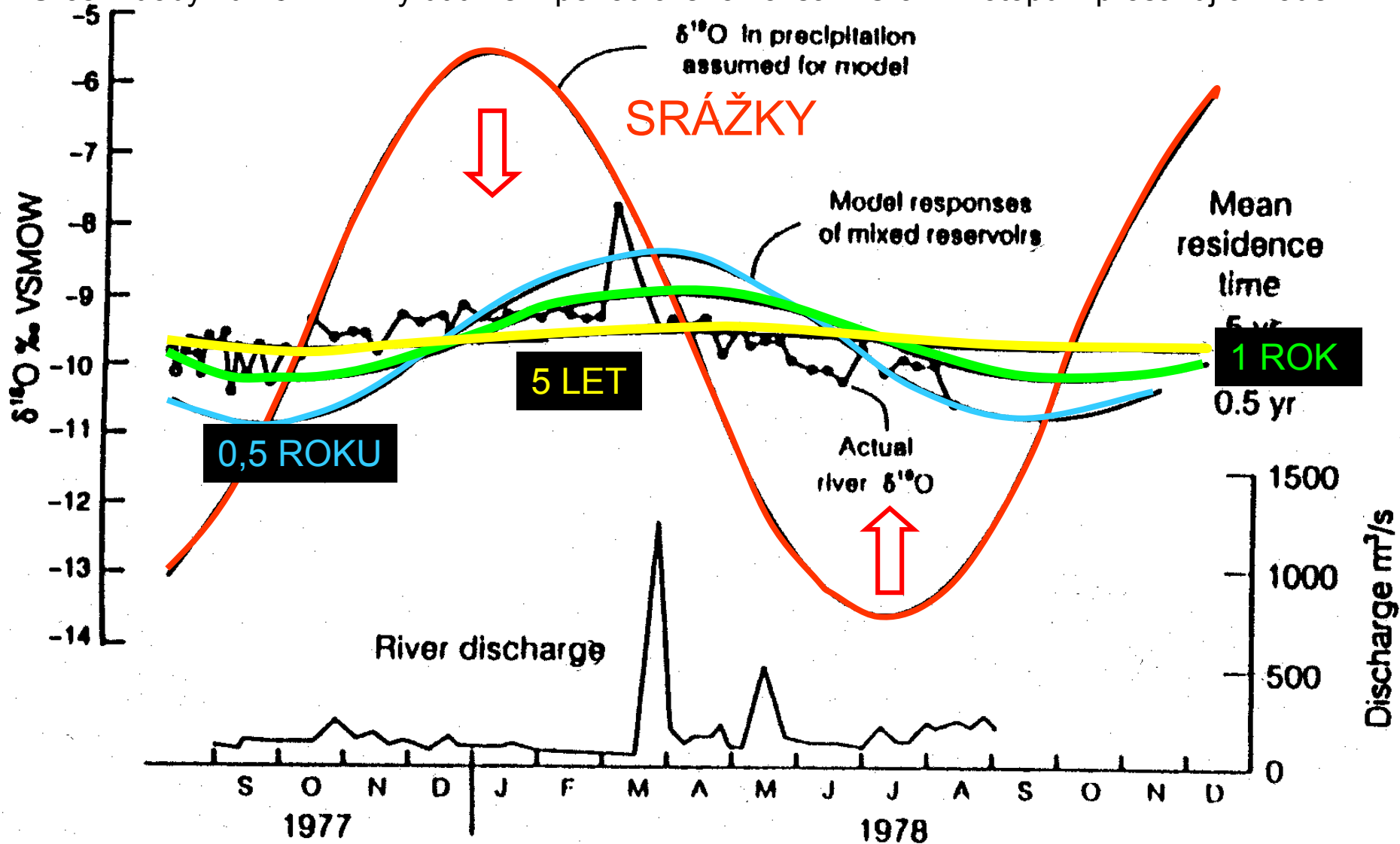


Protože se voda srážek dostává do styku se silikáty hornin, a protože za vysokých teplot nastává isotopová výměna isotopů kyslíku mezi horninou a vodou, posunuje se isotopové složení geotermálních par napravo od světové meteorické čáry srážek, z kterých tyto páry vznikly. Voda horkých pramenů je meteorického původu, nikoli z pláště.



Během roku dochází k oscilaci hodnot $\delta^{18}\text{O}$ a $\delta^2\text{H}$ podle sinusoidy. Lze tak rozeznat vodu ze zimy od vody z léta jak v povrchových tocích tak v podzemní vodě.

Určení doby zdržení z míry utlumení periodického kolísání O a H izotopů v prosakující vodě



-odhad doby zdržení podzemní vody podle $\delta^{18}\text{O}$ vychází ze skutečnosti, že výrazný sinusoidální průběh $\delta^{18}\text{O}$ ve srážkách se s časem stráveným v podzemí utlumuje (disperze a míšení); čím je delší doba zdržení, tím menší kolísání má sledované místo (pramen, tok),

Separace hydrogramu na srážkovou a předsrážkovou vodu

-NESOUVISÍ se separací na podzemní a povrchovou vodu

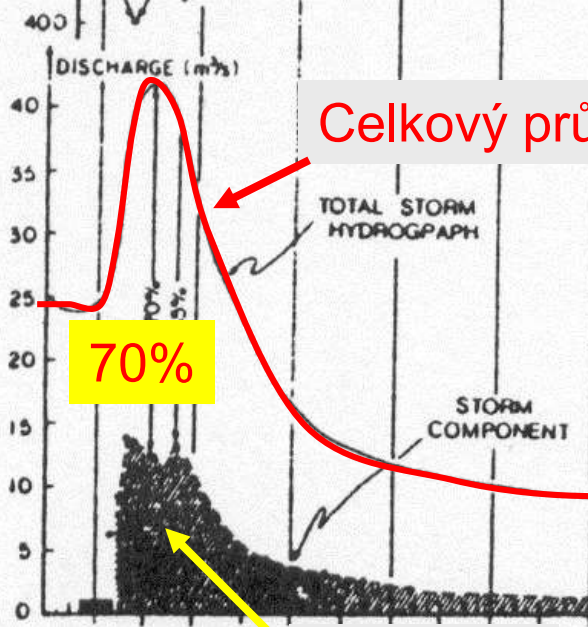
srážková voda je voda ze srážky či tání sněhu, které sledujeme

předsrážková voda je voda, která v povodí toku či pramene byla JIŽ PŘED srážkou

pokud známe izotopové složení srážkové vody a průtok toku (pramene) před srážkou a během srážky, můžeme určit jakou měrou se podílí srážková voda na průtoku toku (pramene)

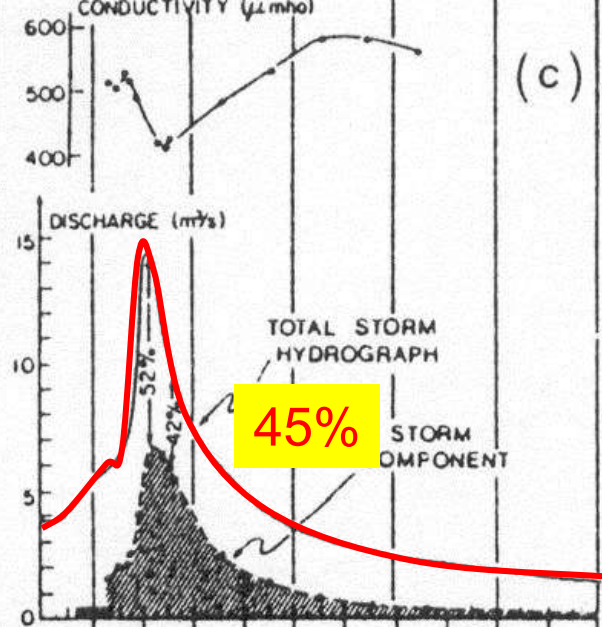
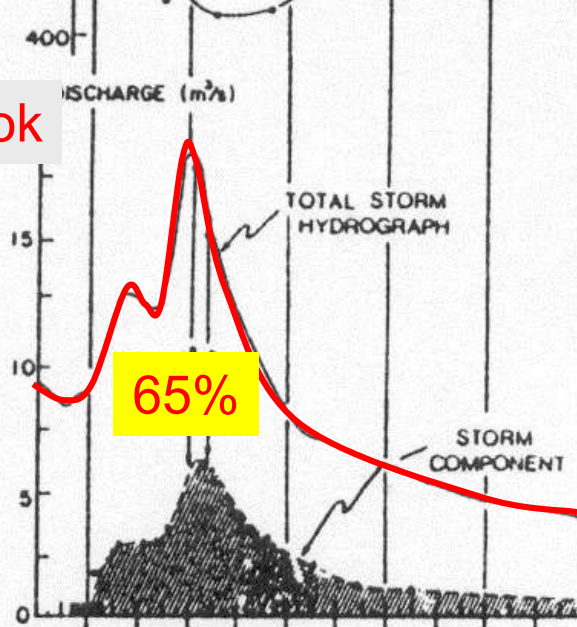
$$\begin{array}{l} Q1 * C1 \\ Q2 * C2 \end{array} \rightarrow = (Q1 + Q2) * C3$$

rovnice:
$$\frac{Q_{\text{SRÁŽKOVÁ}}}{Q_{\text{CELKOVÝ}}} = \frac{\delta^{18}\text{O}_{\text{CELKOVÝ}} - \delta^{18}\text{O}_{\text{PŘEDSRÁŽKOVÁ}}}{\delta^{18}\text{O}_{\text{SRÁŽKOVÁ}} - \delta^{18}\text{O}_{\text{PŘEDSRÁŽKOVÁ}}} \quad (\%)$$

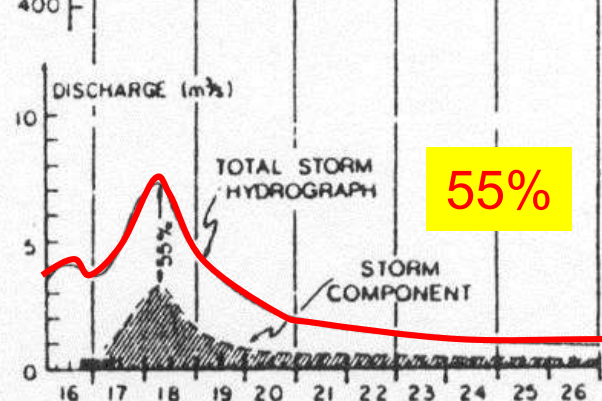
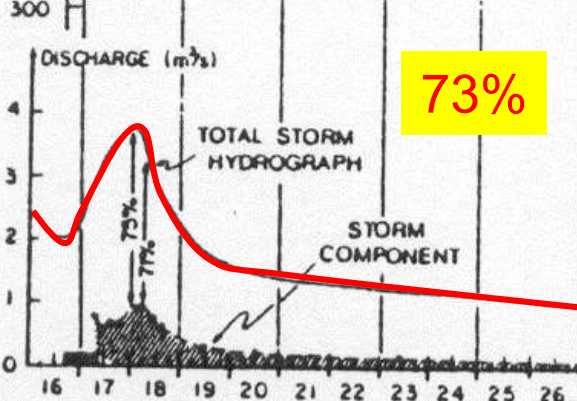
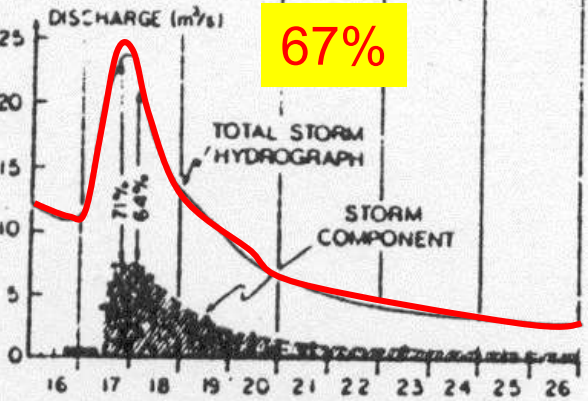
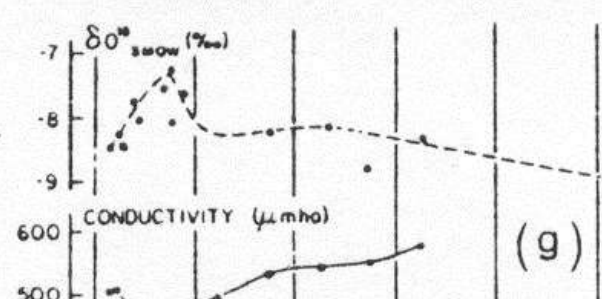
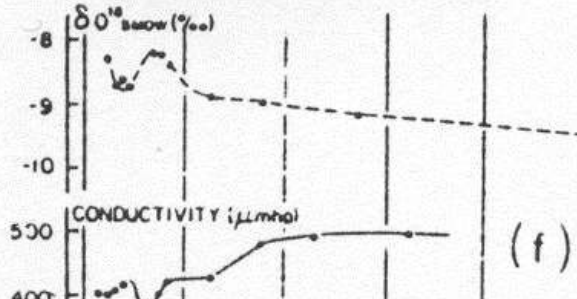
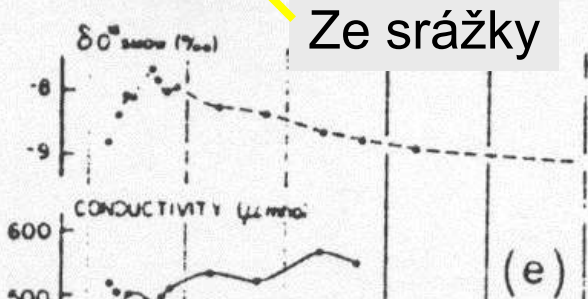


Celkový průtok

Ze srážky



(c)

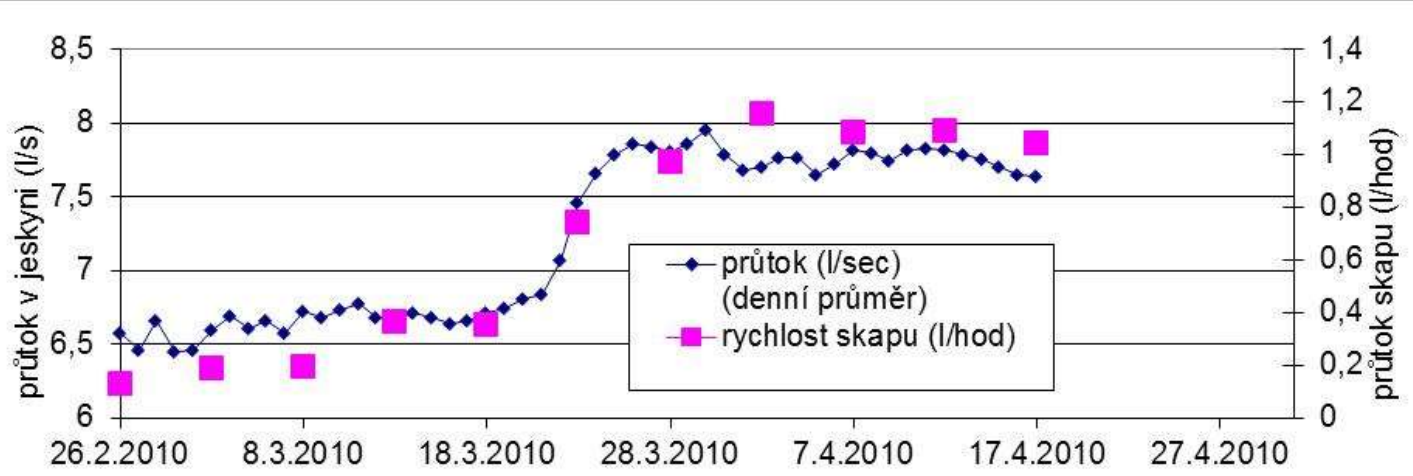


Sklash 1976 Ontario Kanada

MAY 1974

MAY 1974

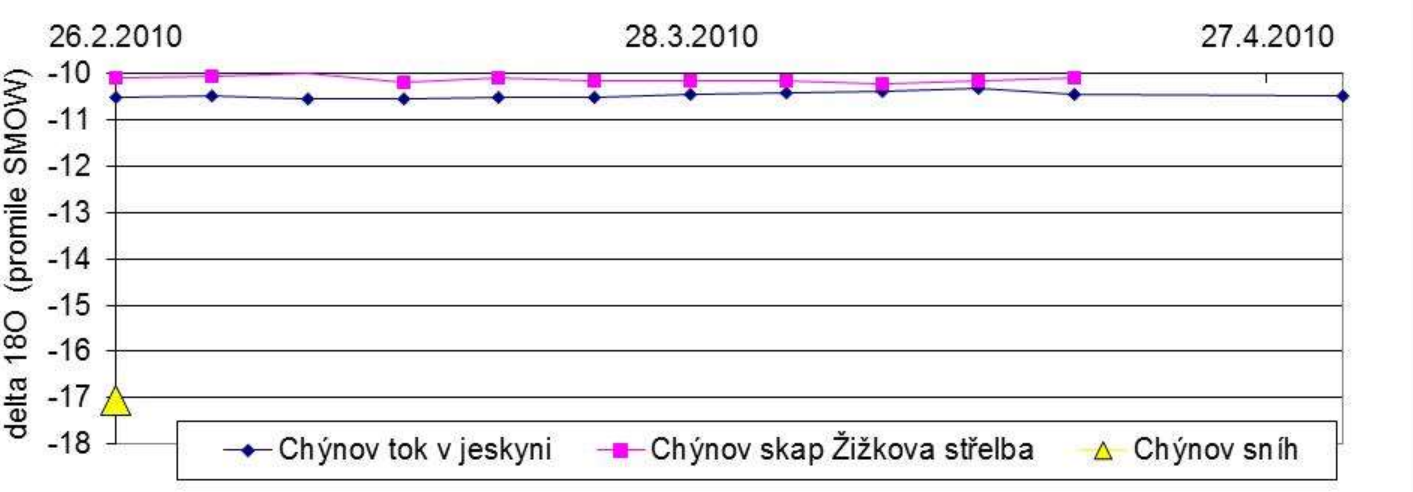
Izotopy kyslíku v H₂O při výrazných srážkoodtokových událostech



-na jaře 2010 nad Chýnovskou jeskyní roztátí sněhu (93 mm vodního sloupce)

- $\delta^{18}\text{O}$ složení sněhu bylo velmi odlišné od složení skapových vod a toku v jeskyni

-lze určit do jaké míry pronikají tavné vody do skapů a toku v jeskyni



-izotopové složení ani skapové vody ani toku v jeskyni se nezměnilo

-tzn. voda z tání sněhu se i při intenzivním tání velkého množství sněhu akumuluje v půdě a epikrasu a **nevniká v množství větším než 5% ani do skapů ani do toku v jeskyni**

Použití ^{18}O a ^2H

PŘÍKLADY VYUŽITÍ

- určení **střední doby zdržení** podzemní vody (z rozdílu signálu $\delta^{18}\text{O}$ ve srážkách a v prameni/vrtu)
- určení **poměru míšení dvou typů vod** o různých koncentracích $\delta^{18}\text{O}$
- určení **nadmořské výšky infiltrační oblasti** (na základě závislosti mezi průměrnou hodnotou $\delta^{18}\text{O}$ a nadmořskou výškou)
- určení **zastoupení vody ze zimní a letní infiltrace** (srovnání průměrného obsahu $\delta^{18}\text{O}$ ve srážkách a v prameni)
- určení a kvantifikace procesů**, kterými voda prošla (výpar, kondenzace, izotopová výměna s minerály - geotermální systémy)
- určení původu vody

Radioizotopy v HG

-počáteční aktivita A_0 látky klesne po čase t na novou aktivitu A , a platí

$$A = A_0 \cdot e^{-\lambda t}$$

kde $\lambda = \ln 2 / T_{1/2}$ je rozpadová konstanta radionuklidu a $T_{1/2}$ je jeho poločas rozpadu

-je-li známa A_0 , A a $T_{1/2}$ daného radionuklidu, lze vypočítat čas t , který uplynul od přerušení doplňování radionuklidu podle vztahu:

$$t = T_{1/2} / \ln 2 \cdot \ln (A_0 / A)$$

-nutnost znalosti A_0 v minulosti

-studiem radioizotopů se zavádí časové měřítko do studia hydrogeologických procesů

Počet uplynulých poločasů rozpadu	Zbývající množství	dtto v exp
0	1/1	$1 / 2^0$
1	1/2	$1 / 2^1$
2	1/4	$1 / 2^2$
3	1/8	$1 / 2^3$
4	1/16	$1 / 2^4$
5	1/32	$1 / 2^5$
6	1/64	$1 / 2^6$
7	1/128	$1 / 2^7$
...
N	$1 / 2^N$	$1 / 2^N$

Radionuklidy tritium (^3H) a radiouhlík (^{14}C)

-v hydrogeologii mají z radioizotopů největší význam



-oba se rozpadají za vzniku záření beta, ta je i měřítkem jejich koncentrace

-dynamická rovnováha: za přírodního stavu se rozpadá tolik atomů ^{14}C a ^3H , kolik se jich stačí v atmosféře vytvořit

-vznikají v atmosféře působením neutronů, vzniklých kosmickým zářením, na atomy dusíku, a to reakcemi

-proto na Zemi bylo více či méně stálé množství ($7,5 \cdot 10^4$ kg radiouhlíku a 3,5 kg tritia)

-dynamická rovnováha byla v padesátých letech 20. století porušena pokusnými výbuchy jaderných zbraní, jimiž se do atmosféry dostala velká množství ^{14}C a ^3H .

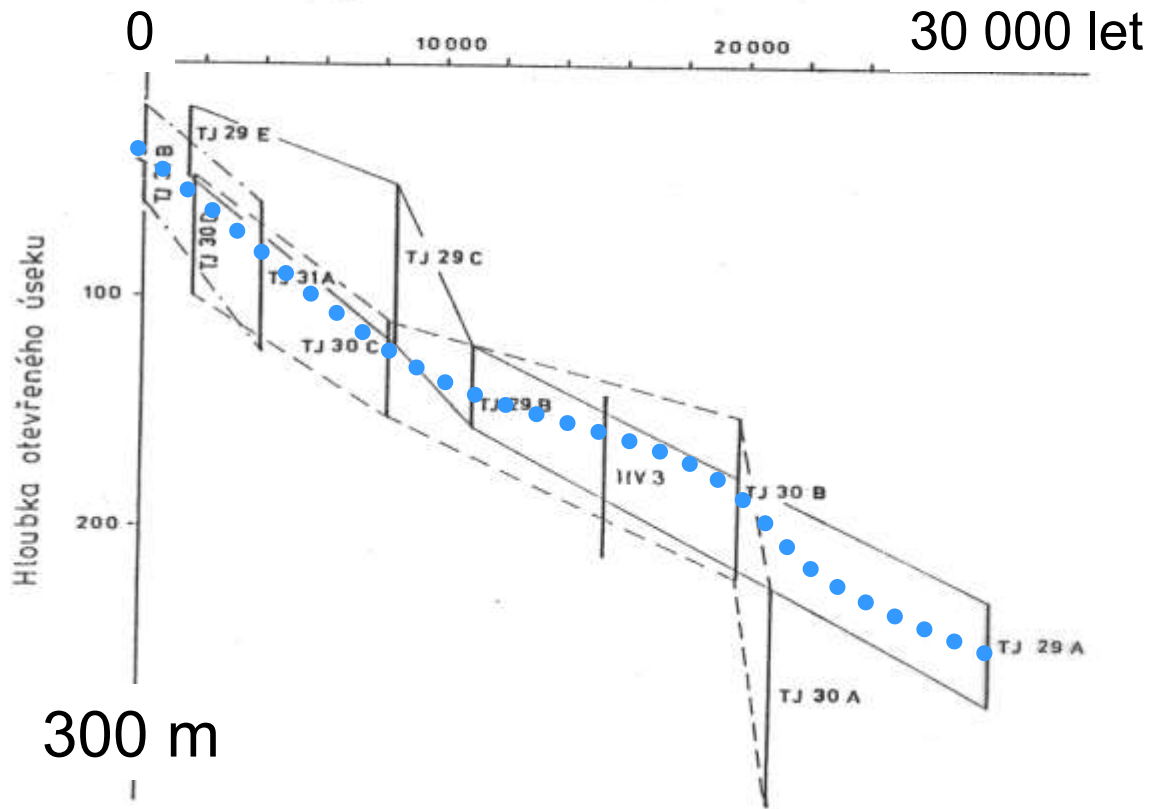
^{14}C

-poločas rozpadu 5 600 let

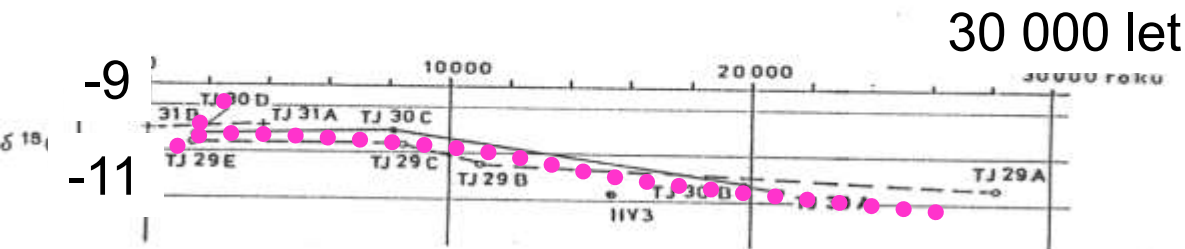
-jakmile voda infiltruje do kolektoru není dále v kontaktu s atmosférou, uhlík ^{14}C se postupně rozpadá a tak jeho podíl k stabilnímu uhlíku (^{12}C) klesá

- hlavní využití uhlíku ^{14}C je datování vod starých řádově tisíce let

a Závislost hloubky otevřeného úseku vrtů pod terénem a radiouhlíkového stáří podzemní vody v jižní části Třeboňské pánve



b Závislost izotopové odchylky $\delta^{18}\text{O}$ a radiouhlíkového stáří podzemní vody ve vrtech v jižní části Třeboňské pánve



„Stáří“ vody v Třeboňské pánvi

^{14}C a $\delta^{18}\text{O}$ byl použit Prof. Šilarem pro určení střední doby zdržení podzemní vody v pánvích v závislosti na hloubce pod zemským povrchem (viz otevřené úseky)

v nejhlubších částech pánve byla ve vrtech zastižena voda o době oběhu 20 až 30 tisíc let (^{14}C) čemuž odpovídá i anomálně nízká hodnota $\delta^{18}\text{O}$ (-11 ‰, což ukazuje na příměs vody z doby ledové (chladnější klima))

Tritium (^3H)

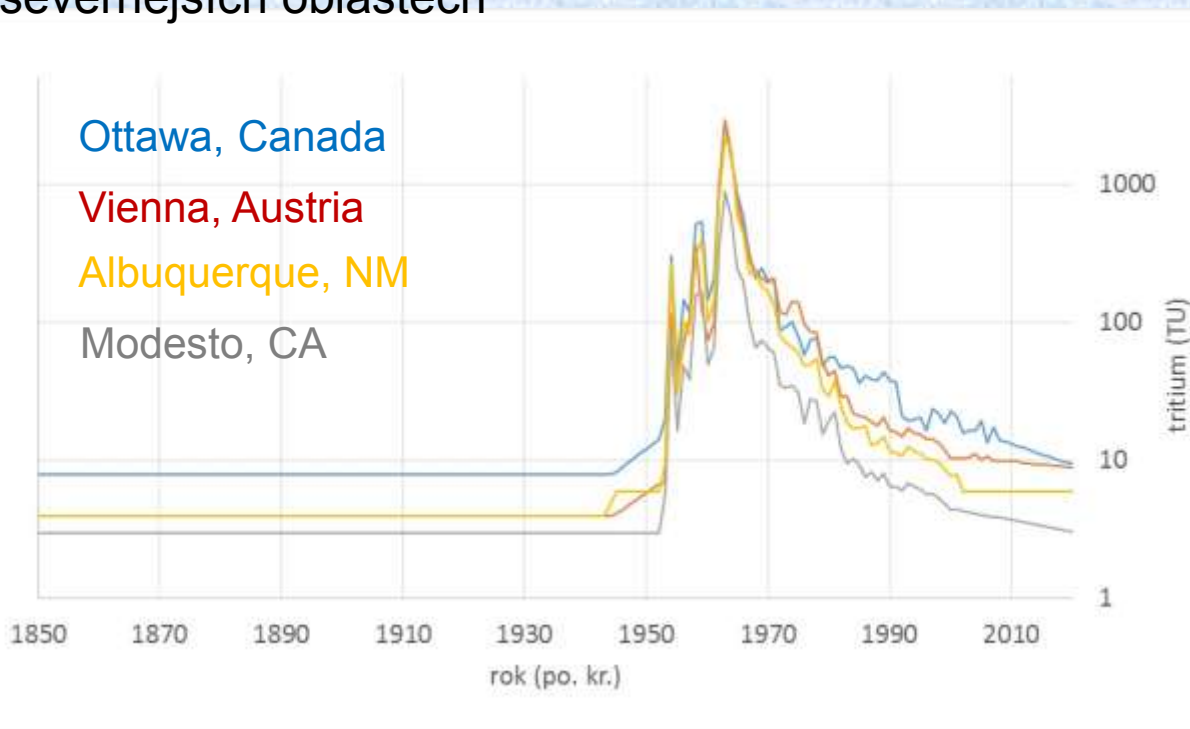
-poločas rozpadu: 12,4 roku (vhodné pro vody desítky let staré)

-tritium je součástí molekul vody a podléhá tedy stejným procesům, jako všechny molekuly vody

-koncentrace tritia ve vodě se udává v tritiových jednotkách (1 T.U. = 1 tritium unit), kde 1 T.U. značí obsah 1 atomu ^3H v 10^{18} atomech ^1H

-1 T.U. způsobuje v 1 litru vody 7,2 radioaktivních rozpadů tritia za minutu, tj. 0,12 rozpadů za sekundu, a odpovídá tedy specifické aktivitě $0,12 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ (becquerelů na 1 kg vody)

-je zjevné, že v rovníkových oblastech byly a jsou koncentrace tritia výrazně nižší než v severnějších oblastech

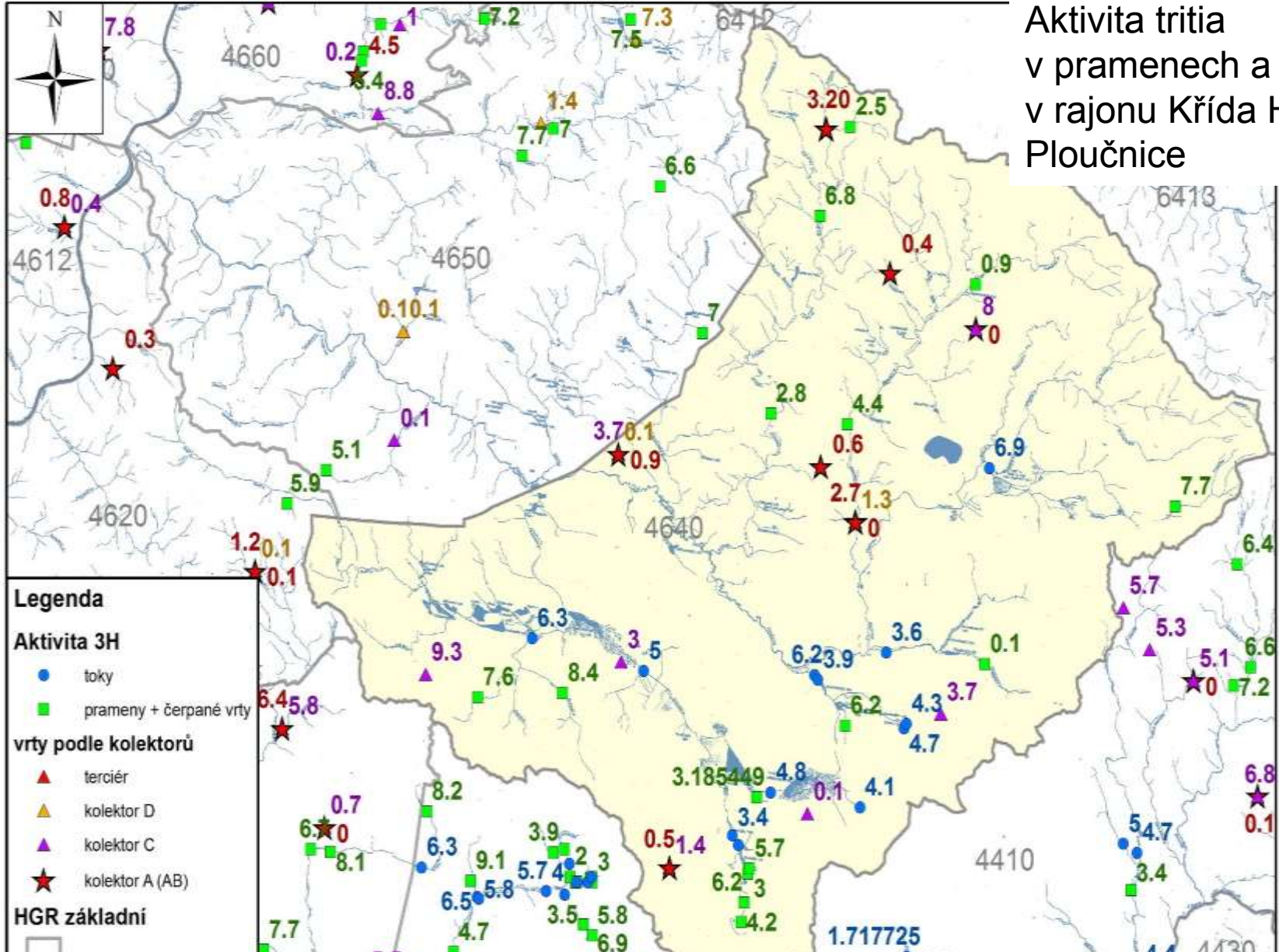


-po r. 1952 prudce vzrostly koncentrace ^3H v důsledku zkoušek termonukleárních zbraní

-vody infiltrované po roce 1950 obsahují měřitelné množství tritia, starší vody nikoli

-pokud voda obsahuje tritium byla infiltrovaná po roce 1950

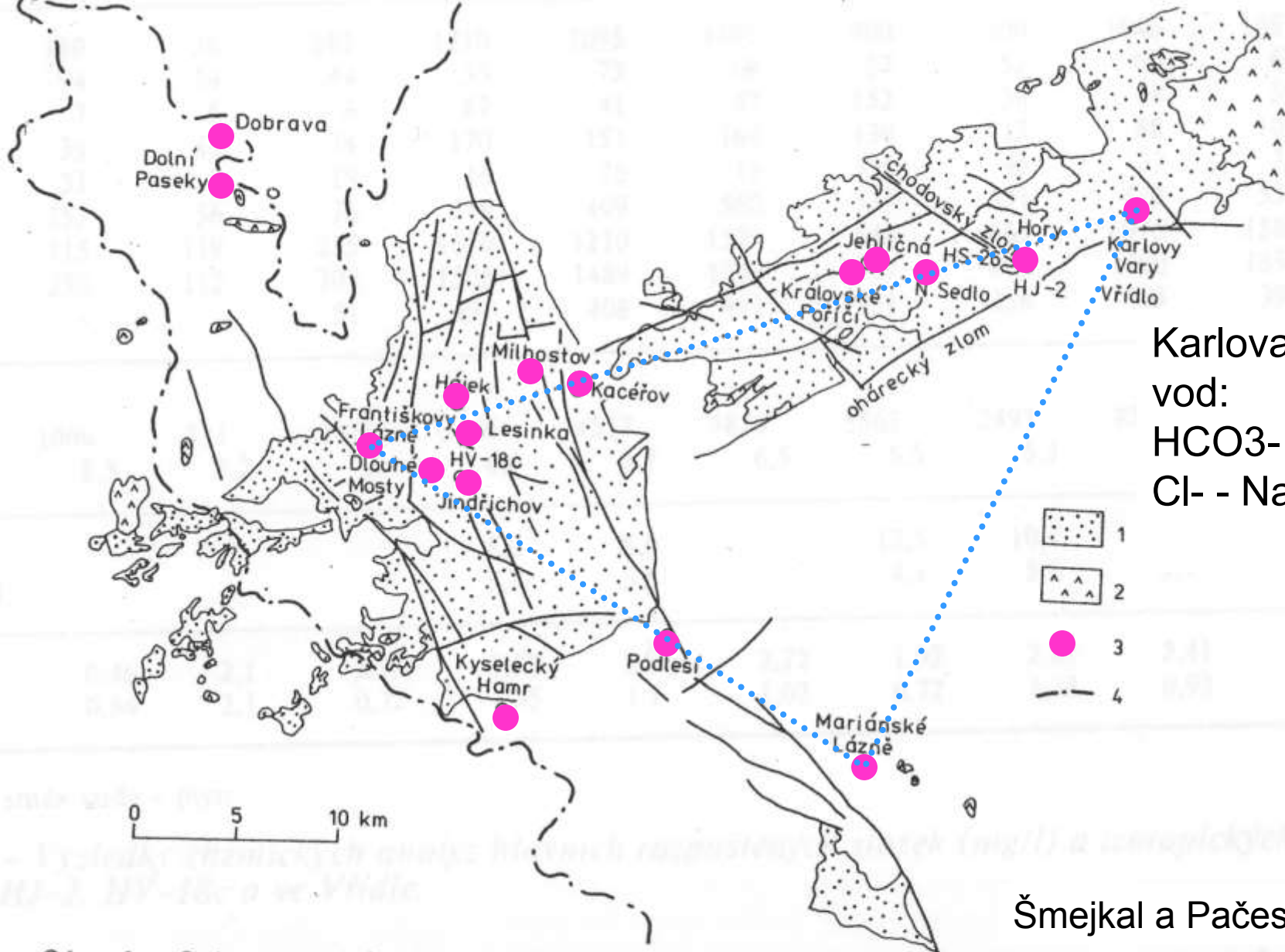
Aktivita tritia v pramenech a vrtech v rajonu Křída Horní Ploučnice



Většina jímané podzemní vody v ČR, obsahuje tritium, takže se infiltrovala po roce 1950. Přesnější datování ukazuje, že její doba zdržení pod zemským povrchem obvykle dosahuje prvních desítek let (projekt Rebilance)

Jak vznikly minerální vody v západočeském lázeňské
trojúhelníku?

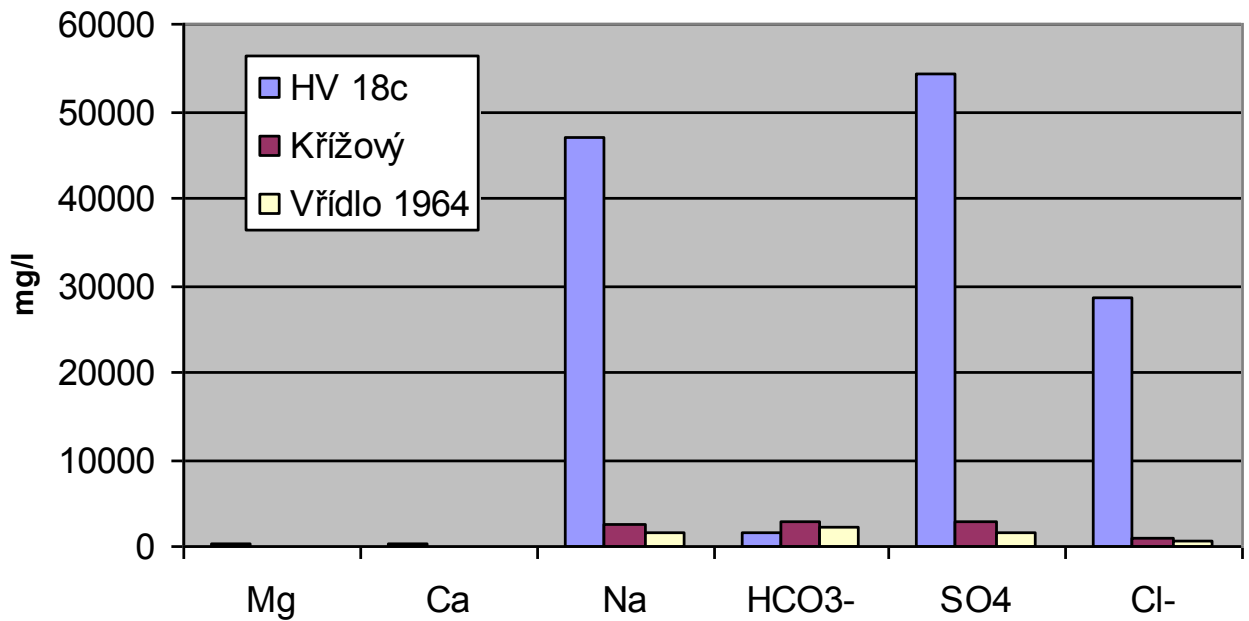
Vznikají tyto vody v současnosti nebo ne?
Jsou obnovitelným zdrojem?



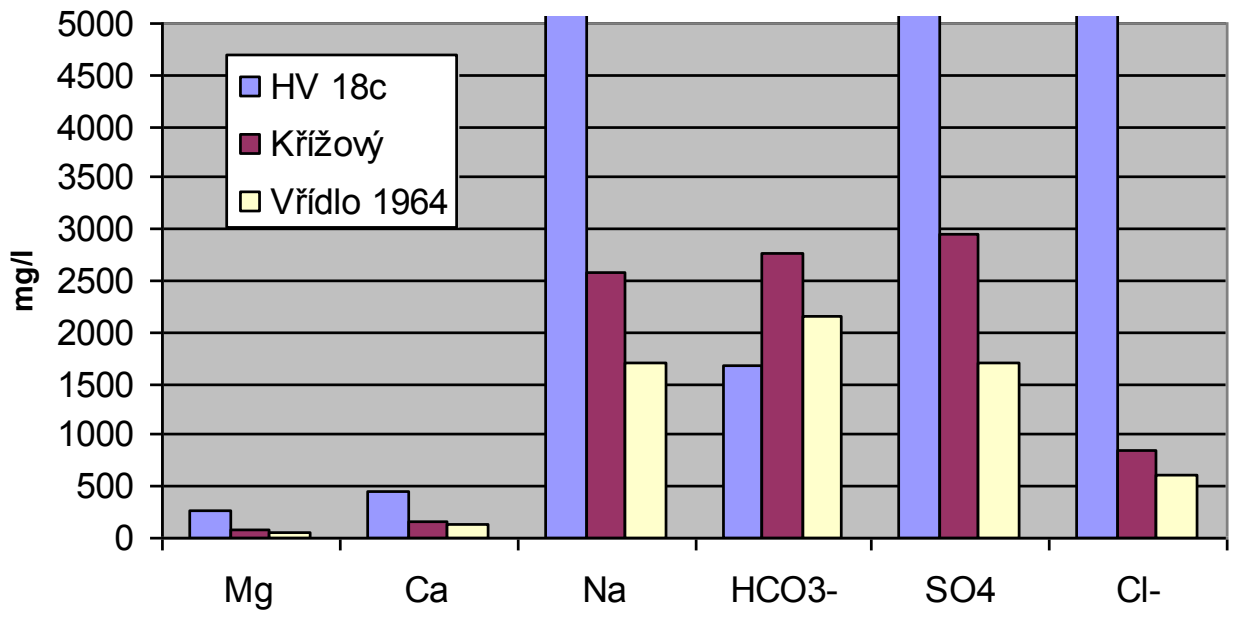
Karlovarský typ
 vod:
 $\text{HCO}_3^- - \text{SO}_4^- -$
 $\text{Cl}^- - \text{Na}^+ - \dots \text{CO}_2$

Šmejkal a Pačes (1992)

Obr. 1 – Schematický náčrt chebské a sokolovské pánve s lokalizací studovaných vrtů a vývěrů minerálních vod. Vysvětlivky: 1 = třetihorní sedimenty, 2 = neovulkanity a pyroklastika, 3 = výskyty vod s třetihorní mineralizací, 4 = státní hranice.



-pod Chebskou páňvi zachycena neproplyněná solanka o M = 133 g/l typu Na-SO4-Cl Vrt HV 18c



Složky SO4- - Cl- - Na+ - podobný typ vod ve velmi (geologicky) odlišných prostředích => složení vod nezáleží na geologickém podkladu

Názory na genezi lze shrnout do dvou skupin:

1) Všechny složky se tvoří recentně, či subrecentně souběžně s prouděním podzemní vody (Dovolil, Hynie)

-oxidace pyritu (Kolářová), produkt hlubinného magmatismu (Pazdera)

2) Jen některé složky se tvoří recentně (hydrogenkarbonáty, CO_2). a některé jsou dědictvím minulosti a představují zásoby, které nejsou obnovitelné (chloridy, sírany, sodík). Ovčínikov (1958), Šmejkal Pačes (1992), Krásný

V prostoru západních Čech parovína v terciéru (Krušné hory se začaly zdvíhat až v terciéru jako odezva na nejmladší karpatské pohyby, kde díky semiaridnímu klimatu v částech neogénu začala vznikat slaná jezera (důkazy fosilie slanomilné fauny v cyprisovém souvrství)

-rozlámání terénu zlomy a zasáknutí

-poté změna klimatu a vymývání fosilních vod

-hydrogenkarbonáty se tvoří recentně interakcí s hlubinným CO_2 , voda je též recentní

Nejpravděpodobnější vysvětlení původu a důkazy pro ně (Šmejkal a Pačes, 1992):

původ Na⁺ SO₄⁻ Cl⁻ (vody KV typu mají obdobné molární poměry těchto iontů, velmi nízký obsah Mg a Ca na úrovni prostých vod)

-sířany ve vodách nemohly vzniknout recentní oxidací pyritu ($\delta^{18}\text{O}$ v sířanech vzniklých oxidací je -2 až -6 ‰)

-pokud by měly sířany vzniknout z vulkanické síry vulkanismus měly by být hodnoty $\delta^{34}\text{S}$ okolo 2 ‰

vznik v bezodtokém miocénním jezeře- důkazy:

-existence bezodtokého jezera (petrografie, paleontologie, izotopy-cyprisové souvrství)

⇒mineralizace se srážením minerálů (výparem) zjednodušila na typ Na-SO₄-Cl

-díky bakteriální redukci došlo k posunu izotopového složení síry $\delta^{34}\text{S}$ (z SO₄) původních 0 až 2 ‰ (magmatická síra) na $6,3 \pm 0,3$ ‰

!!!typická hodnota pro všechny vody KV typu, naopak jiné minerální vody v širším okolí mají mnohem variabilnější hodnoty $\delta^{34}\text{S}$ $11,2 \pm 19,8$ ‰

Hardie - Eugster Model

-modifikace roztoků výparem a srážením

-!!! malý rozdíl v počátečním složení roztoku povede k obrovským rozdílům v konečném složení solanky

Na, Ca, Mg, HCO₃, SO₄, Cl

krok 1. vyčerpá se buď HCO₃-
nebo Ca²⁺

$2m \text{Ca}^{2+} > \text{alkalita}$

srážení kalcitu

$2m \text{Ca}^{2+} < \text{alkalita}$

Na, Ca, Mg, SO₄, Cl

Na, Mg, CO₃, SO₄, Cl

$2m \text{Ca}^{2+} > m \text{SO}_4^{2-}$

$m \text{SO}_4^{2-} > 2m \text{Ca}^{2+} > \text{alkalita}$

$\text{alkalita} > 2m \text{Mg}^{2+}$

srážení sádrovce

srážení sepiolitu (Mg Si₃O₆ (OH)₂)

Na, Ca, Mg, Cl

Na, Mg, SO₄, Cl

Na, CO₃, SO₄, Cl

vyčerpají se sírany

Vyčerpá se Mg²⁺

