

HYDROLOGICKÝ CYKLUS a BILANCE

(postaven na předpokladu, že množství vody v systému je stálé, voda pouze migruje mezi jednotlivými složkami hydrologického cyklu)

Jiří Bruthans

Zastoupení vody



-celkové množství vody na Zemi je stálé

-zastoupení sladké vody na celkovém množství vod (3%)

- ledovce (77% sladké)

-podzemní voda 20% sladké vody

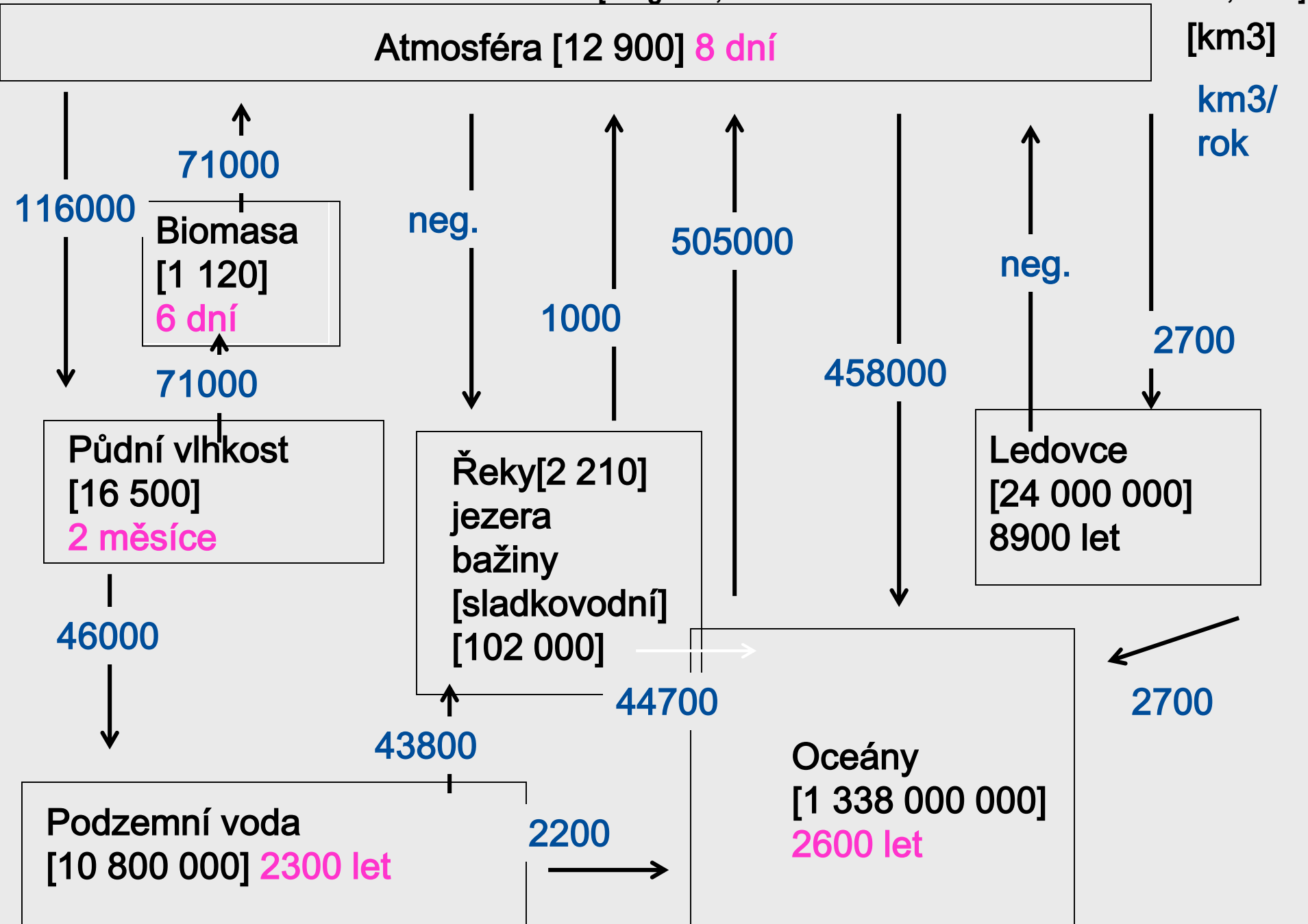
-řeky 50x menší objem než půdní vlhkost

-ale obrovské toky...jen v ČR 53 km³/rok ve srážkách

Přehled množství vody na Zemi (podle údajů Mezinárodního geofyzikálního roku)

Výskyt vody	Množství vody		
	celkem km ³	z vody celkem %	z vody sladké %
Světový oceán	1 300 000 000	97,22	---
Slaná jezera a vnitrozemská moře	100 000	0,008	---
Ledovce a polární led	28 500 000	2,136	77,63
Voda v atmosféře	12 700	0,001	0,035
Voda v rostlinstvu a živých bytostech	1 130	0,0001	0,003
Sladkovodní jezera	123 000	0,009	0,335
Vodní toky	1 230	0,0001	0,003
Vlhkost půdy a voda podpovrchová	65 000	0,005	0,178
Podzemní voda do hloubky 800 m	4 000 000	0,31	10,9
Podz. voda do hloubky 800 až 4000 m	4 000 000	0,31	10,9
Sladká voda celkem asi	36 700 000	2,77	100,0
Voda celkem asi	1 337 000 000	100,0	---

Zdroj: Mezinárodní geofyzikální rok



Jak určit velikost vodních zdrojů?

- hydrologický cyklus (vychází ze zákona zachování hmoty-vody)
- voda pouze migruje mezi různými rezervoáry, nemizí ze systému
- pro povodí platí hydrologická bilance:

$$\text{srážky} = \text{výpar} + \text{odtok} \pm \text{změna zásob}$$

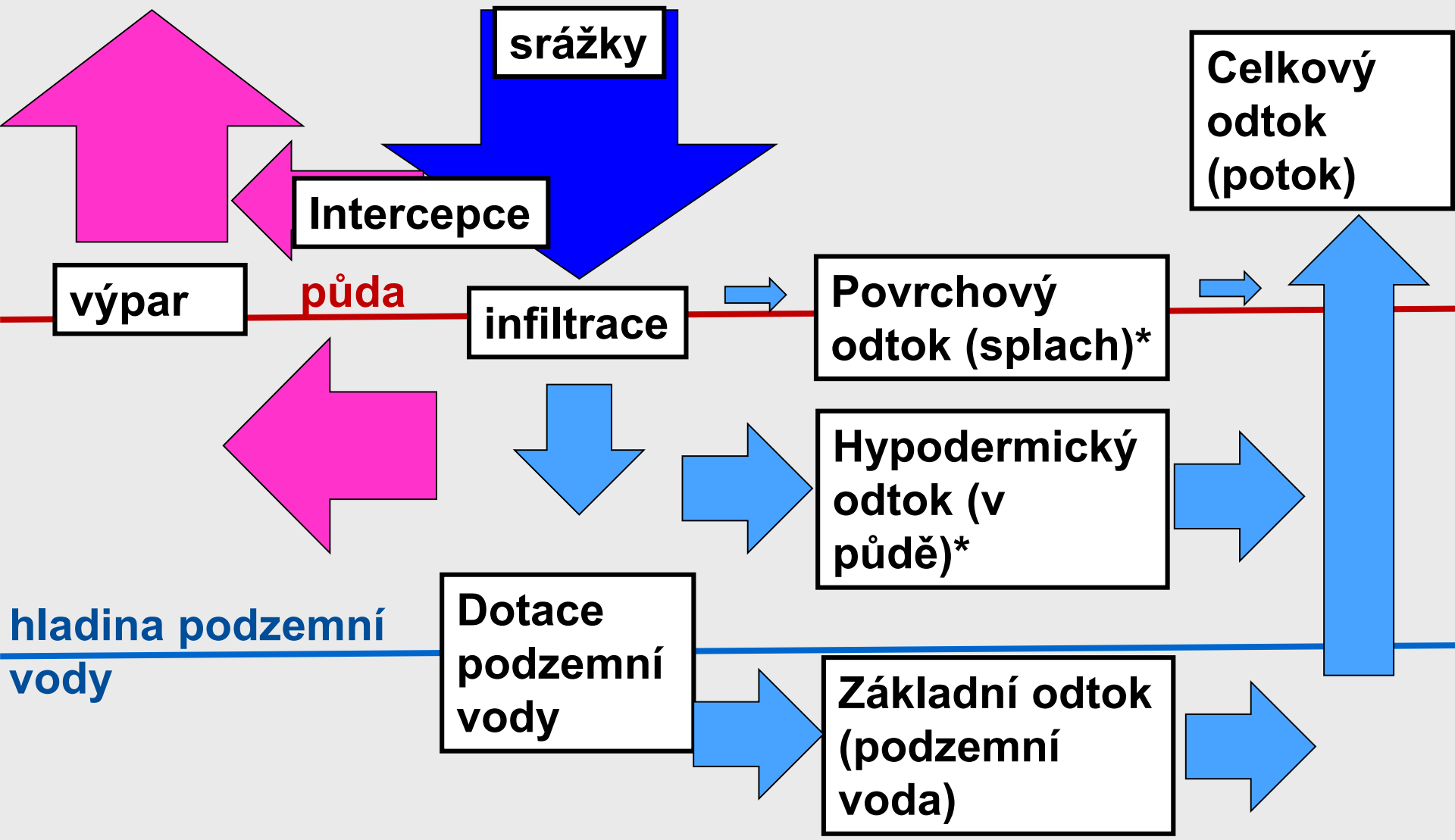
-pokud měříme dost dlouho změna zásob se stane zanedbatelná vůči ostatním členům rovnice

-srážky a odtok jdou dobře měřit, jedinou neznámou při delším měření je tak výpar (velmi nepravidelný v prostoru i čase, evapotranspirace)

$$\text{srážky} = \text{výpar} + \text{odtok}$$

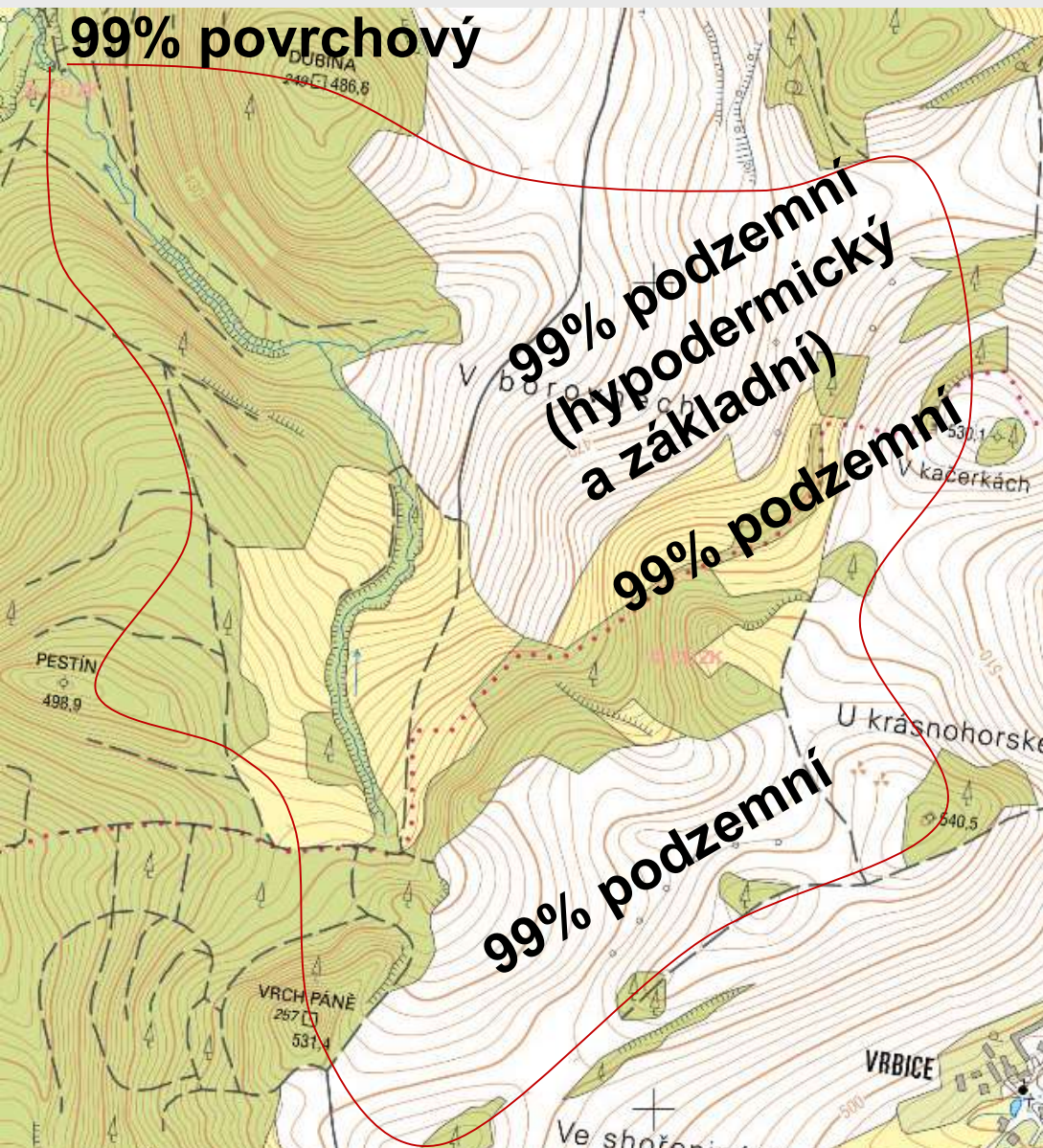
Bilance v povodí a rychlý* a základní odtok

Pro zásobování podzemní vodou má **smysl jen základní odtok**, tj. jen typicky zhruba polovina i méně z celkového odtoku na povrchových tocích (jen v čase stálý odtok)



Co je ale povrchová a podzemní voda? Jdou odlišit?

-v humidním klimatu se až na nepropustné povrchy veškerá voda vsákne do podzemí...ALE



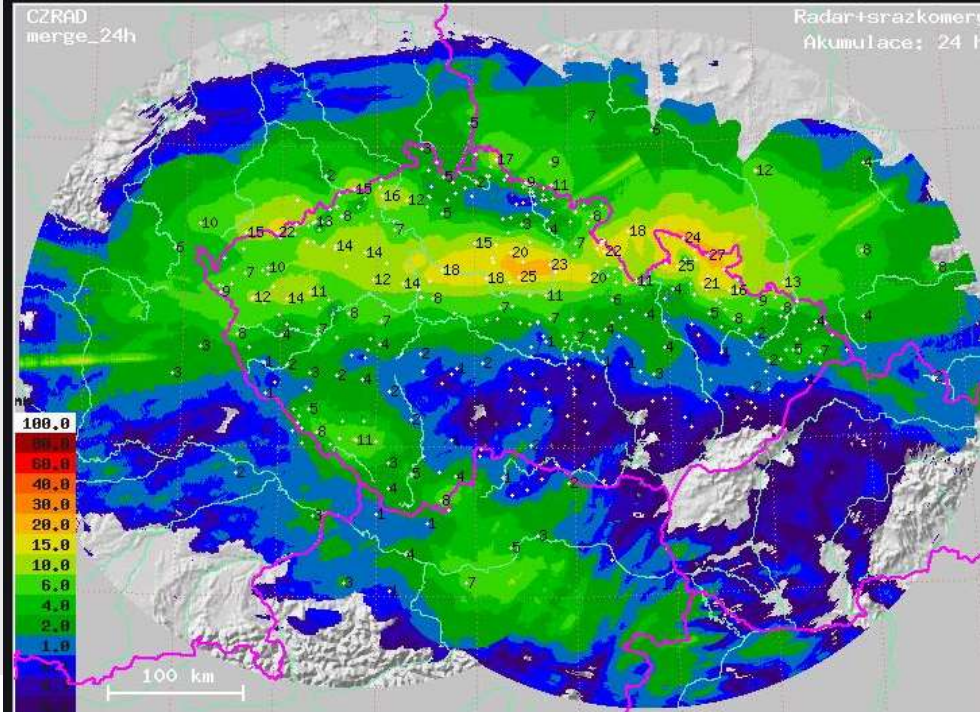
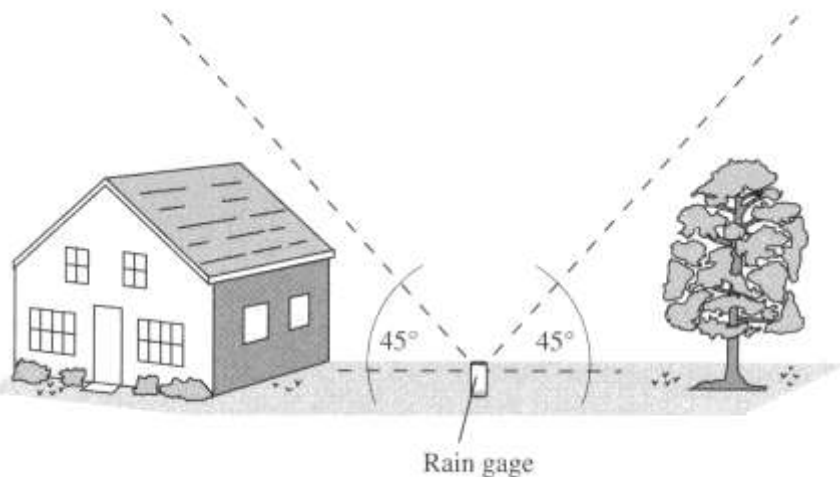
-poté všechna po stovkách m až kilometrech výjimečně desítkách km podzemí drtivá většina opustí

-vše je tedy podzemní i povrchová zároveň (záleží na místě)

-rozlišení tedy nemá smysl

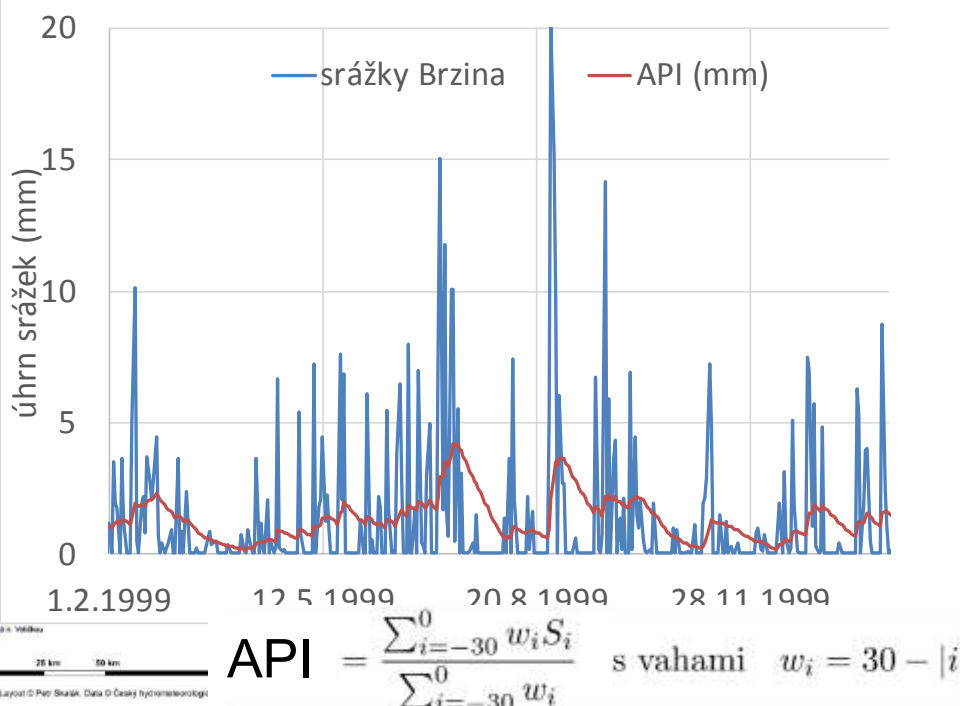
-má smysl rozlišovat základní odtok (v čase stálý) a přímý odtok (hypodermický a povrchový z nepropustných ploch)

Měření srážek a průtoků



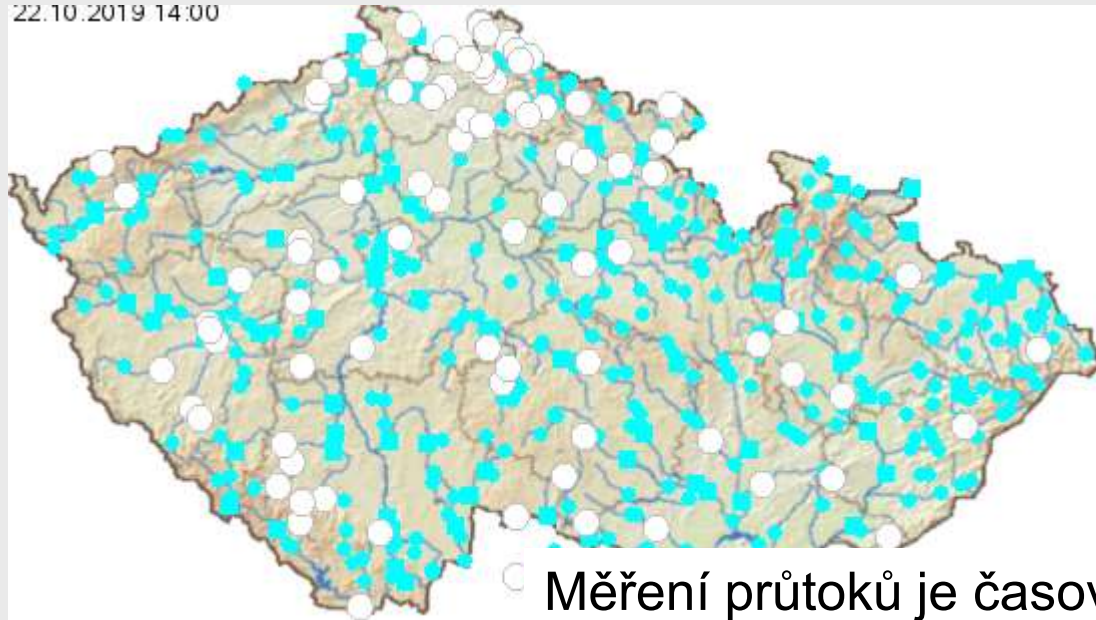
SRAZKOMERNE STANICE CHMU

stav: leden 2008

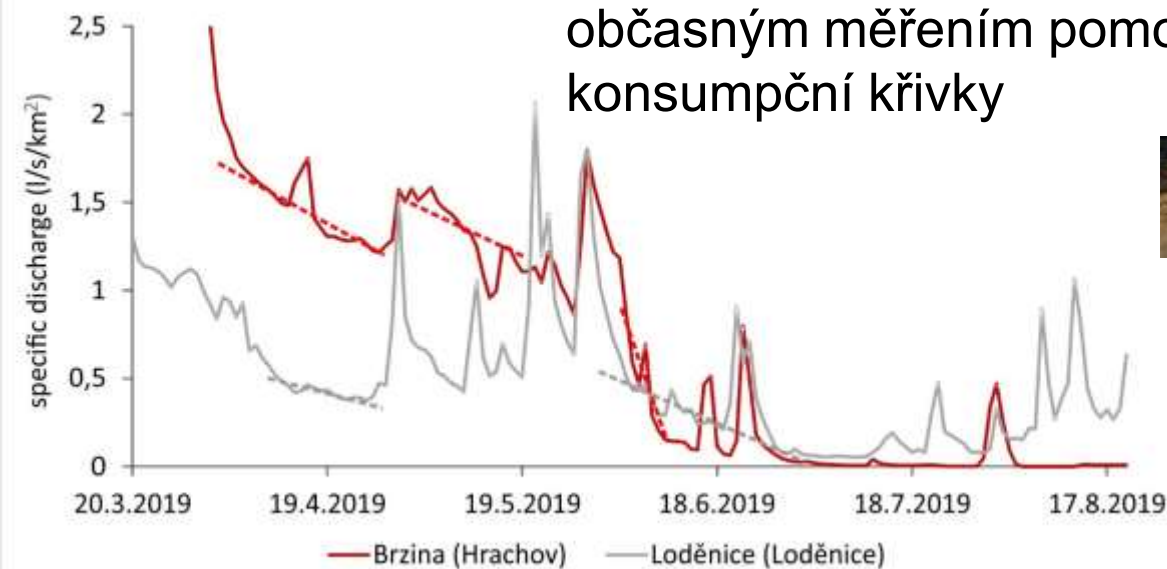


Měření průtoků

22.10.2019 14:00



Měření průtoků je časově náročné, proto se měří hladina a na průtok kalibruje občasným měřením pomocí konzumpční křivky

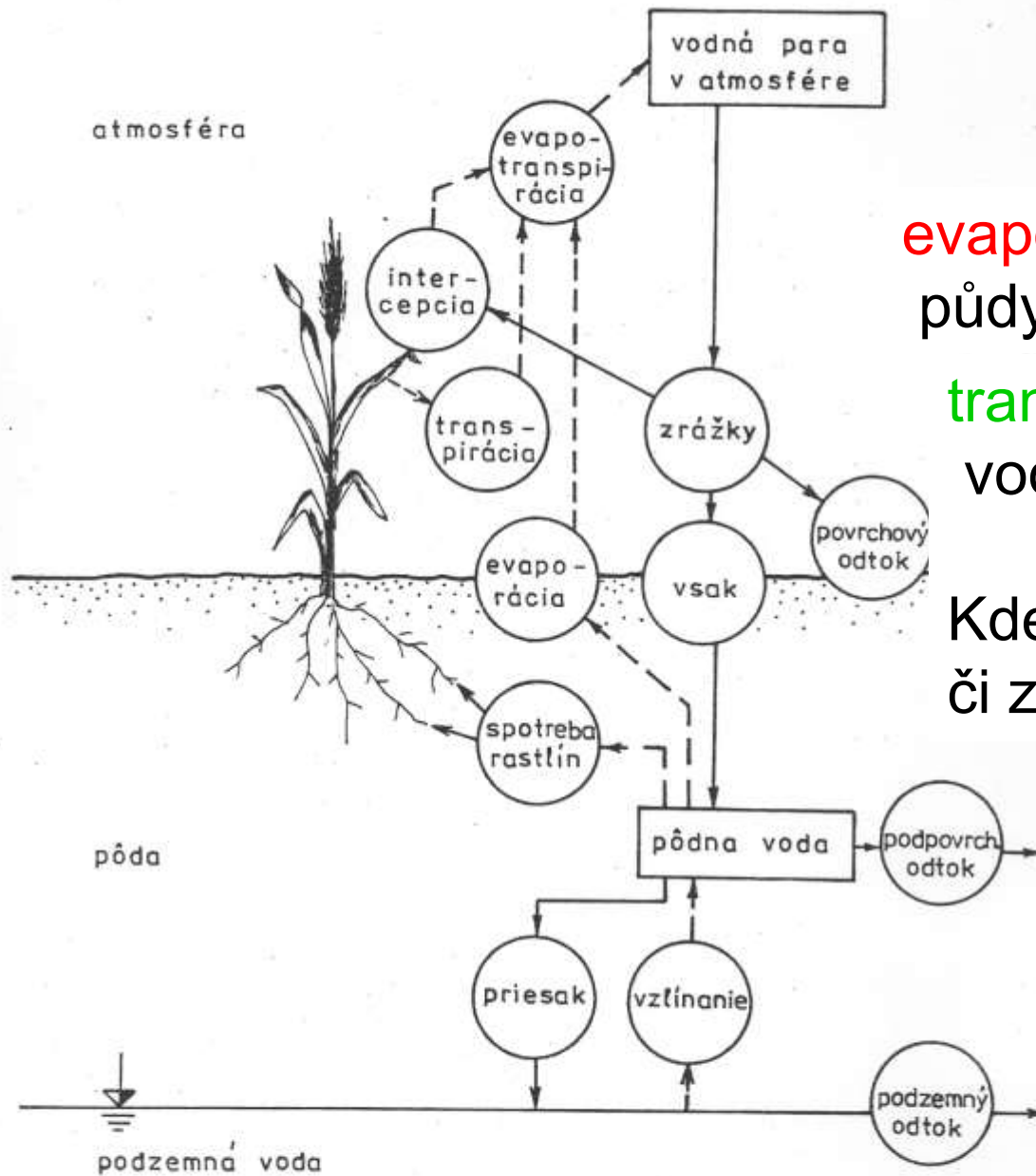


VÝPAR evapotranspirace)

evaporace (výpar z povrchu
půdy a volné hladiny)

transpirace (spotřeba
vody vegetací)

Kde je větší výpar: v lese
či z holé půdy?



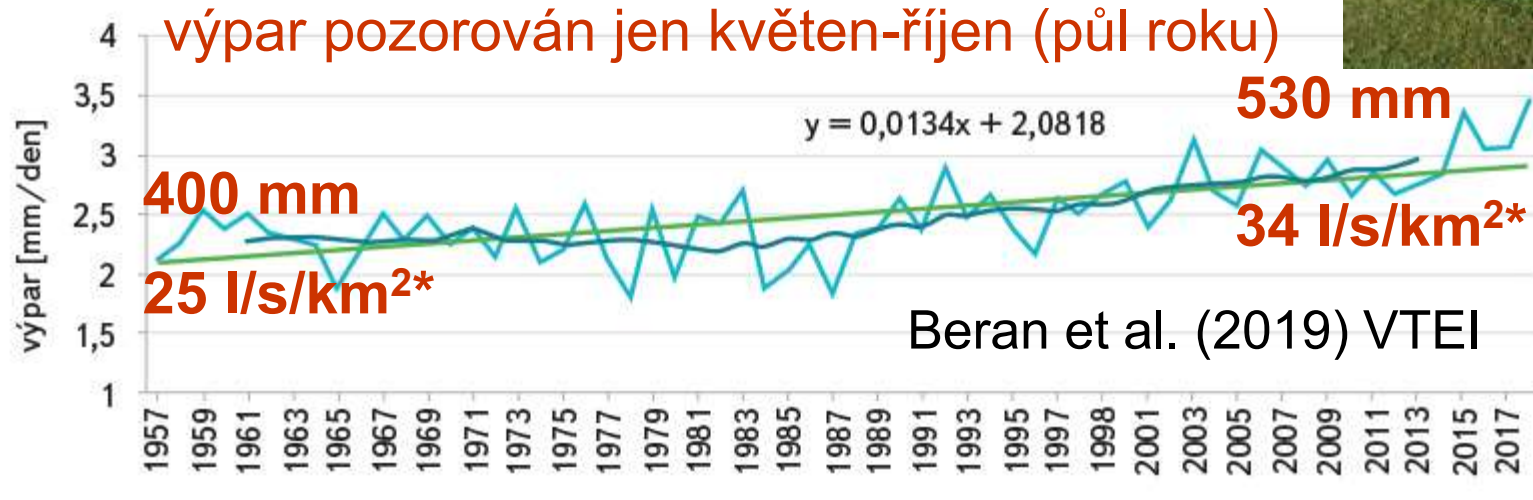
zarostlá hladina > volná
hladina > les > louka >
holá půda

snížení hladiny i cm/den

Obr. 6: Výmena vody v systéme podzemná voda - půda - vegetácia -
- atmosféra

Výpar z volné vodní hladiny

„Vliv výparu z vodní hladiny na celkovou hydrologickou bilanci povodí může být značný a to především v letech s nízkými srážkovými úhrny“



***l/s/km²**
vodní
plochy/půl
roku

Měřený výpar ze stanice Hlasivo u Tábora, vždy období květen až říjen, tj. 183dn

Přepočet na jinou oblast (Beran et al. 2019):

$$\text{Výpar z vodní hladiny} = 0,0824 * T_{vzd}^{1,289}$$

kde T_{vzd} je prům. měs.tepl.vzduchu

Povodí Lužnice (Bechyně):

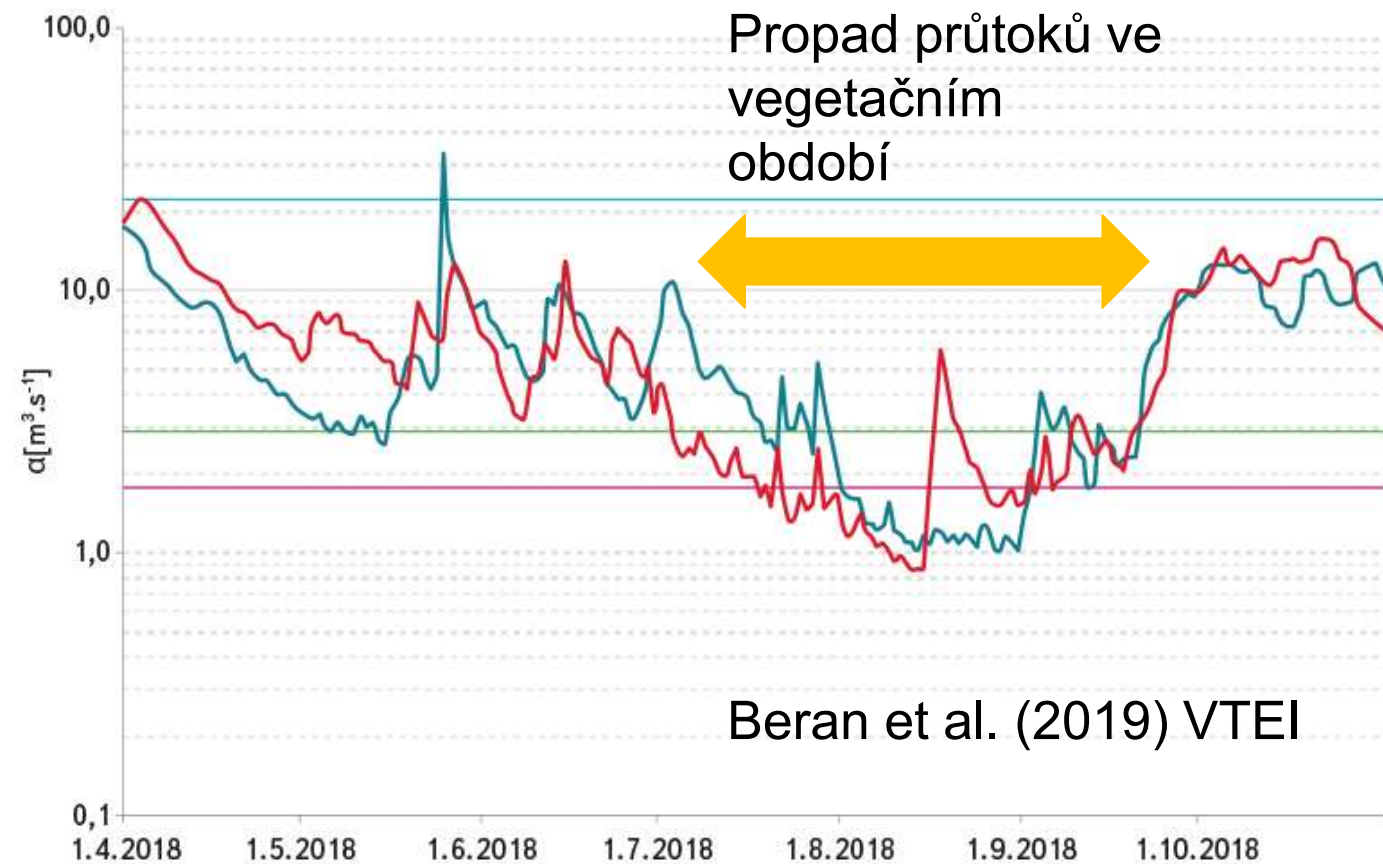
Beran et al. (2019) VTEI

-83km² rybníků na ploše povodí 4060 km² (podíl vodní ploch 2%)

-prům. tvz 7,5-8,0°C, prům. srážky 600-650 mm/rok

-povodí Lužnice se neprojevuje zvýšením srážek v okolí o víc než 1% (zanedbatelné)

-výpar z 83km² dosahuje ve vegetačním období přes 1800 l/s a v maximech i 2900 l/s (tj 22 l/s/km² resp 35 l/s/km² vodní hladiny)



Qd – rok 2018

Qd – rok 2015

Qa

Q355d

Q364d

potenciální evapotranspirace

-množství vody které se vypaří nebo transpiruje z povrchu, pokud je k dispozici neomezený zdroj vody

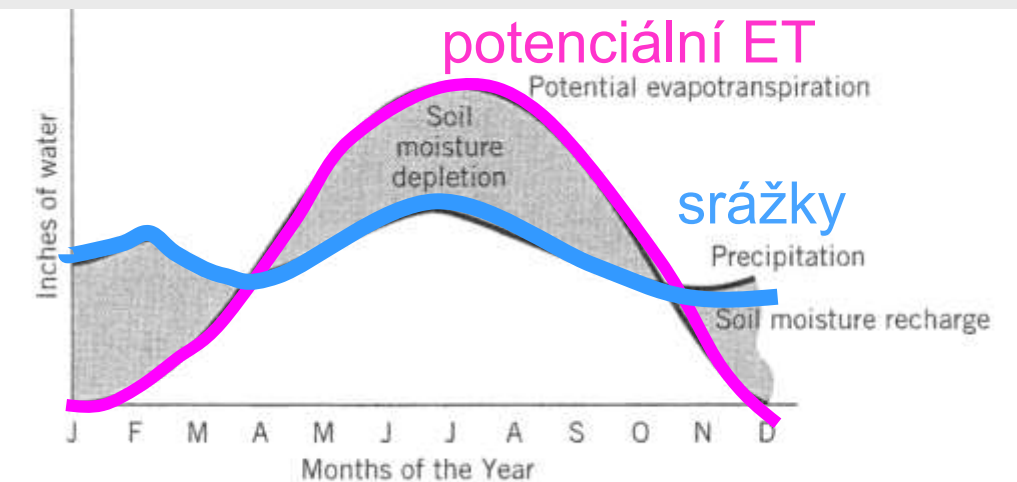
-důležitá pro umělé zavlažování (tam je spotřeba vody jí rovná)

skutečná evapotranspirace

-skutečné množství vypařené vody
poměr=roční úhrn srážek/ potenciální evapotranspirace

-důležitý parametr, tam co okolo 1 nebo větší není problém

-tam, kde výrazně pod 1 se musí značně zavlažovat

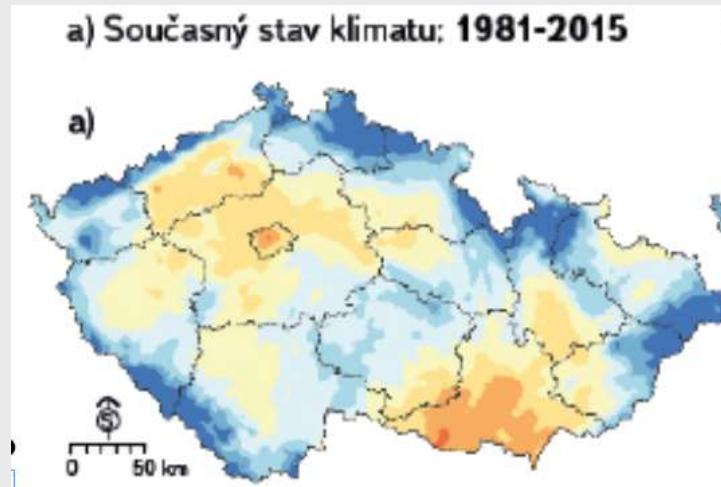


Domenico a Schwartz (1997)

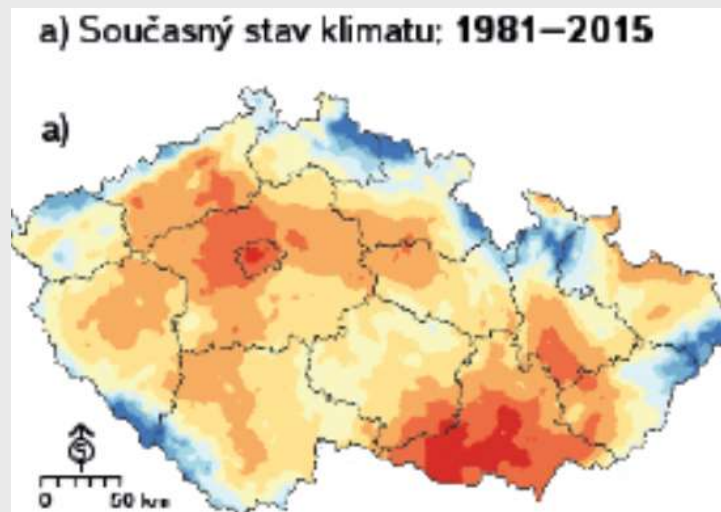
Srážky-PET

Průměrný stav

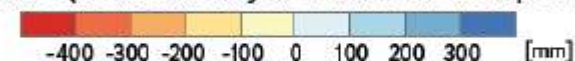
Zdroj: ČHMU



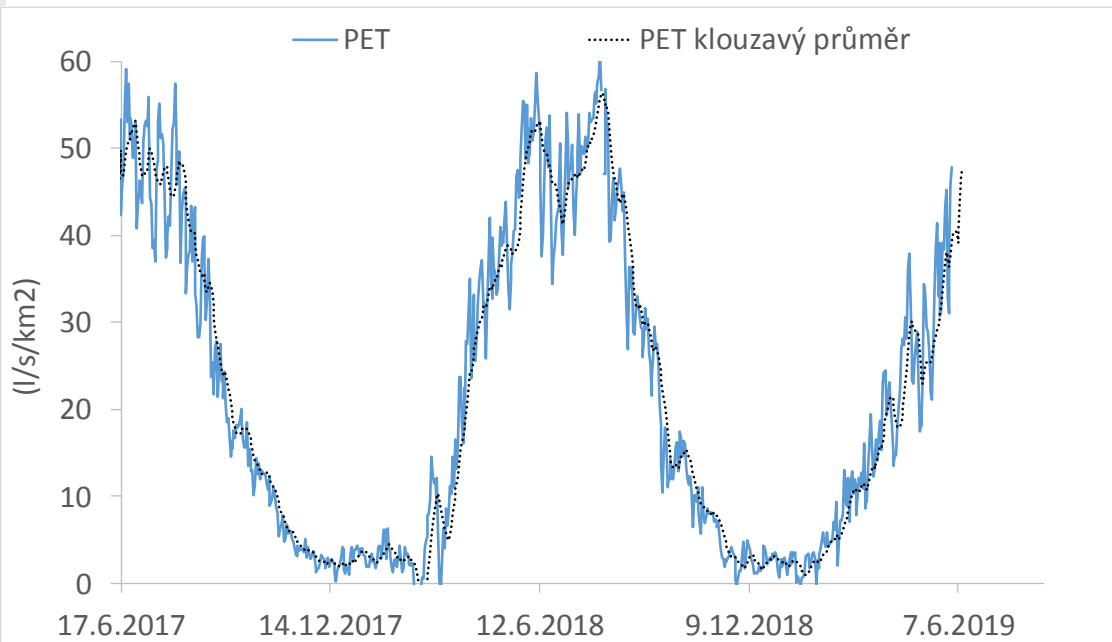
10-ti leté sucho



láhová bilance (rozdíl roční sumy srážek a referenční evapotranspirace)



V ČR nejlepší výsledky odhadu PET dává metoda podle Oudina, využívající údaje o teplotě vzduchu. Oudin et al (2010): Hydrological Sciences Journal 55(2):209–222

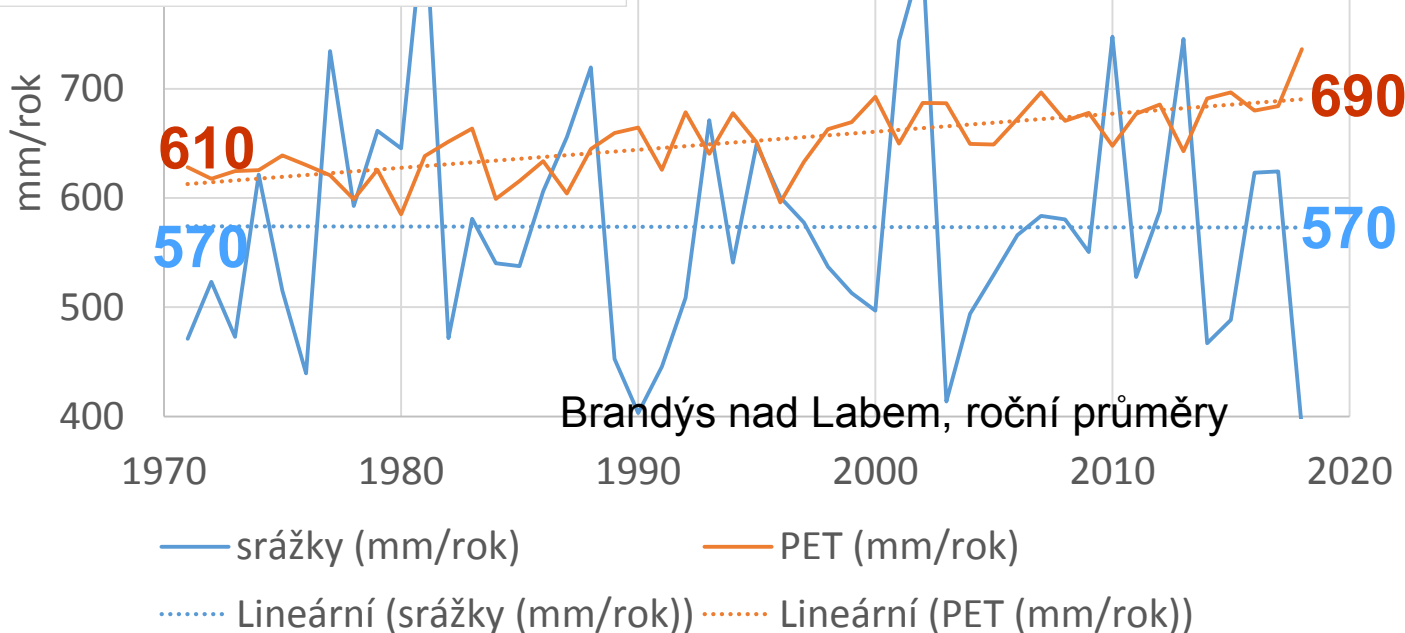


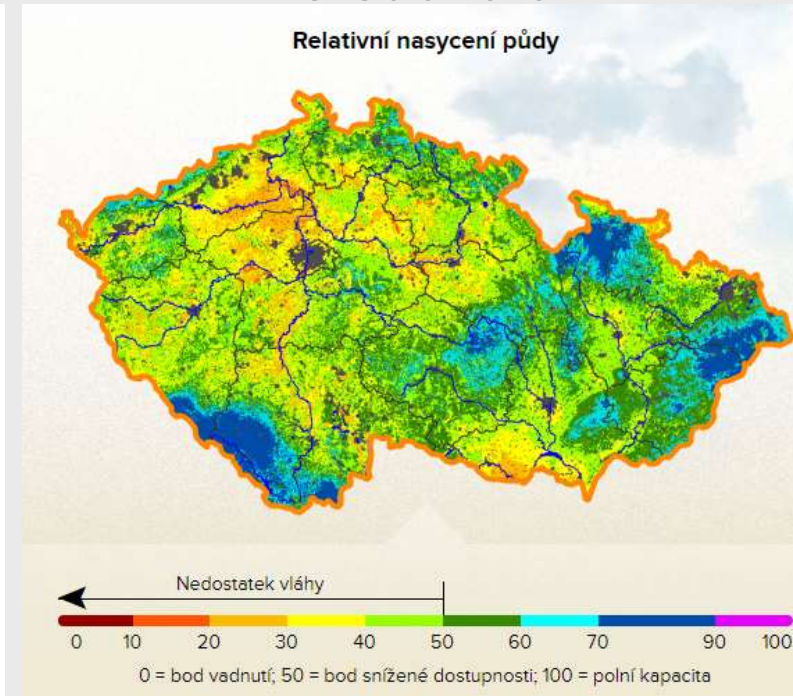
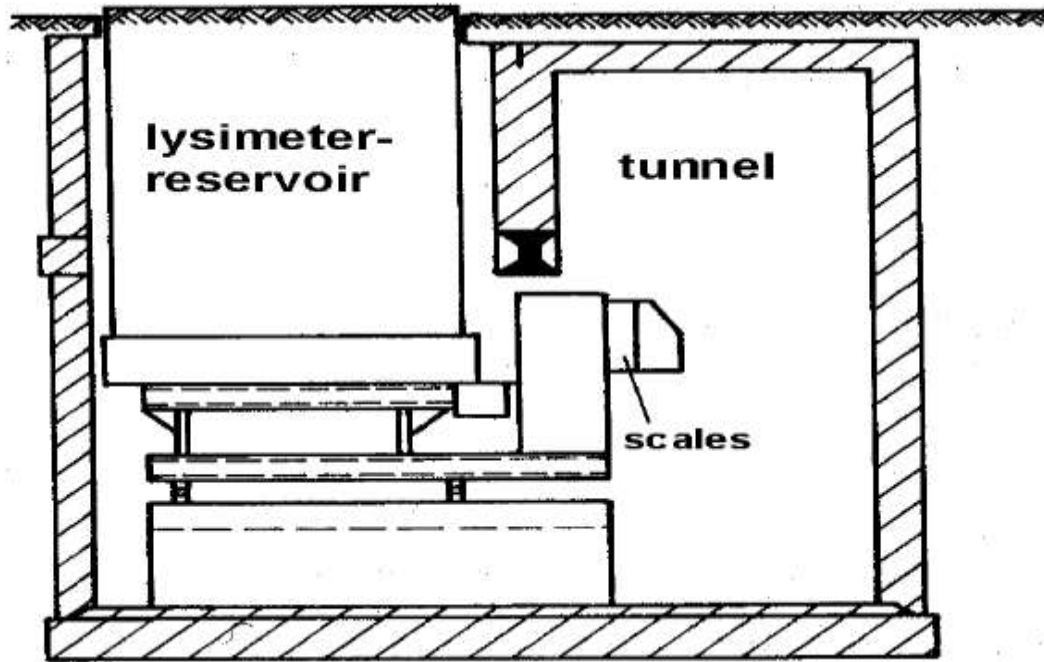
PET je během roku velmi nízká v zimě ale v léte může dosahovat až 50 l/s/km2

Jak se v ČR vyvíjí úhrny srážek a PET v čase?

Silně meziročně kolísají srážky ne PET

Není trend v úhrnu srážek v čase,
Je zjevný nárůst teploty a tím i potenciální ET



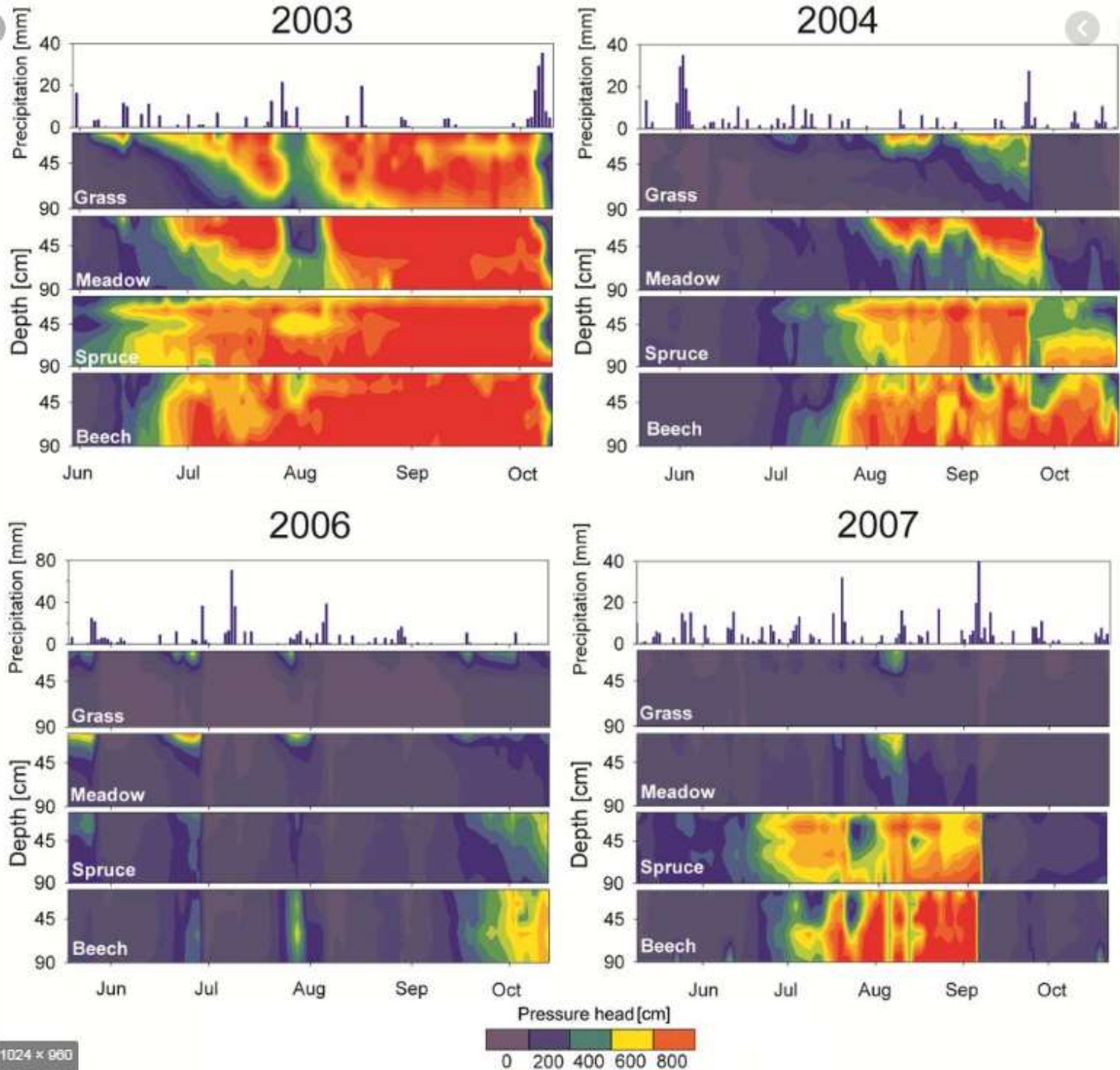


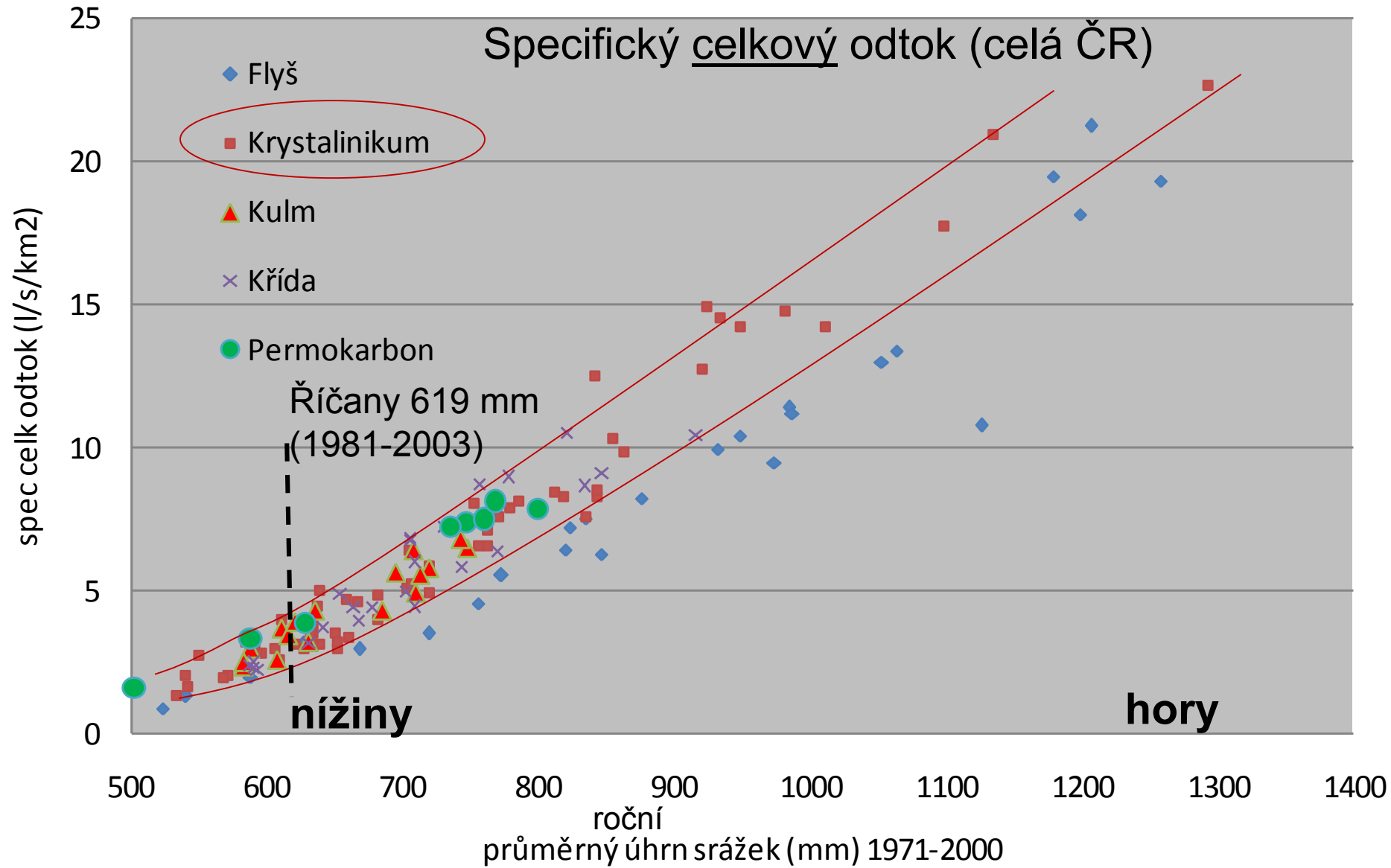
- skutečná ET se extrémně obtížně určuje, protože na rozdíl od srážek se mění v řádu metrů (expozice svahu, sklonitost, typ vegetace, typ a mocnost půdy, dostupná vlhkost apod.)
- nejlépe odečtením z ostatních členů hydrologické bilance (=S-O-změnaZ)
- lokálně měření pomocí lyzimetrů

Vliv využití
území na
evapotranspi-
raci:
Měřený
deficit vláhy
(míra sacího
tlaku)

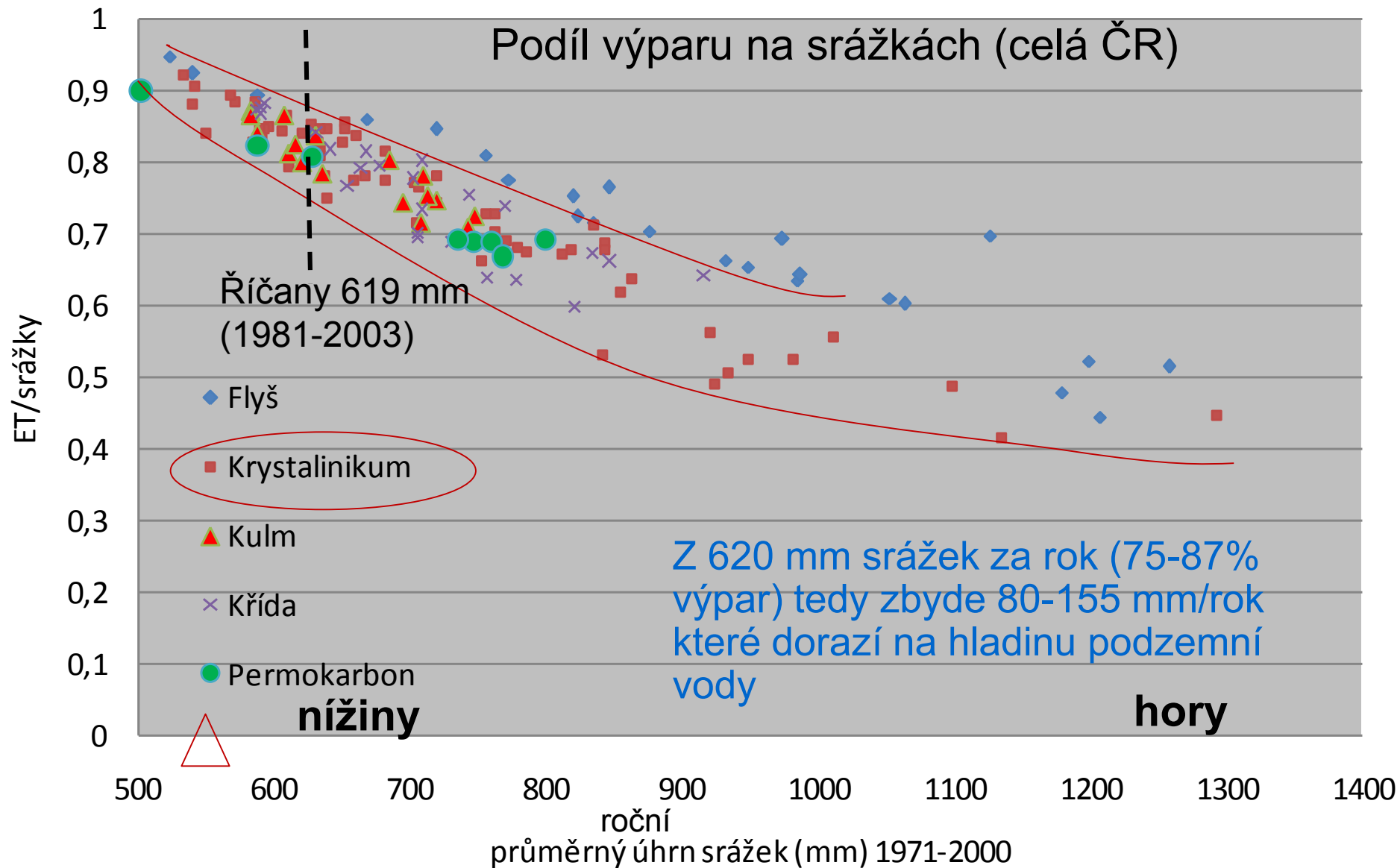
**Sečená
tráva
Louka
Smrkový les
Bukový les**

Šípek et al.
(2018)





- **změřeno** na vodoměrných stanicích ČHMU na řekách v ČR (průměr za 30 let)
- těsný vztah se srážkami => **pro každé místo v ČR lze odečíst z grafu vodní zdroje**
- platné pro všechna měřená povodí



-neplatí žádné třetinové pravidlo (třetina vody se vypaří, třetina vsákne a třetina odteče)
-v nížinách, kde žije většina lidí se vypaří v dlouhodobém průměru 75-95% vody!!!
-zbytek se vsákne a po stovkách metrů až kilometrech se veškerý vynoří na povrchu a odteče řekami



Loděnice (Loděnice) 6.7.2019
16 l/s; 254 km² povodí



Žehrovka (Březina) 9.7.2019
20 l/s; 90 km² povodí



Brzina (Hrachov) 10.7.2019
0 l/s; 133 km² povodí

Drábovna u Malé Skály a Děčínský Sněžník (Beyer, 1913)

-jedno z prvních míst určení
specifického základního odtoku

-pískovce oddělené od podloží
nepropustnými jílovci

=>

**přesně definovaná plocha
povodí**

-chybí povrchové toky

=>

jen podzemní odtok

-měřena vydatnost všech pramenů

podz spec odtok = $\sum Q_{\text{pram}}$ / plocha území (jednotky: l/s/km²)

! takto příznivé podmínky jsou zcela výjimečné

=>většinou je třeba použít nepřímé metody

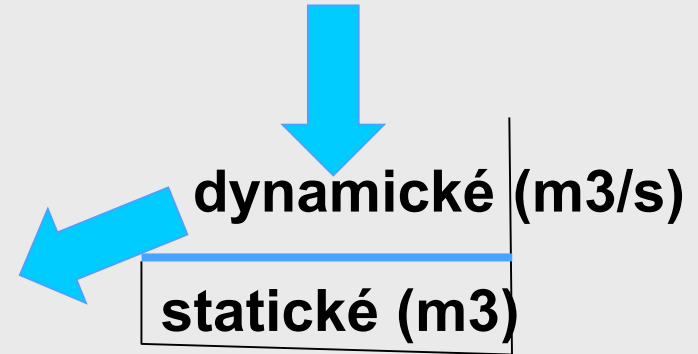
Vyjímečný případ, kdy
skutečně podzemní specifický
odtok



Příklad:

průměrný odtok 8 l/s, plocha 2 km²
kolik z 1 km²? Kolik z 50 km²?

určení základního odtoku
=**vyčlenění podílu který zhruba
odpovídá dynamickým zásobám
podzemní vody**



Castanyho metoda (Castany 1970)

- vychází z 30ti minimálních po sobě jdoucích průtoků v roce. Průměrný odtok za 10 let se stanovuje jako medián minimálních odtoků
- dává nejnižší hodnoty ze všech metod

Killeho metoda

- seřazení minimálních měsíčních hodnot průměrných denních průtoků
- čára se proloží kvazilineárním úsekem (další strana)
- plocha pod čarou je průměrný podzemní odtok

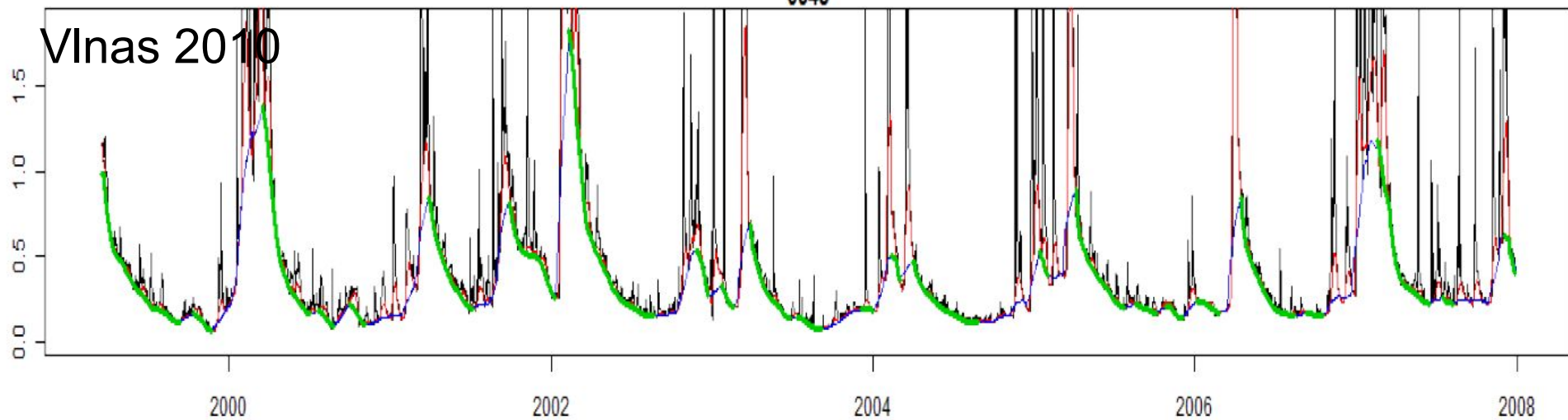
Metoda analýzy čáry překročení

- stanovení velikosti **minimálního** specifického základního odtoku (zabezpečení 97%...355 denní voda)

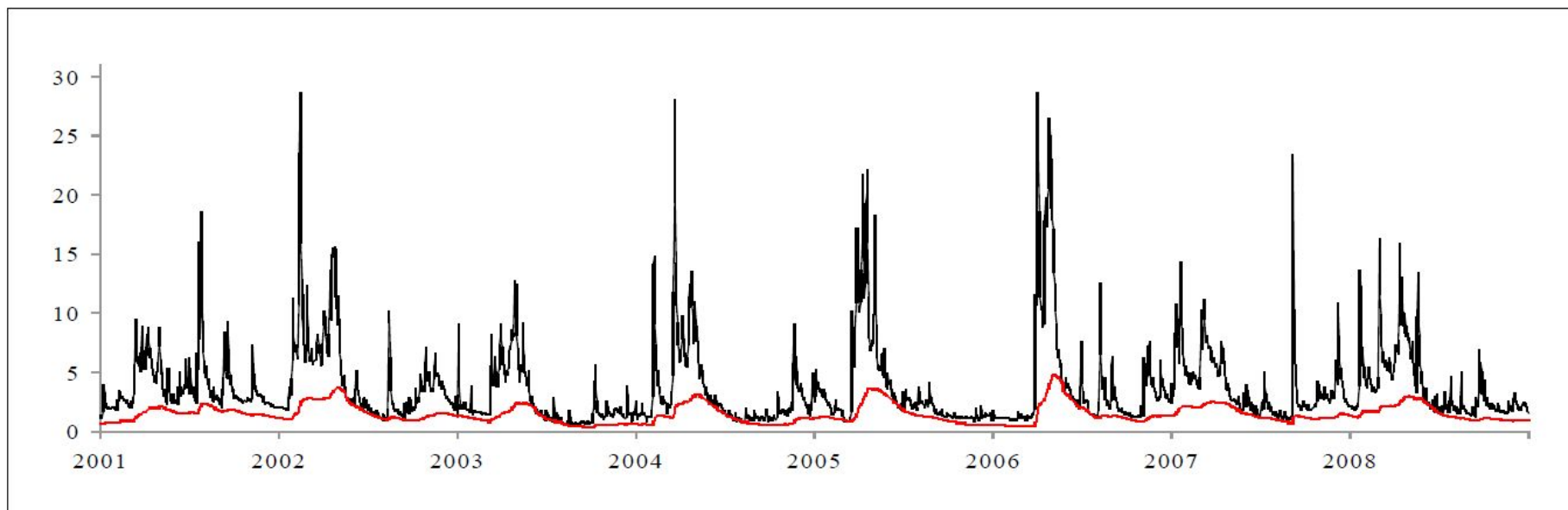
Metoda analýzy výtokových čar

- místo maximální křivosti, kde přechází povrchový odtok do podzemního (v semilogaritmickém grafu se v tomto místě čára lomí)

Vlnas 2010



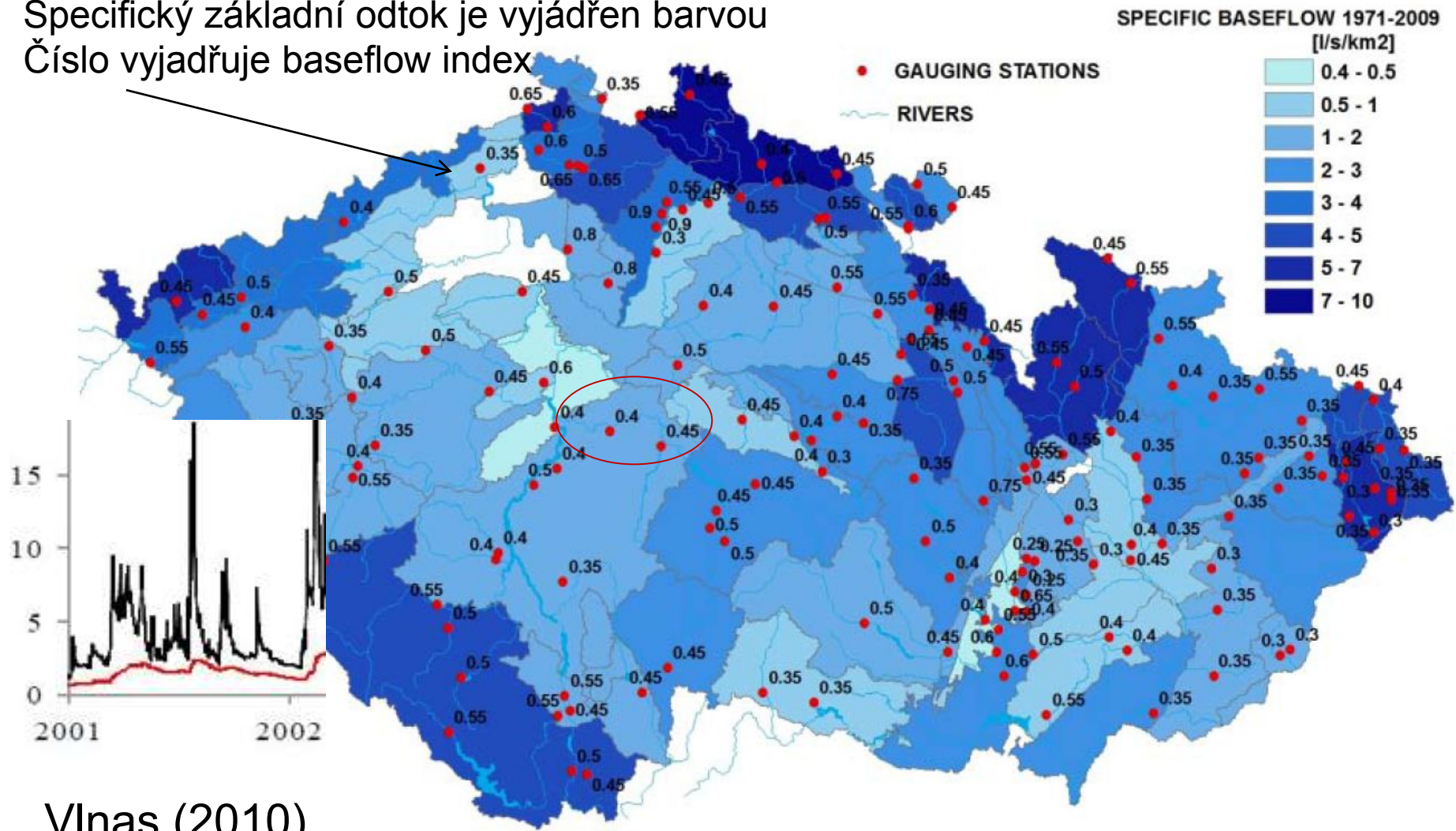
Obr. 1 Detekce recesních segmentů (zeleně) ve vyhlazených řadách odtoku (modře)



Obr. 3 Základní odtok separovaný ve stanici Šumperk – Desná pro období 2001–2008 pomocí Eckhardtova filtru, černě – celkový odtok, červeně – základní odtok

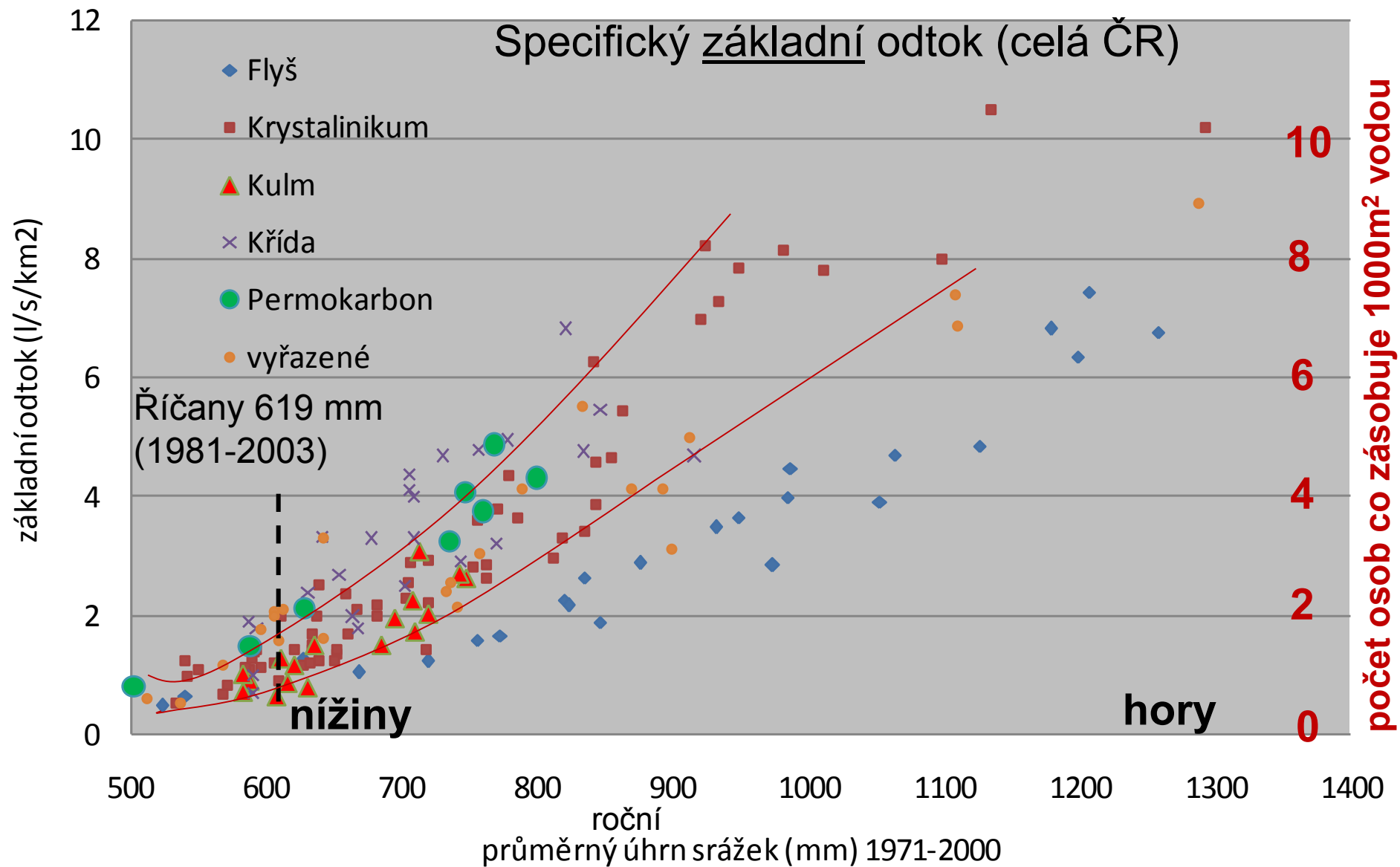
V zájmové oblasti je podíl základního odtoku na celkovém okolo 40-45%, tj. „podzemní voda“ (základní odtok) tvoří 40-45% celkového odtoku

Specifický základní odtok je vyjádřen barvou
Číslo vyjadřuje baseflow index



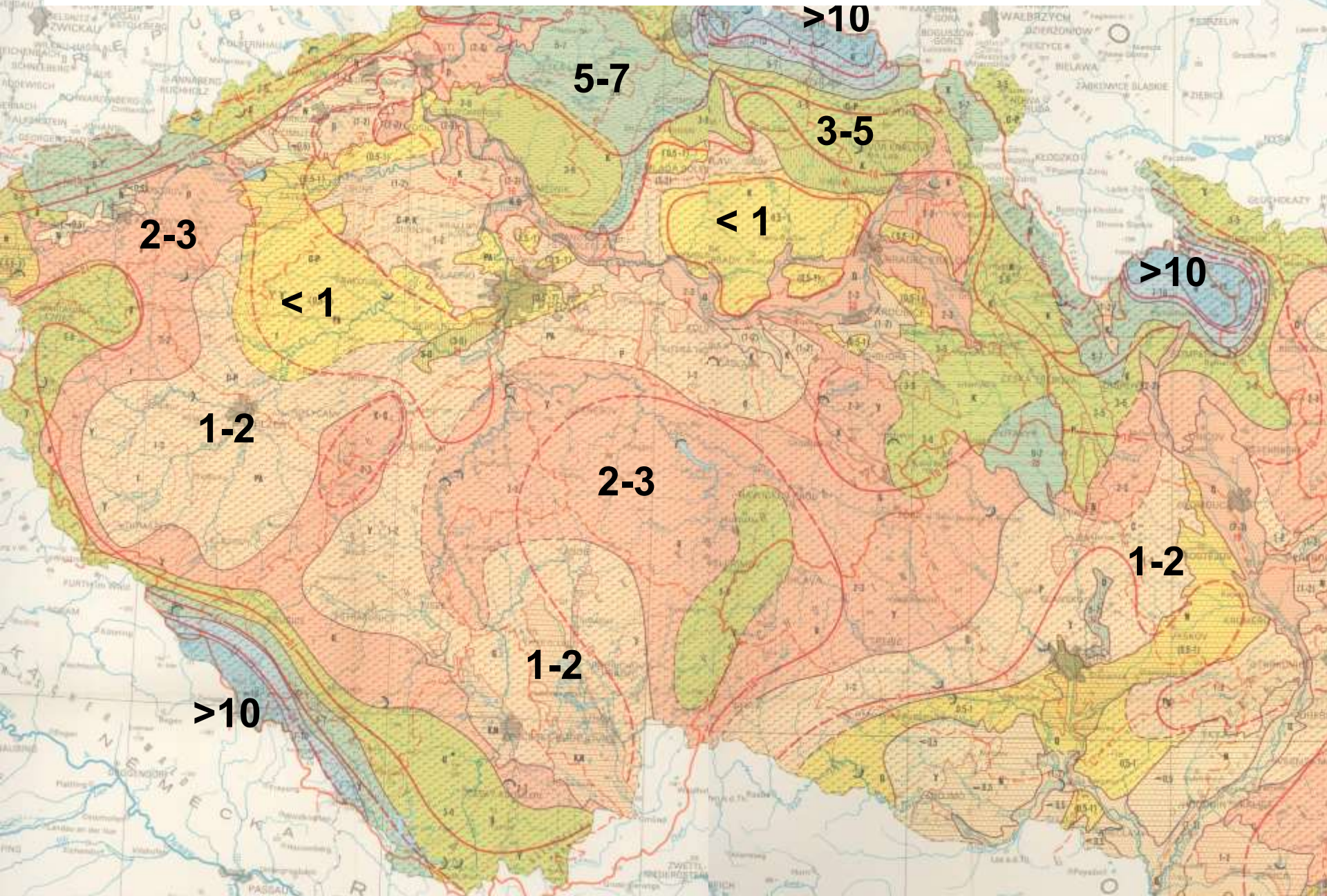
Vlnas (2010)

Obr. 10 Průměrný specifický základní odtok v hydrogeologických rajonech v období 1971–2009



Základní odtok v zájmové oblasti je 1 až 2 l/s/km². Na pozemek o 1000m² = 1 až 2 ml/s = 86-173 l/den = **z pozemku 1000m² je pokryta spotřeba jen 1-2 osob !**
-toto jsou data z let 1971-2000,

**Základní odtok ($l/s/km^2$), tj kolik se vytvoří podzemní vody na 1 km^2
Krásný a kol. (1982) tedy již před klimatickou změnou**



Shrnutí

základní spec odtok z HG masívu (hard rock)

-nezávisí (téměř) na petrografii

-je funkcí množství srážek a evapotranspirace (silně vzrůstá s nadmořskou výškou)

základní spec odtok z české křídové pánve

-je funkcí množství srážek a evapotranspirace (silně vzrůstá s nadmořskou výškou)

-závisí i na litologii (labská faciální oblast velmi nízký

kontra východočeské synklinály (ztráty na vodních tocích-infiltrace)

variabilita (0,5-15 l/s/km²)

extrémy: nejnižší Slánsko (srážkový stín Krušných hor)

nejvyšší (Krkonoše, Jeseníky, Šumava)

zvláštní oblasti:

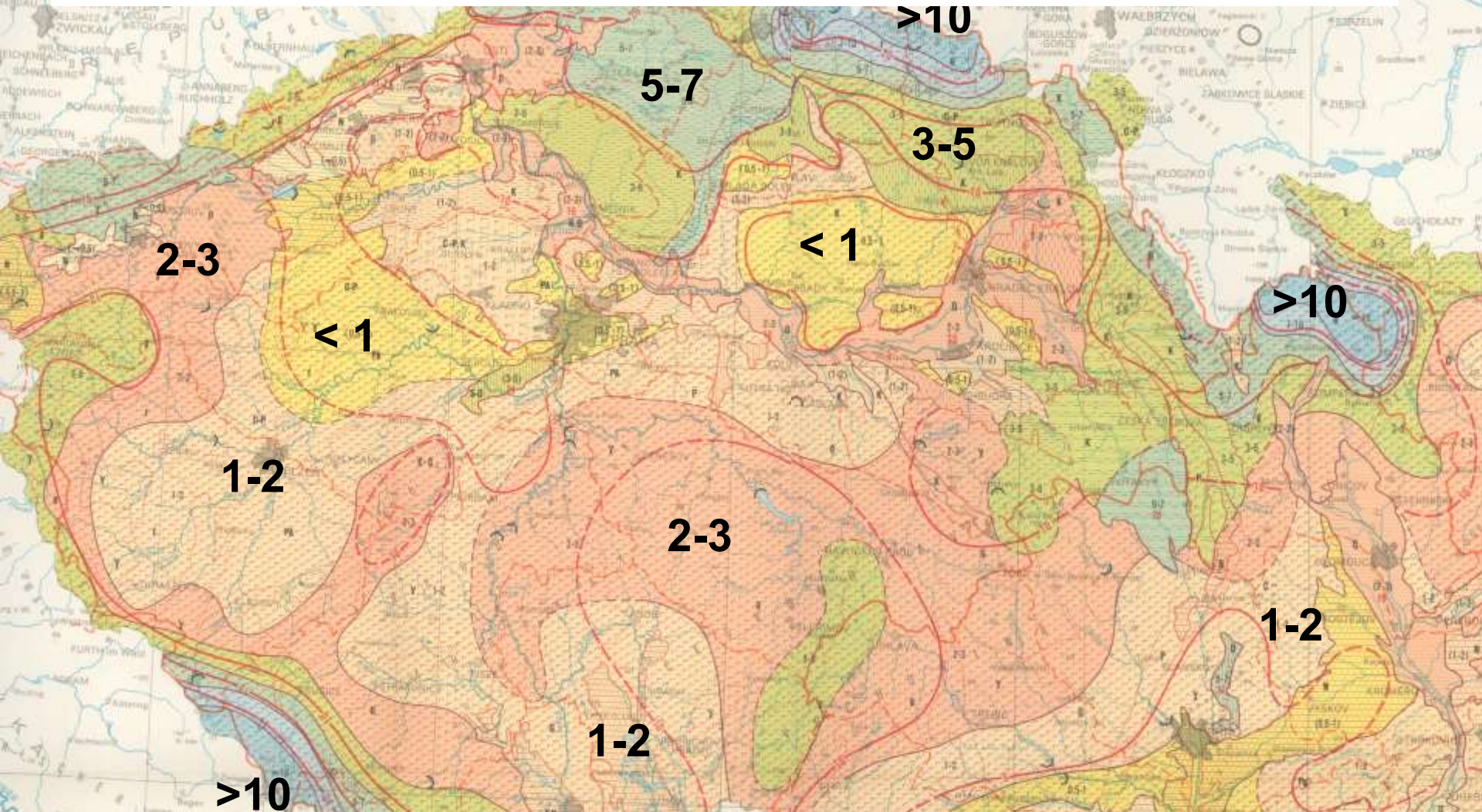
✚Moravský kras –ponory povrch toků

✚východočeské synklinály, jizerská oblast (křída)–ztráty na povrch tocích, suchá údolí bez odtoku a kvartérní náplavy => **vysoký podíl podz. vod na celk. odtoku**

-flyš, jílovce v nížinách (rel. velmi nízké zákl. spec. odtoky, nízký podíl podz. vod na celk. odtoku)

Kolik lidí by dokázal zásobovat pozemek o ploše 1000m²?

$1\text{l/s/km}^2 * 0,001 \text{ km}^2 = 1\text{ml/s} * 3600\text{s} * 24\text{h} = 86\text{L} = \text{cca } 90\text{l/os/den} = 1 \text{ osoba}$



Čísla jsou stejná, ale ukazují kolik lidí by vyžilo na pozemku o 1000m² jen z podzemní vody co se jim na pozemku tvoří?

Tam kde žije velká většina lidí spotřebují více než se jim na pozemku vytvoří

Proč je v řadě rychle se rozšiřujících obcí nedostatek vody?

- většinu plochy ČR tvoří krystalinikum a silně cementované horniny a flyš (vše až na křídové a mladší nezvrásněné sedimenty)
- v těchto horninách, je hladina typicky do 20 m pod terénem, podzemní voda stéká ve směru spádu terénu, na svažitých územích ji nelze přitáhnout čerpáním z větších vzdáleností
- tam kde je většina svahu pokrytá obydlenými parcelami se studnami je množství vody připadající na parcelu často příliš nízké pro požadovanou spotřebu (1-2 osoby/1000m² pozemek)=> dotace nestačí doplňovat podzemní vodu => pokles hladiny vody => sousedské spory a hloubení vrtů => **loose-loose game** (vítězí vrtné firmy a právníci, nikoli vlastníci pozemků) (kde je vody málo prohlubování studní situaci nezmění)

-jediné **trvalé** řešení je přivést vodu odjinud (z nezastavěných povodí) či poříčních náplavů (vodovod)



Má smysl zasakování vody?

Příklad: pozemek 500 m², na něm stavba 100 m²:

a) bez infiltrace (odvod do kanalizace = rychlý odtok)

b) s infiltrací do podzemí

Uvažován základní odtok 1,5 l/s/km² = 47mm/rok a srážky 620 mm/rok

a) = 400m² * 47 mm/rok + 100m² * 0 mm/rok

= průměrně 38 mm/rok na celý pozemek

= 52 L/den (**0,5 osoby**)

b) = 400m² * 47mm/rok + 100 m² * cca 500 mm/rok

= průměrně 137 mm/rok na celý pozemek

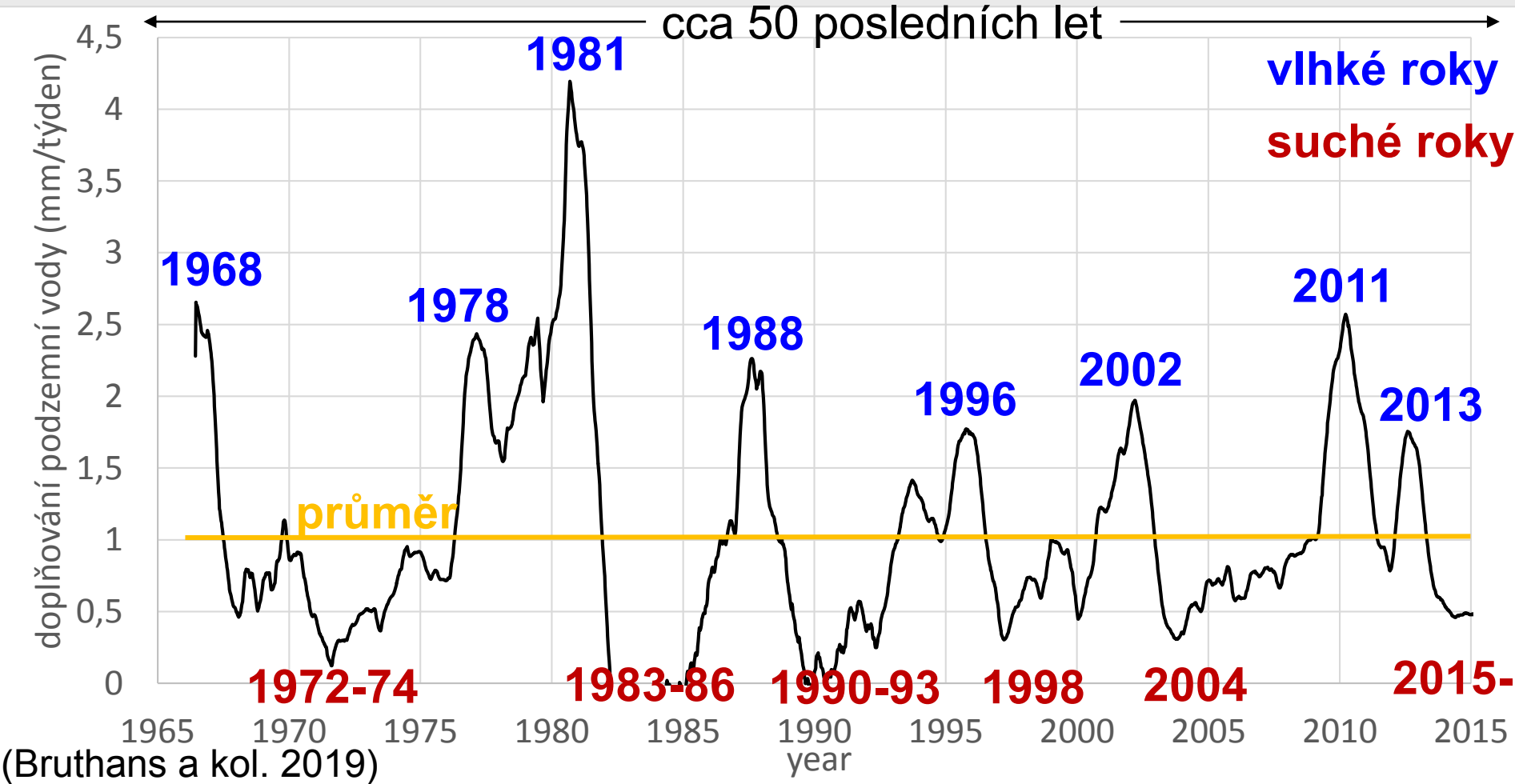
= 188 L/den (**2 osoby**)

-u pozemků zastavěných/pokrytých nepropustnými povrchy z 20% je již vliv zasakování velmi citelný

-zasakování ale nesmí negativně ovlivňovat okolní stavby

Doplňování podzemní vody ze srážek v Káraném (1967-2015)

- období výrazné dotace se střídají s výraznými suchými obdobími
- téměř není průměrná dotace, obvykle nižší střídaná krátkými obdobími vysoké dotace (i několik let prakticky bez dotace podzemní vody)
- v krystaliniku představují několikaleté období bez dotace zásadní problém (mnohem menší zásoby podzemní vody než v křídě či kvartéru!!!)



Hydrologická rovnice:

$$\text{Přítoky} = \text{Odtoky} \pm \text{změny zásob}$$

Přítoky :

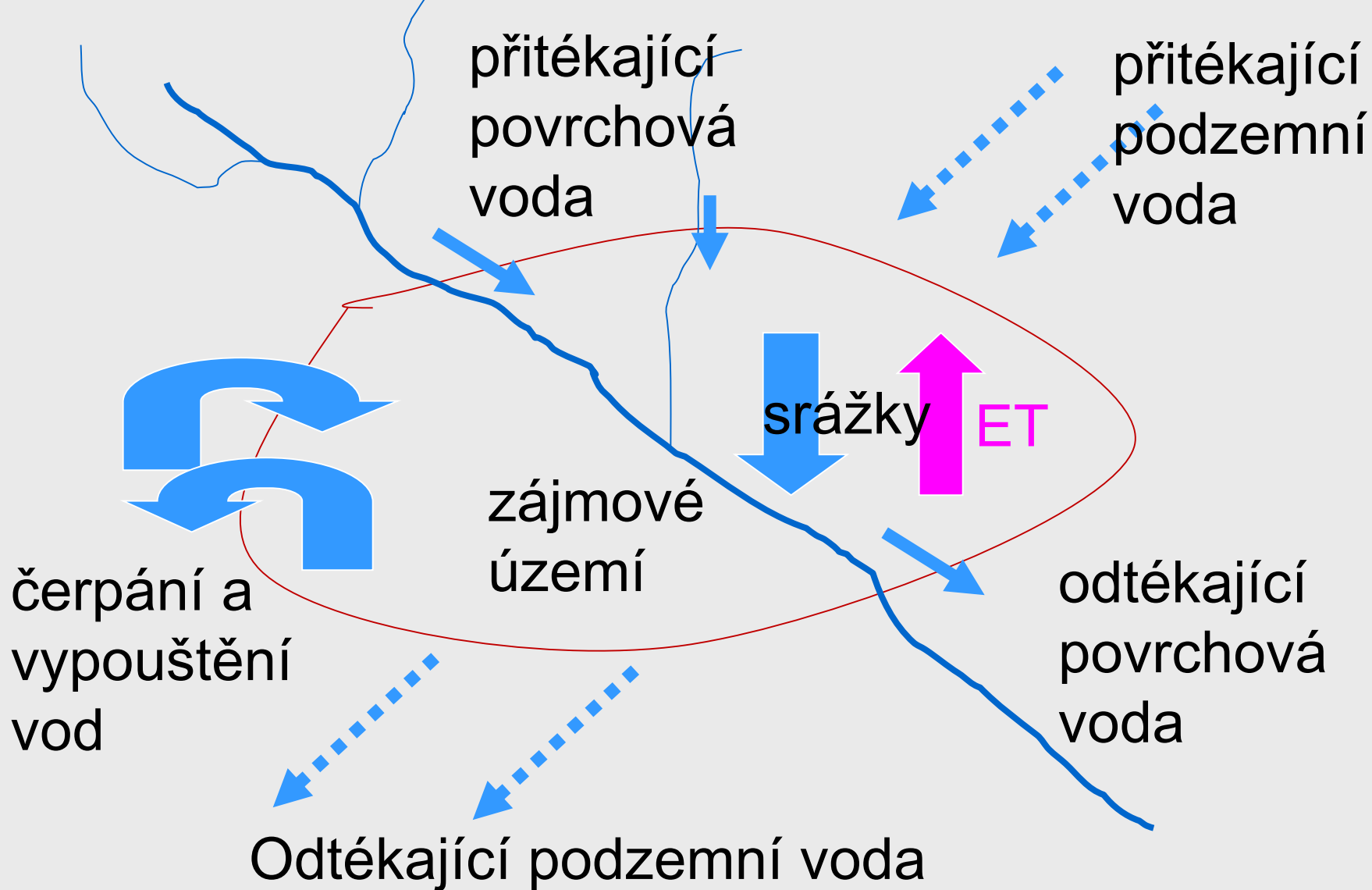
- srážky
- vstupující toky a povrchová voda
- vstupující podzemní voda
- umělé přítoky [zavlažování, vypouštění vod atd.]

Odtoky :

- výpar
- transpirace
- toky
- podzemní voda
- čerpání, chlazení elektráren

} ET

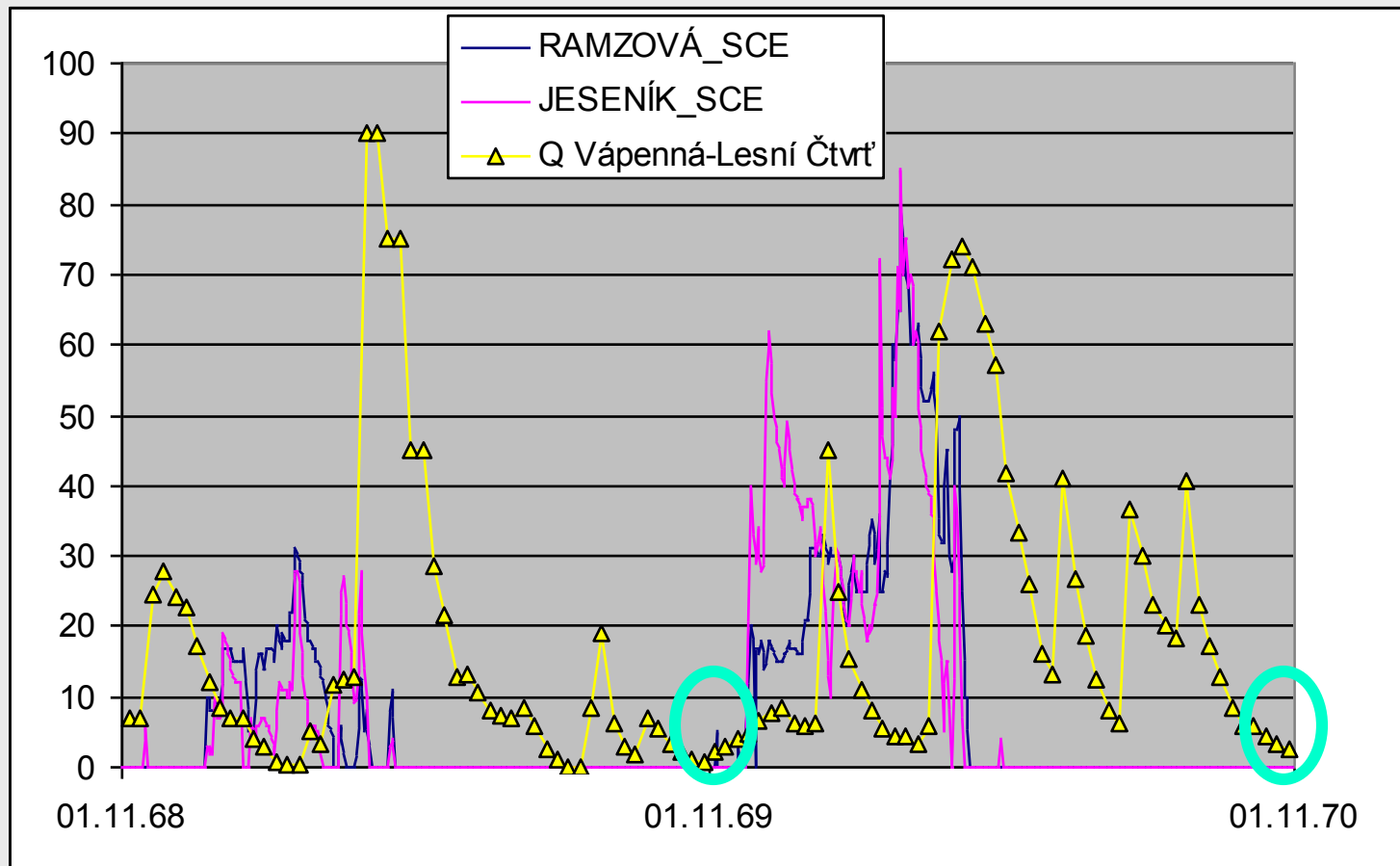
Bilance: Pro dané území a dané období (neustálené)



Pro řešení hydrologické rovnice je třeba vhodně vymežit zájmovou oblast aby se potlačil co největší počet členů rovnice (využít hydrogeologické rozvodnice)

HYDROLOGICKÝ ROK

- posunut vůči kalendářnímu roku tak aby i sněhové srážky odtekly během stejného roku a převládaly nízké stavy
- v různých státech různé datum
- v ČR od 1.11 do 31.10 následujícího roku



Bilance pro povodí s odběrem podz vody o ploše 10 km²:

$$\text{Srážky: } 600 \text{ mm/rok} = 0,6\text{m} * 10*10^6 \text{ m}^2 = \underline{6*10^6 \text{ m}^3/\text{rok}}$$

$$\text{Evapotranspirace} = 70\% \text{ srážek} = \underline{4,2*10^6 \text{ m}^3/\text{rok}}$$

$$\text{Prům. povrch odtok: } 30 \text{ l/s} = 0,03*3600*24*365 = \underline{0,95 *10^6 \text{ m}^3/\text{rok}}$$

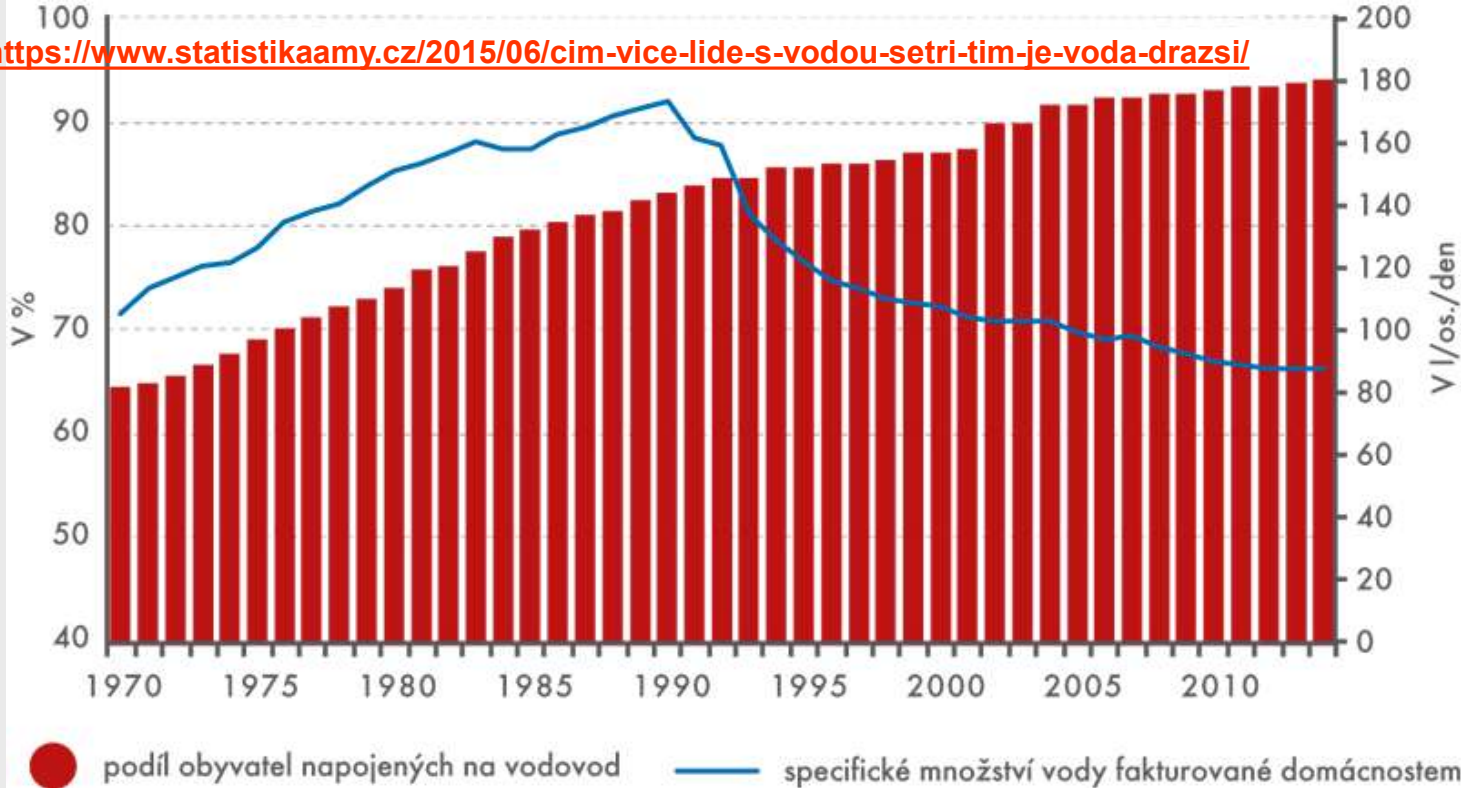
$$\text{Odběr podz. vody: } 90 \text{ l/s} = 0,06*3600*24*365 = \underline{2,8*10^6 \text{ m}^3/\text{rok}}$$

Bilance (m³/rok):

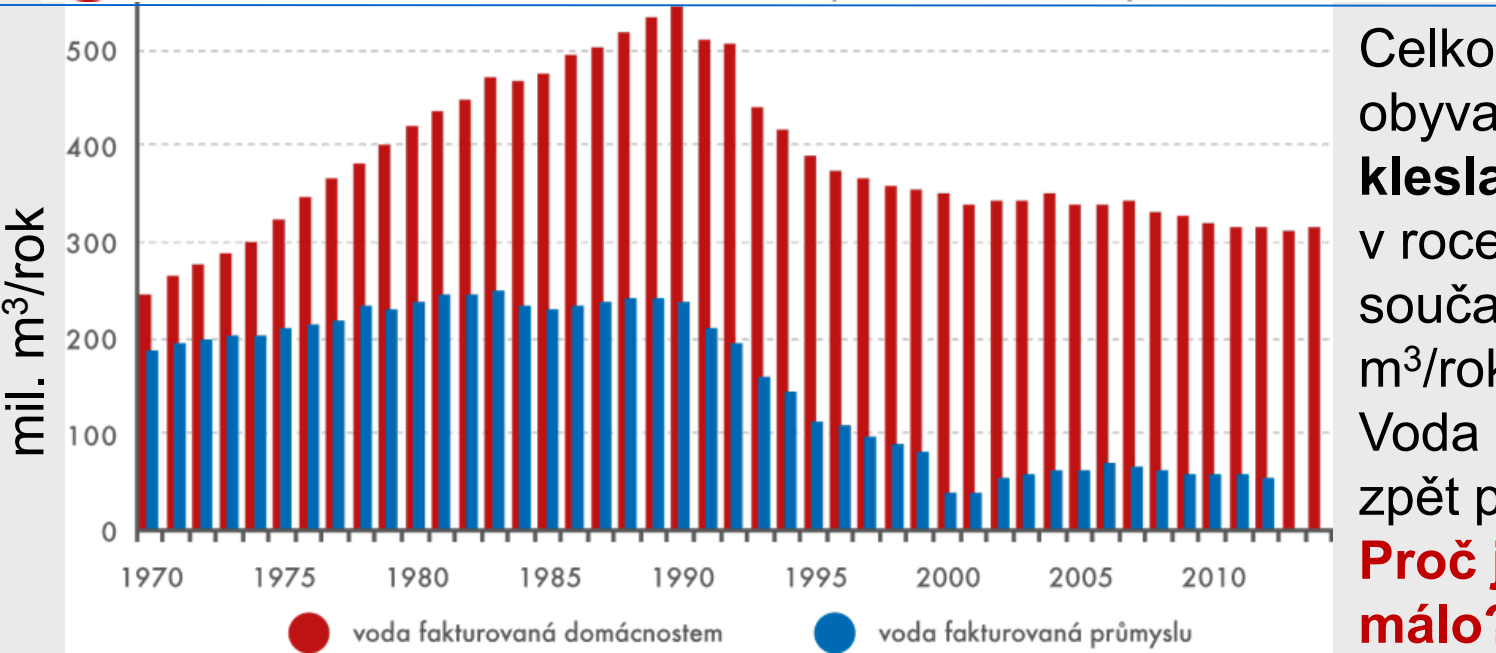
$$\Delta Z = S - ET - \text{Opov.odt.} - \text{Odběr} = 6 - 4,2 - 0,95 - 1,9 = -1,9 = \underline{2 \text{ miliony m}^3/\text{rok deficit}}$$

$$\text{čerpané množství} = S - ET - \text{Opov.odt.} - \Delta Z$$

<https://www.statistikaamy.cz/2015/06/cim-vice-lide-s-vodou-setri-tim-je-voda-drazsi/>



Spotřeba vody v ČR klesla z 180 l/os./den v roce 1989 na současných 90 l/os./den přitom 93% obyvatelů bere vodu z vodovodu



Celková spotřeba vody obyvateli a průmyslem klesla z 750 mil m³/rok v roce 1989 na současných 400 mil m³/rok (12,7 m³/s). Voda se navíc vypouští zpět po vyčištění
Proč je tedy vody málo?

Jímací území Litá, České Meziříčí (zásobuje Hradec Králové)

Jímací území Čerlinka a Pňovice-Březové se nachází v Litovelském pomoraví (zásobuje Olomouc)

Jímací území Řepínský důl (zásobuje Mělník, Kladno, Slaný)

- tam co vyvěralo velké množství podzemní vody jsou obvykle i vzácné ekosystémy vázané na podzemní vodu
- existuje střet zájmů mezi ochranou přírody a vodárenskými odběry
- dříve byly povoleny výrazně vyšší odběry, než půjde prosadit v budoucnu (pokud zájem zásobovat obyvatele pitnou vodou nepřeváží nad zájmem tyto plošně omezené lokality chránit)
- voda tedy nechybí, jen je v nedobytné kategorii

„Nedostatek vodních zdrojů v pilotním povodí Orlice, který je zapříčiněn především zpřísněním ochrany ekosystémů vázaných na úroveň hladiny podzemní vody“ Mrkvičková et

Klasifikace zásob (komise pro klasifikaci zásob KKZ z r 1979)

zásoby podzemních vod se člení na tři složky:

přírodní zdroje-přírodní **dynamická** složka podzemních vod
vyjádřená v **objemových jednotkách za čas**

přírodní zásoby-přírodní **statická** složka podzemních vod
vyjádřená v **objemových jednotkách**

indukované zdroje- přírodní dynamická složka podzemních vod
představujících přítok do jímací oblasti **v důsledku umělého
zásahu**, vyjádřená v objemových jednotkách za čas

umělé zdroje – umělé zasakování do horninového prostředí

z výše uvedených tří složek se vyčleňuje jako

využitelné zásoby podzemních vod ta část zásob, kterou lze z
horninového prostředí odebrat, **technickými prostředky účelně
zachycovat a využít.**

Z využitelných zásob se vyčleňuje současný **odběr** podzemní
vody