

Voda v lesních ekosystémech



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Osnova

- Globální koloběh vody
- „Malý“ koloběh vody
- Voda v lesních ekosystémech
- Příjmové a výdajové položky vodní bilance
- Vodní bilance
- Příklady

Několik slov úvodem

- Antarktida taje tempem jako když končila doba ledová
- Ještě rychleji ubývají ledovce v Arktidě
- Nejvíce se zmenšují horské ledovce v Himalájích a Andách (kriticky důležité zdroje sladké vody)
- Od roku 1958 se sezónní teploty zvýšily o 3 stupně C
- Předpoklad nárůstu teplot do roku 2050 o 3-6 stupňů
- Za půlstoletí ztráta tolik ledu, kolik tvoří tisíciletá spotřeba vody Velké Británie (6tis.let ČR)
- Převážně antropogenní příčiny (skleníkový efekt)
- Hloubka moří stoupá o 2,5mm ročně
- V relativně krátké době bude potřeba zajistit vodu pro 10mld. lidí na planetě
- Významné výsledky Ice2sea (výzkumný program EU), konference Rio+20 (2012) apod.

Co lze očekávat

- Častější výskyt suchých období
- Výskyt mimořádných klimatických situací (bouře, povodně)
- Zvýšení hladiny oceánů
- Nedostatek zdrojů pitné vody (do roku 2050 kritické pro 40 % světové populace)

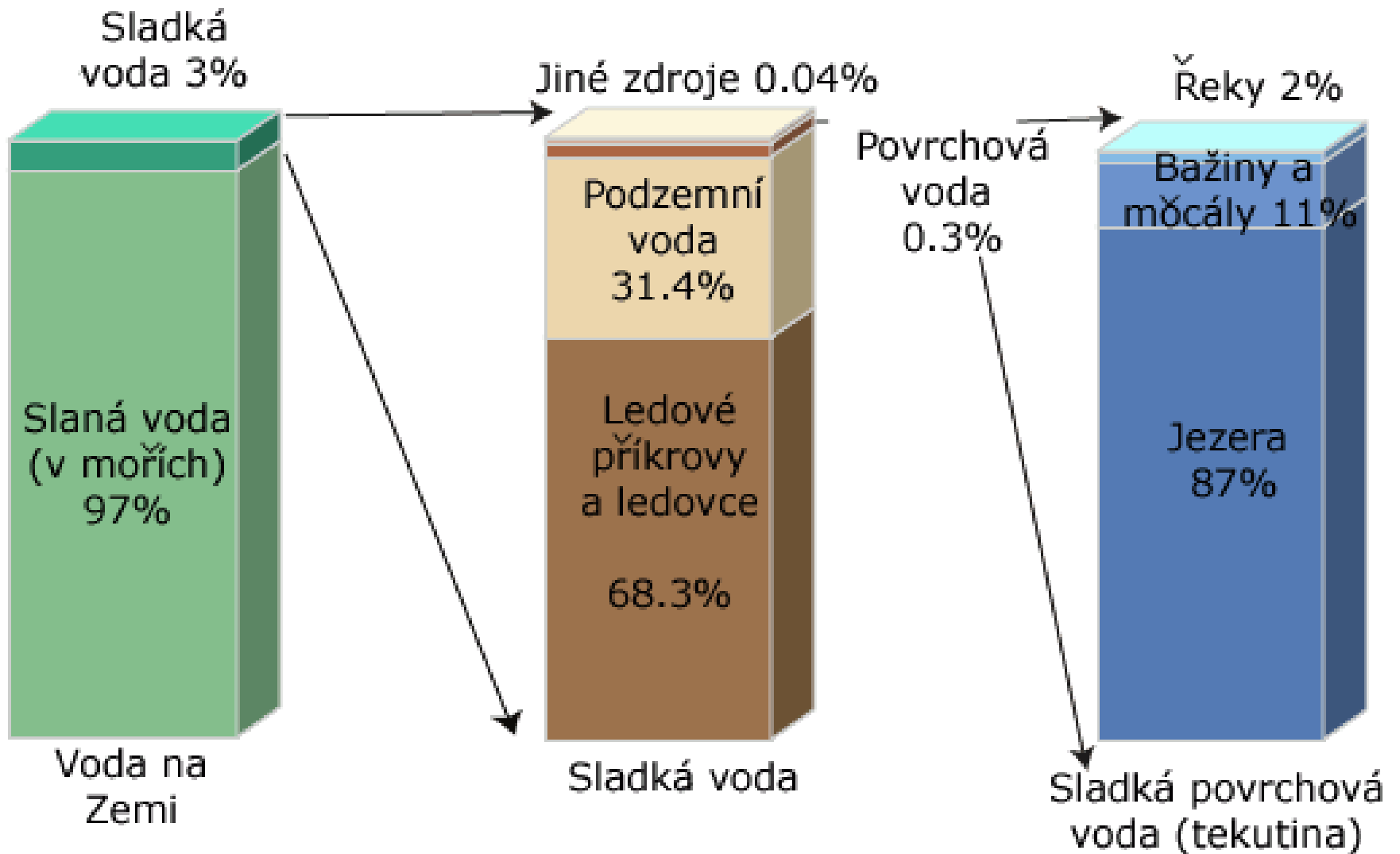
Voda x lesní ekosystémy

- Voda umožňuje příjem živin a metabolické procesy (**fotosyntéza, respirace...**) – terestrické rostliny
- Životní prostředí pro vodní rostliny (mangrovy..)
- Ovlivňování klimatu (mikro, mezo, globální)
- Les jako modifikátor odtoku vody v povodích – **hydrologická bilance (srážky = výpar+ odtok), srážkoodtokové poměry, retenční a retardační funkce lesa (povodí), protipovodňová ochrana.**

Voda jako životní prostředí rostlin

- Voda „sladká“
- Voda slaná
- Voda brakická
 - obsah solí, hustota záření – fotická zóna, hloubka vody, oxid uhličitý, obsah kyslíku, minerální živiny
 - epilitorál, eulitorál, sublitorál
- Biotopy ovlivněné vodou -mokřady, vodní toky, prameniště, rašeliniště, lužní lesy (Katalog biotopů)

Rozdělení zásob vody na Zemi

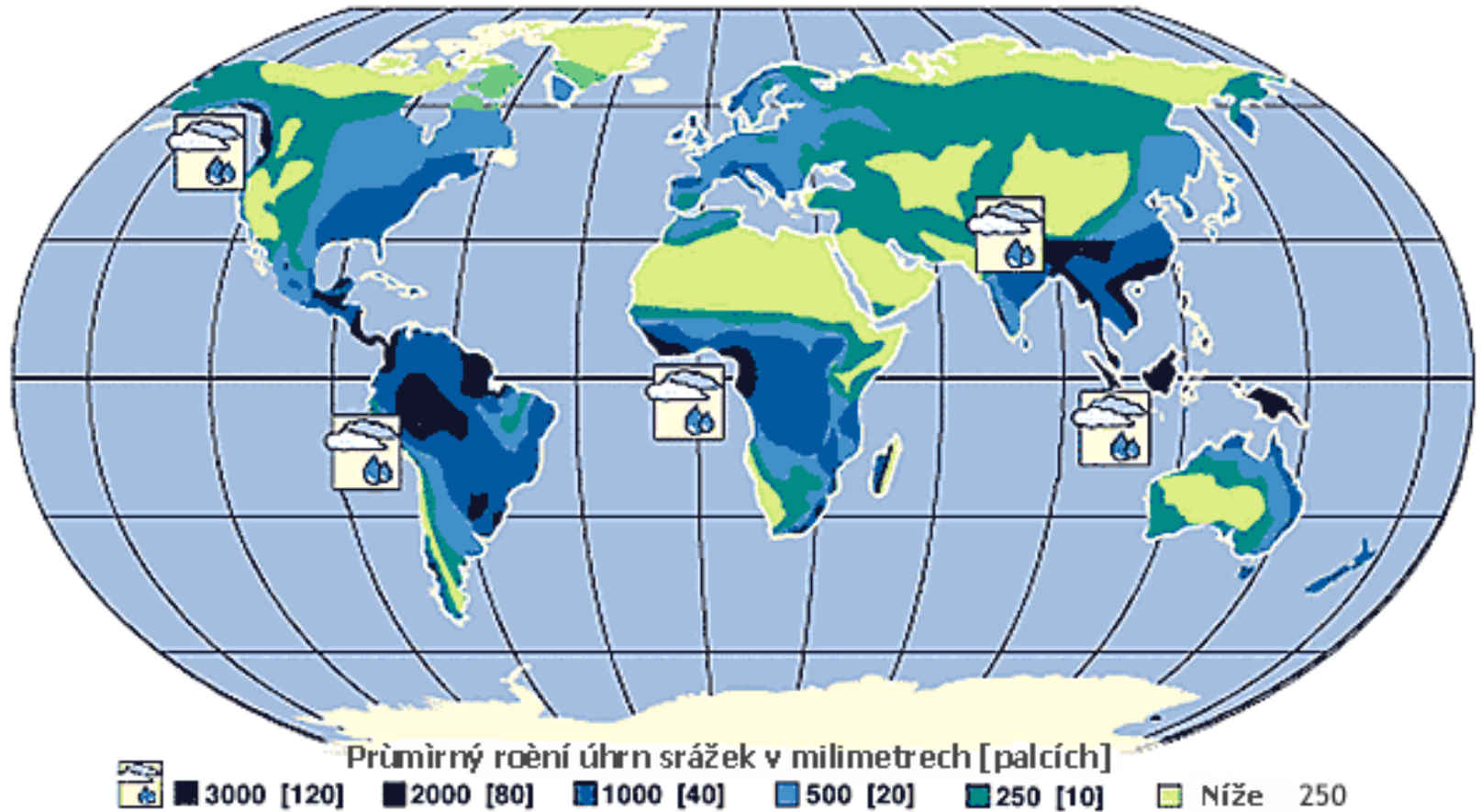


Odhad rozložení světových zásob vody:

Vodní zdroj	Objem vody, v krychlových mílech	Objem vody, v krychlových kilometrech	Procento sladké vody	Procento z celkového objemu vody
Voda v oceánech, mořích a zálivech	321,000,000	1,338,000,000	--	96.5
Voda v ledových příkrovech, ledovcích a věčném sněhu	5,773,000	24,064,000	68.7	1.74
Podzemní voda	5,614,000	23,400,000	--	1.7
Sladká	2,526,000	10,530,000	30.1	0.76
Slaná	3,088,000	12,870,000	--	0.94
Půdní vlhkost	3,959	16,500	0.05	0.001
Suchozemský led a věčně zmrzlá půda	71,970	300,000	0.86	0.022
Jezera	42,320	176,400	--	0.013
Sladká	21,830	91,000	0.26	0.007
Slaná	20,490	85,400	--	0.006
Voda v atmosféře	3,095	12,900	0.04	0.001
Voda v bažinách	2,752	11,470	0.03	0.0008
Voda v řekách	509	2,120	0.006	0.0002
Voda v rostlinách	269	1,120	0.003	0.0001
Celkový objem vody	332,500,000	1,386,000,000	-	100

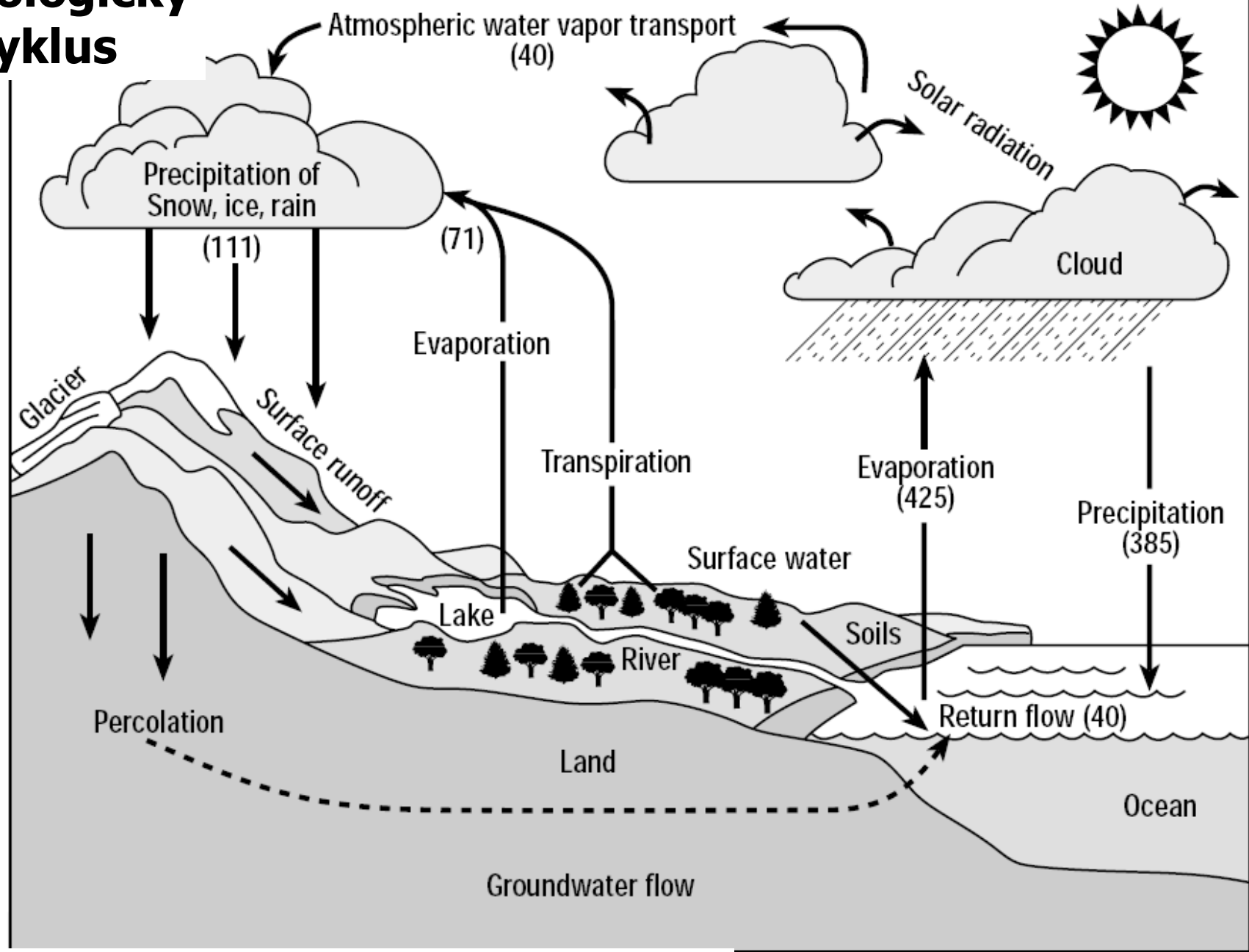
Zdroj: Water resources. In Encyclopedia of Climate and Weather, edited. by S. H. Schneider, Oxford University Press, New York, vol. 2, pp.817-823..

Srážky



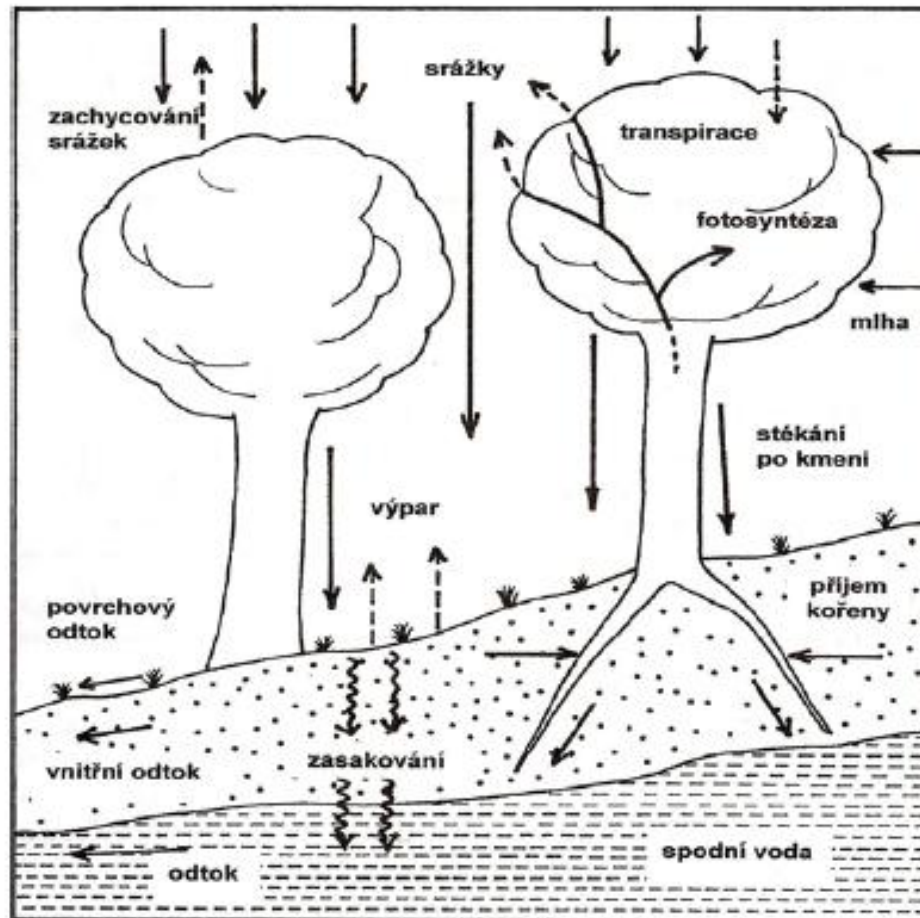
Earth Forum, Houston Museum of Natural Science

Hydrologický cyklus



V závorkách bilance vody v $10^{12} \text{ m}^3 \text{ rok}^{-1}$

Koloběh vody lesním ekosystému



Příjmové položky

- Atmosférické srážky (déšť, sníh, kroupy)
- Podkorunové srážky „throughfall“
- Voda stékající po kmeni „stemflow“
- Mlha (horizontální srážky)
- Rosa (okap vody)
- Mraky (hory, tropické lesy)
- Povrchový odtok (i ztrátová položka)
- Podpovrchový odtok (i ztrátová položka)
- Podzemní voda

Atmosférické srážky

- **Vertikální** (déšť, sníh)
 - zeměpisná šířka, délka, nadmořská výška, v ČR od 440 mm – 2100 mm, nejčastěji 500-600 mm, rozložení srážek,
 - dostupnost srážek rostlinám je ovlivňován reliéfem terénu (návětrná, závětrná strana pohoří), půdou a charakterem porostu
 - sklon stanoviště (rychlost odtoku)
 - nadmořská výška (nejvyšší srážky v pásmu mlh a oblaků)
 - vliv povrchového humusu, půdního humusu, textury a struktury půdy (zrnitost, půdní póry, půdní agregáty)
 - na charakteru porostu, porostech=intercepce (sm až 50% vody zadrží v korunách, bk-20-30%), drsnost kmene – bk až 1/5 celkové vody

Horizontální srážky – kondenzační

- Mlha, rosa, jinovatka, námraza
 - vznik kondenzací vodní páry (teplota klesne k teplotě rosného bodu) pro daný obsah vodní páry ve vzduchu
 - mlha =na kondenzačních jádrech (prach), rosa na povrchu rostlin, půdy..)

Sníh

- Zdroj vody (pozvolné vsakování)
- Tepelný a vlhkostní izolátor
 - rostliny nesnášející dlouhodobou pokrývku sněhu = chianofóbní, společenstva společenstva chianofóbní
 - rostliny snášející dlouhodobou pokrývku =chianofylní, společenstva chianofylní
- Mechanické vlivy (laviny, mokrý sníh, obrušování větrem - vlajkové formy stromů)

Voda v zásobách (hydromasa)

- V biocenóze (rostliny, živočichové, mikroorganismy)
- V ovzduší
- V půdě (vázaná voda, kapilární voda...)
- Ve fytomase cca 100 t/ha (relativně malé množství oproti srážkám 10 tis. t/ha/rok)
- Výrazné denní a sezónní výkyvy
- V mírném pásu až 30%

Výdajové položky

- Intercepce (zadržení vody korunami) , viz dále
- Evaporace - výpar z půdy a volné hladiny
- Transpirace - výpar z povrchu listů – voda přiváděná kořeny, stonkem (kmenem) do větví a listů (transpirační proud, vodní provoz rostlin - ekofyziologie)
- Evapotranspirace - souhrnný výpar (aktuální, potenciální) – viz dále
- Infiltrace (gravitační a kapilární voda – volná, zavěšená)
- Povrchový a podzemní odtok (lyzimetry)

Pozn.: Některé položky mohou být na různé úrovni hodnocení buď výdajovou nebo příjmovou položkou

Intercepce

- Záchyt srážek v korunách stromů a vegetací (neproduktivní výpar), časově odstupňovaný proces, závisí na síle srážky, délce trvání, zápoji, věku, charakteru korun a vegetačního pokryvu, síle větru
- Velikost od 5 – 50% , nejčastěji 25%

Vzorec: Valtýni (1986)

$$I_p = P - (P_k + S_k + P_{b+h})$$

I_p = Intercepce porostu

P = srážky na volné ploše

P_k = podkorunové srážky

S_k = stok po kmeni

P_{b+h} = srážky pod podkorunovou vegetací , případně i hrabankou

Výdej vody rostlinou

Transpirace

- Transpirace je výdej vody povrchem rostlin, respektive listem. Je ukončením tzv. transpiračního proudu, který vede vodu z kořenů cévními svazky do listů (*hydrostabilní rostliny x hydrolabilní rostliny*)
- Transpirace umožňuje zásobování všech částí rostliny vodou a minerálními živinami, zabraňuje přehřívání listů
- Stomatalní x kutikulární (difuze vodní páry stomaty nebo kutikolou)
- Faktory: teplota, nasycenost vodními párami, dostupnost vody v půdě
- Zajišťuje správný průběh fotosyntézy, dýchání a přenos minerálních živin v rostlině (*podrobně viz kap. vodní provoz*)
- Souvislé rostlinné porosty transpirací vyrovnávají teplotní rozdíly mezi dnem a nocí.
- Příbuzným jevem je gutace, kdy dochází k výdeji vody v kapalně formě.

Koeficient transpirace

- Udává, kolik gramů vody musí rostlina odpařit, aby vytvořila 1 g sušiny.
- Dub 340
- Bříza 320
- Buk 170
- Borovice 300
- Modřín 260
- Smrk 230
- Douglaska 170

Evapotranspirace

- **Evapotraspirace** (fyzikální a fyziologický výpar) - voda transpirovaná z vegetace a fyzikálně odpařená z různých povrchů a půdy), 40-90%, cca 7 tis. t/ha/rok (srážky 10tis.t/ha/rok při 1000mm)
- **Aktuální evapotranspirace** – skutečné množství vody odpařené z půdního povrchu, volné hladiny, rostlinstva a dalších povrchů do ovzduší - výpar ve skutečných podmínkách. Závisí na dostupnosti vody, která je na daném místě k dispozici. Stanovuje se výpočtem.
- **Potenciální evapotranspirace** – je maximálně možný výpar za předpokladu dostatečného množství vody na výpar. Vyjadřuje schopnost ovzduší odebrat vodu z prostředí , které mají dostatek vody. Stanovuje se přímo (výparoměry) nebo (Penmanův vzorec). Většinou větší než výpar skutečný
- **Potenciální evaporace** – ztráty vody výparem z volné hladiny

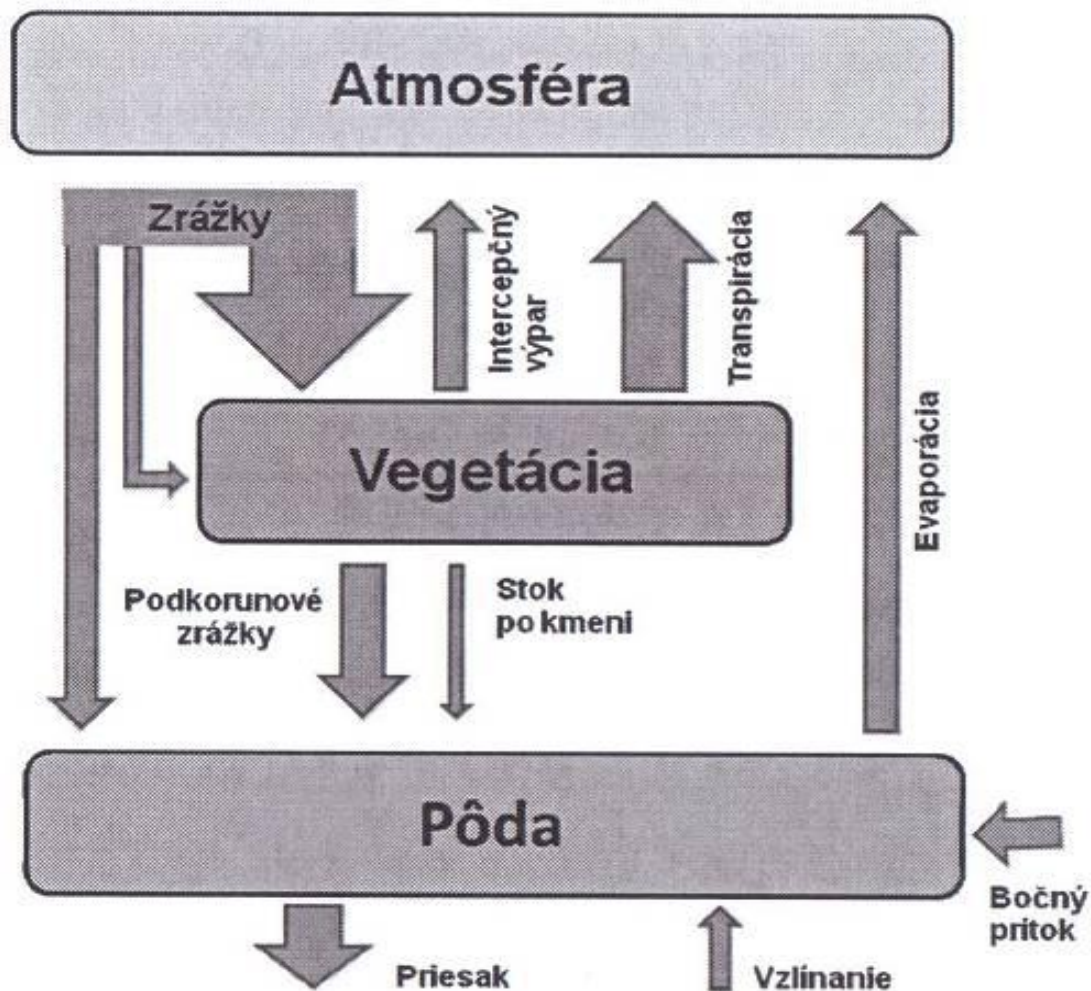
Vodní bilance

Úrovně:

- rostliny,
- půdy,
- lesního porostu,
- povodí
- krajiny

Schéma vodní bilance lesního porostu

Rutter 1976



Bilanční rovnice - lesní porost

Vodní bilance lesního porostu (ekosystému)

$$\mathbf{VB = AS - ET - HO - BPO (+ PV)}$$

VB - vodní bilance

AS - Atmosférické srážky

ET- Evapotranspirace

HO – hydrologický odtok (gravitační vodou)

BPO – rozdíl bočního přítoku a odtoku

PV – podzemní voda (kapilární vzlínání)

Vodní bilance - půda

Obecně platí: **rozdíl mezi příjmem a výdajem vody**

$$\Delta W_s = S_v + S_h - I - E_s - T - O_p - O_z$$

ΔW_s – změna zásoby vody v půdě

S_v – vertikální srážky

S_h – horizontální srážky

I – intercepce (zachycení srážek na povrchu vegetace)

E_s – evaporace (výpar z půdy)

T – transpirace rostlin

$I + E_s + T$ – evapotranspirace

O_p – povrchový odtok

O_z – podpovrchový odtok (podzemní)

Vodní bilance rostlin

$$\Delta W_r = A - T$$

A – absorpce vody (přijatá voda)

T – transpirace (vydaná voda)

Při záporných hodnotách = vodní deficit, snížení turgoru, vadnutí

Vodní sytostní deficit – vypočtená hodnota, kolik vody v % chybí v pletivu do plného nasycení

Příjem vody rostlinou

- Bezcévnaté rostliny celým povrchem baktérie, řasy, houby, lišejníky..)
- Cévnaté rostliny terestrické – kořeny), vyjma epifitické orchideje, bromélie
- Příjem vody závisí na:
 - fyzikální a chemické vlastnosti půdy (textura, struktura, humus, hloubka půdy..)
- Kořenový systém

Členění rostlin podle nároků na vodu

Hygrofyty (vlhkomilné) – rostliny mající některé části ponořené ve vodě nebo žijící na zamokřených půdách.

Hydrofyty – vodní rostliny

Helofyty – bahenní rostliny

Xerofyty – rostliny přizpůsobené fyziologickými a morfologickými vlastnostmi růstu a rozmnožování pro obývání suchých stanovišť

Adaptace rostlin k nárokům na vodu

- Zvětšení kořenového systému
- Zvýšení „sávé síly“ kořenů – snížení min vodního potenciálu kořenů
- Xeromorfní modifikace listů a stonků
- Snížení plochy transpirujících orgánů
- Změna poměru podzemní/nadzemní biomasy
- Zásobní pletiva (sukulenty)...

Formy vody v půdě

Adsorbčně vázaná – poutaná na půdní částice, molekuly vody poutané k povrchu pevných částic adsorpčními a osmotickými silami (pro rostliny fakticky nepřístupná)

Hygroskopická voda je v půdě silně poutána a může být přijímána jen některými mikroorganismy. Představuje přechod k vodě kapilární

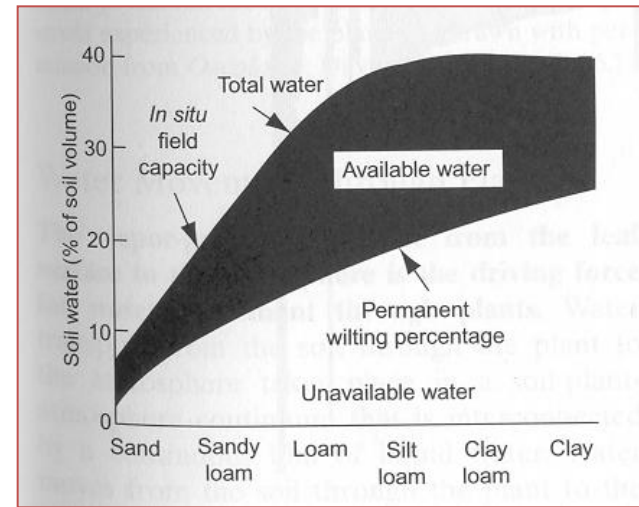
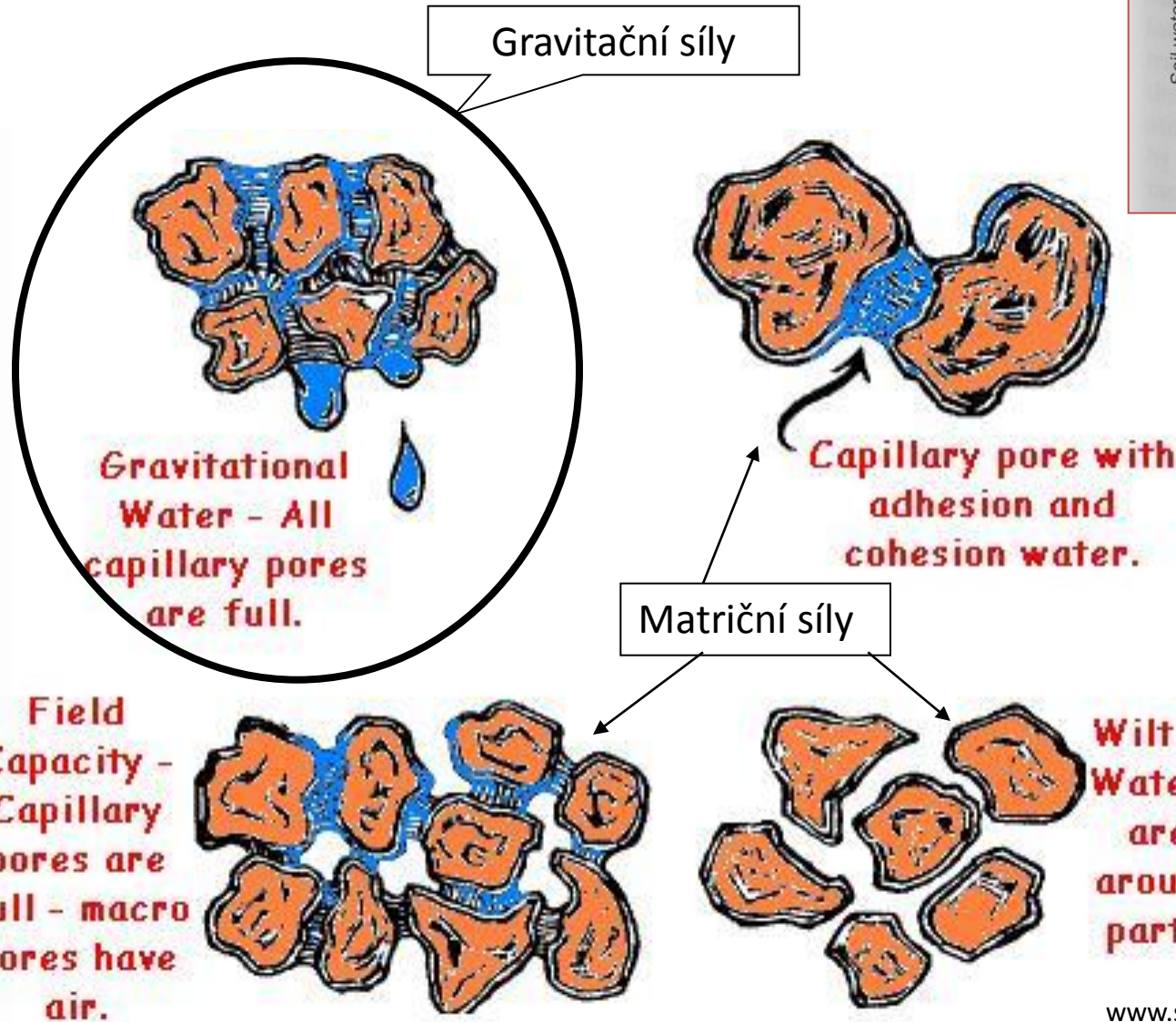
Kapilární – do 0,2nm nepřístupná, 0,2-0,10nm přístupná (středně velké kapilární póry), Rozeznáváme kapilární vodu vzlínající (pohyb vzhůru proti gravitaci) a kapilární vodu zavěšenou

Volná – nekapilární póry nad 10nm (voda přístupná)

Gravitační – póry nad 50nm (průsaková, přístupná), přebytek vody nad polní vodní kapacitu.

Podzemní – volná hladina (aluviální území..)

Voda v půdě



Dostupnost vody

- **Statická** – daná hodnotou vodního potenciálu
 - jednotkou je energie v J.kg vody (častěji v jednotkách tlaku (Pa), $1\text{bar}=0,1\text{MP}=10^5\text{ Pa}$)
 - transport vody mezi půdou a kořenem je dán gradientem (spádem) vodního potenciálu
(Gradient je rozdíl na jednotku vzdálenosti)
Půdní hydrolimity: max. kap.vod. kapacita, číslo hygroskopicity,...
- **Dynamická** – transport vody závisí i na odporu půdy na hranici kořen-půda a na velikosti aktivního povrchu kořenů
Půdní hydrolimity: Bod trvalého vadnutí

Vodní potenciál „Retenční čáry vlhkosti“ – hodnota pF

- Retenční čára vlhkosti (též pF čára) je grafickým zobrazením vztahu mezi vlhkostí a sacím tlakem půdy.
- $pF = \log_{10}$ výšky vodního sloupce (cm), který má hydrostatický tlak odpovídající vodnímu potenciálu půdy
- Průběh retenční čáry závisí na zrnitostním a mineralogickém složení půdy, obsahu humusu, výměnných kationtech, struktuře a objemové hmotnosti.
- Určuje se pro každou půdu zvlášť.

Půdní hydrolimity

- **Plná vodní kapacita** (maximální vodní kapacita, vlhkost nasycení) je hodnota vlhkosti při úplném zaplnění půdních pórů a dutin vodou.
- **Bod vadnutí** (BV) znamená vlhkost půdy, při které rostliny nejsou dostatečně zásobeny půdní vodou a vadnou. Vadnutí probíhá v dost širokém intervalu vlhkosti, proto se jako mezní limit udává spodní mez tohoto intervalu. Vlhkost půdy, při které se již projevuje trvalé vadnutí, závisí na druhu rostliny, jejím vývojovém stádiu atd. Hodnota pF pro bod vadnutí je stanovena na 4,18.

Půdní hydrolimity - pokračování

- **Polní kapacita** je množství vody, které je půda schopna po infiltraci udržet delší dobu. Kapilární póry naplněné vodou, makropóry vzduchem. Stanovuje se terénním **pokusem**.
- **Retenční vodní kapacita (RVK)** je vlhkost dosažená za stejných podmínek jako polní kapacita, avšak v homogenním profilu.
- **Absolutní vodní kapacita** (maximální kapilární kapacita – MKK) je hydrolimit, který nahrazuje obtížně stanovitelnou polní kapacitu. Tato hodnota se stanovuje laboratorně.

Půdní hydrolimity - pokračování

- **Bod snížené dostupnosti** - vlhkost, při níž se podstatně snižuje pohyblivost půdní vody. Tento bod se nachází mezi retenční vodní kapacitou a bodem vadnutí. Také se označuje jako vlhkost přerušení kapilární spojitosti, vlhkost zpomalení růstu nebo **lentokapilární bod**.

Vodní bilance dospělých smrkových a bukových porostů

Autor Oblast šetření	Srážky volné plochy	Smrk		Buk	
		celkový výpar	odtok	celkový výpar	odtok
Brechtel, Hoyningen - Huene (1978) NSR - Frankfurt n.M.	663 mm	582 mm 88 %	81 mm 12 %	554 mm 84 %	109 mm 16 %
Benecke, van der Ploeg (1978) NSR - Solling	1066 mm	616 mm 58 %	450 mm 42 %	515 mm 48 %	551 mm 52 %
Ambros (1978) Slovensko - Karpaty	1100 mm	550 mm 50 %	550 mm 50 %	451 mm 41 %	649 mm 59 %
Zelený (1971, 1974) ČR - Beskydy	sm 1080 mm bk 1250 mm	476 mm 44 %	604 mm 56 %	433 mm 35 %	817 mm 65 %
Kantor (1984) ČR - Orlické hory	1296 mm	491 mm 38 %	805 mm 62 %	346 mm 27 %	950 mm 73 %

Příklad výsledků – Beskydy – srážko odtokové poměry 1954-2005 (Bíba et al. 2006)

Letecký snímek povodí Malá Ráztoka.



Letecký snímek povodí Červík.



- Vztah srážek a odtoků je více závislý na přírodních podnětech než na metodách hospodaření.
- Velikost retenční kapacity lesních půd cca 50 mm v daných podmínkách.
- Protipovodňová a protierozní funkce lesů ovlivnitelná lesním hospodařením.

Příklad vodní bilance Dražanská vrchovina (Klimo et al. 2010)
 Smrkový porost 80 let

	mm	%
Roční srážky (volná plocha)	674	
Srážky vegetační období (volná plocha)	422,7	100
Podkorunové srážky	269,7	64
Stok po kmeni	4,1	1
Podkorunové srážky + stok po kmeni	273,8	65
Intercepce	149,6	35
Povrchový odtok	10,2	2
Podpovrchový odtok	27,4	7
Zásoba vody v půdním profilu	48,4	11
Potenciální evapotranspirace	450,7	107
Aktuální evapotranspirace (výpočet)	295,0	69
Aktuální evaporace z půdy	83,1	20

Otázky

- „Malý“ a „velký“ cyklus vody
- Příjmové a výdajové položky vody na úrovni ekosystému
- Intercepce
- Evapotraspirace
- Voda v půdě
- Hydrologická (vodní) bilance)
- Dělení rostlin podle nároků na vodu
- Adaptace rostlin

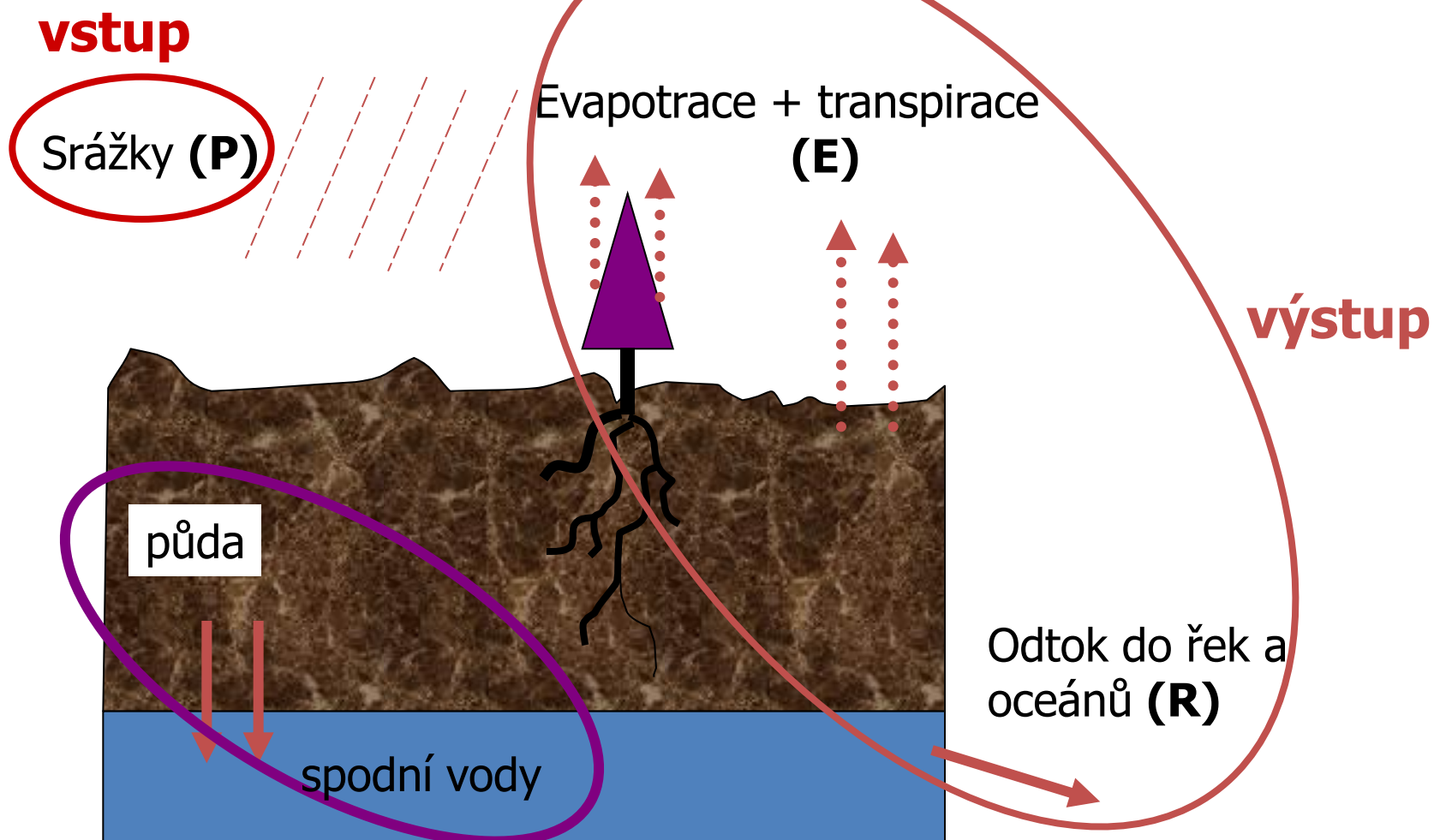
Literatura

- Slavíková, J. - Rostlinná ekologie
- Begon M., Harper J., Townsed, C - Ekologie
- Kulhavý a kol. - Ekologie lesa (Doplňkový učební text)
- Chytrý M. - Katalog biotopů
- Kutílek, M. - Vodohospodářská pedologie
- Štěrba, O. - Říční krajina a její systémy
- Vančura, K. et al. - Les a voda v srdci Evropy
- Mindáš, J., Škvarenina, J. - Lesy Slovenska a voda
- Penka, M. et al. - Floodplain Forest Ecosystem I, II

Obrazová příloha

Základní principy bilance vody

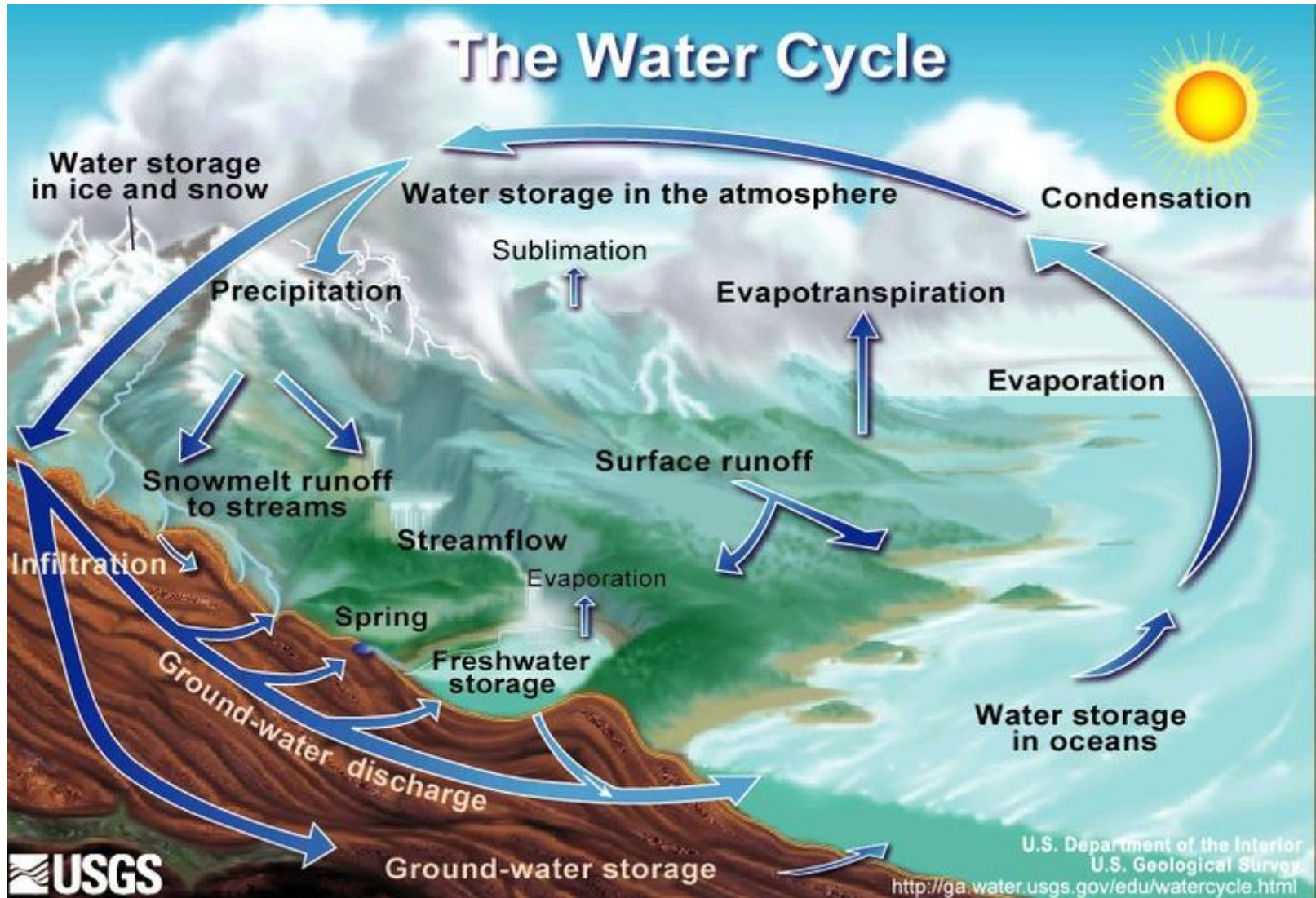
$$P \pm \Delta S = E + R$$



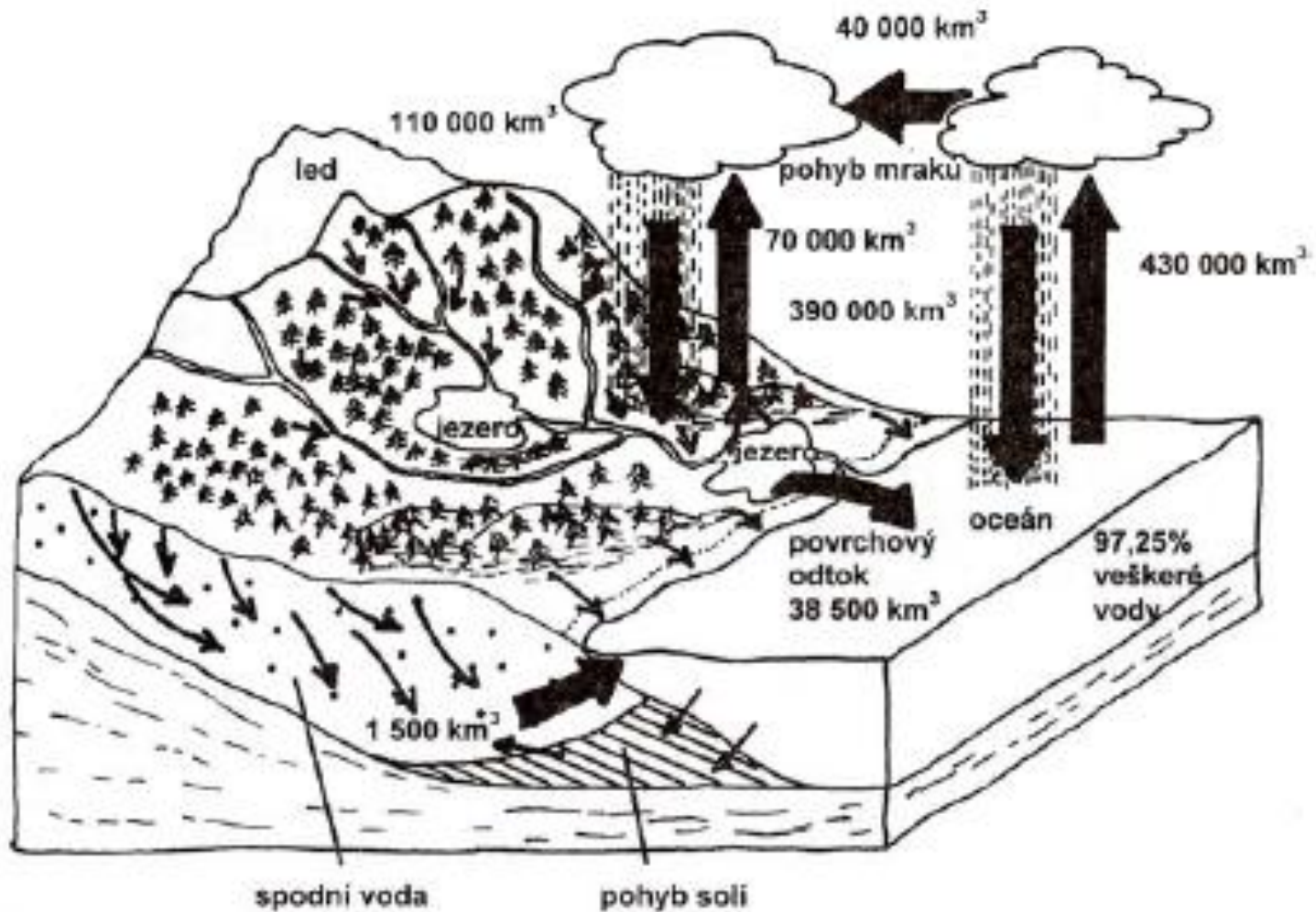
Zásoba (S)

Obvykle $\Delta S \ll P$ nebo $E+R$, pak **$P \sim E+R$**

Globální koloběh vody na Zemi

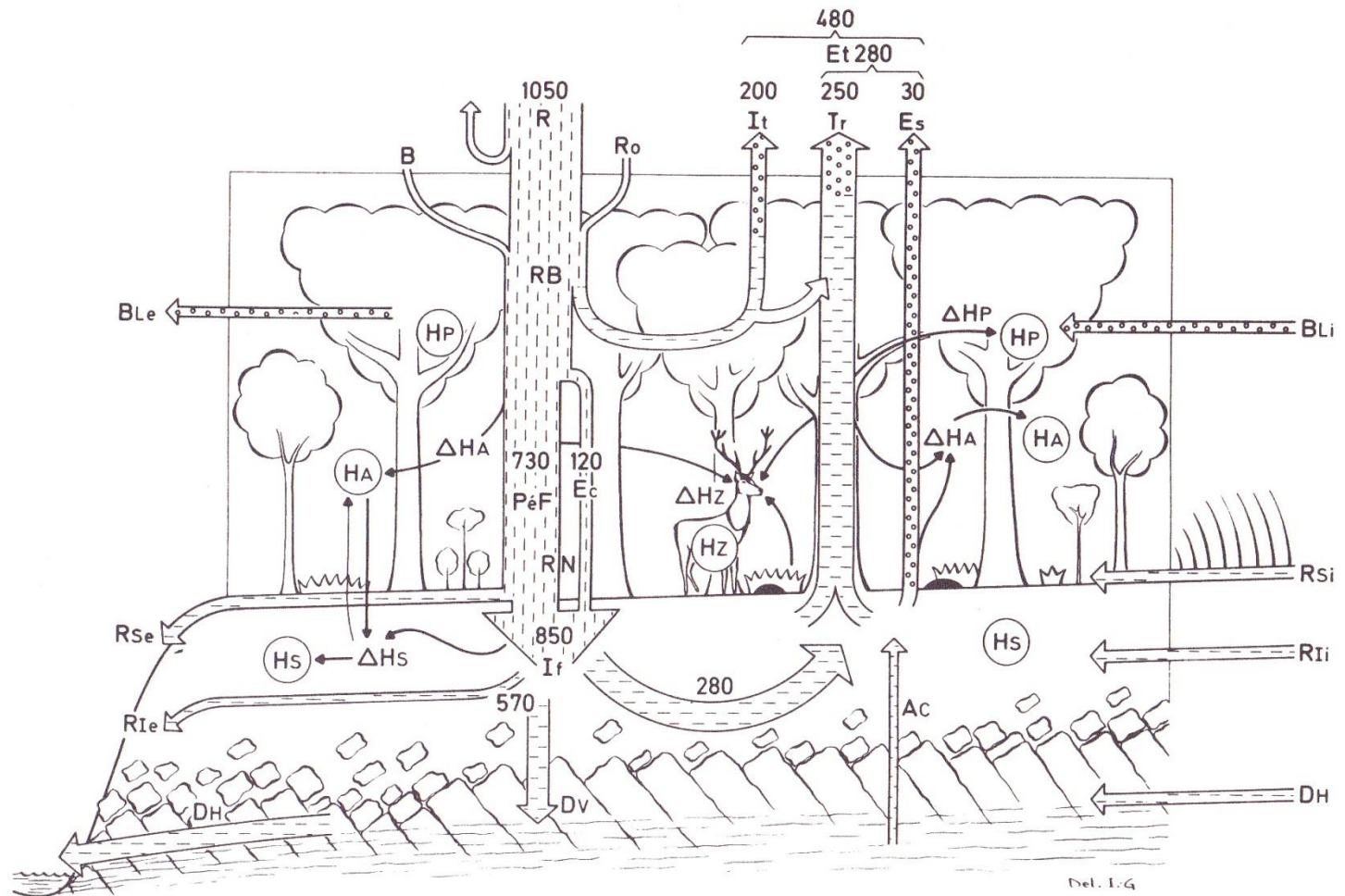


Globální koloběh vody na Zemi

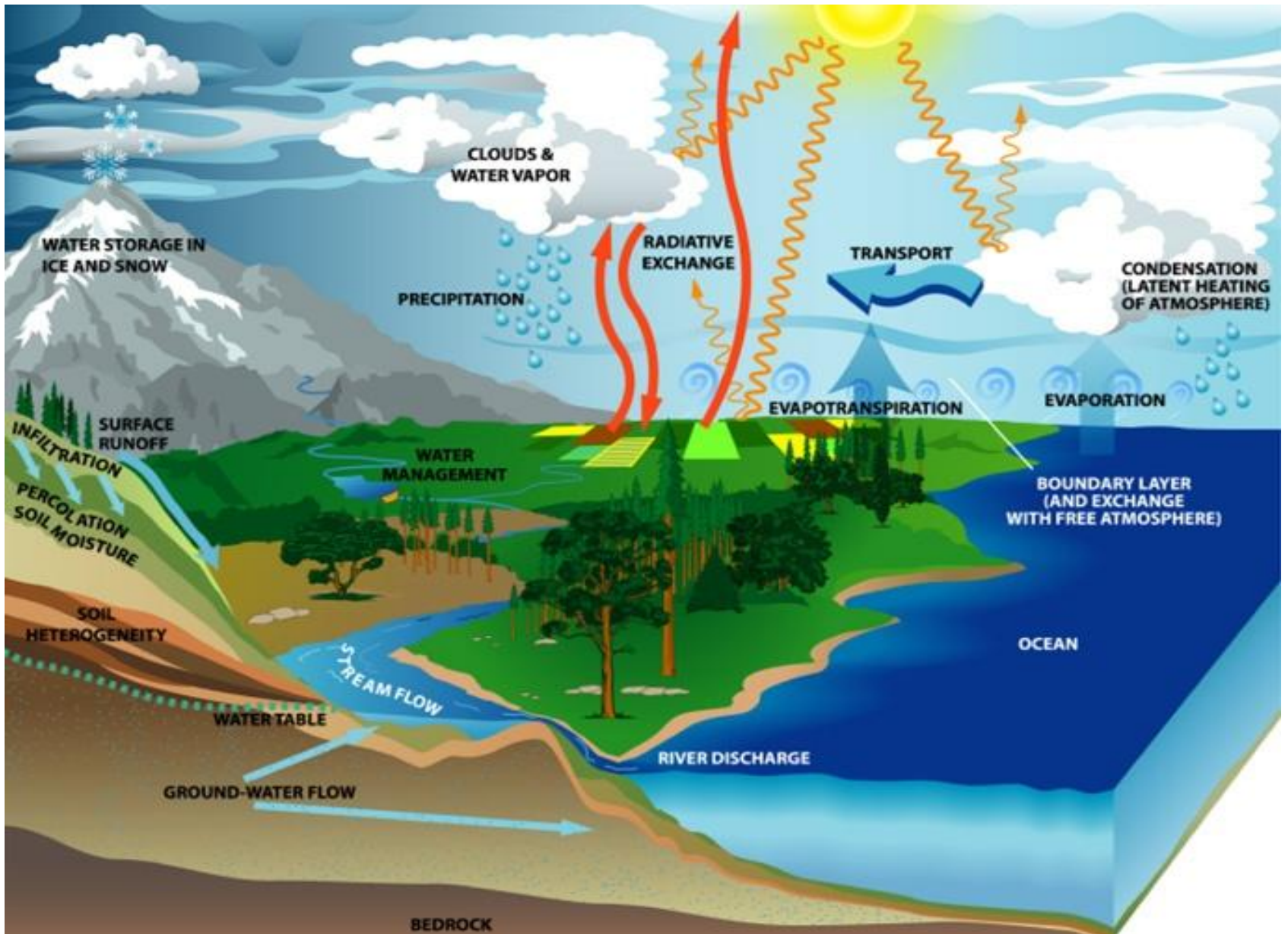


Bilance vody v lesním ekosystému

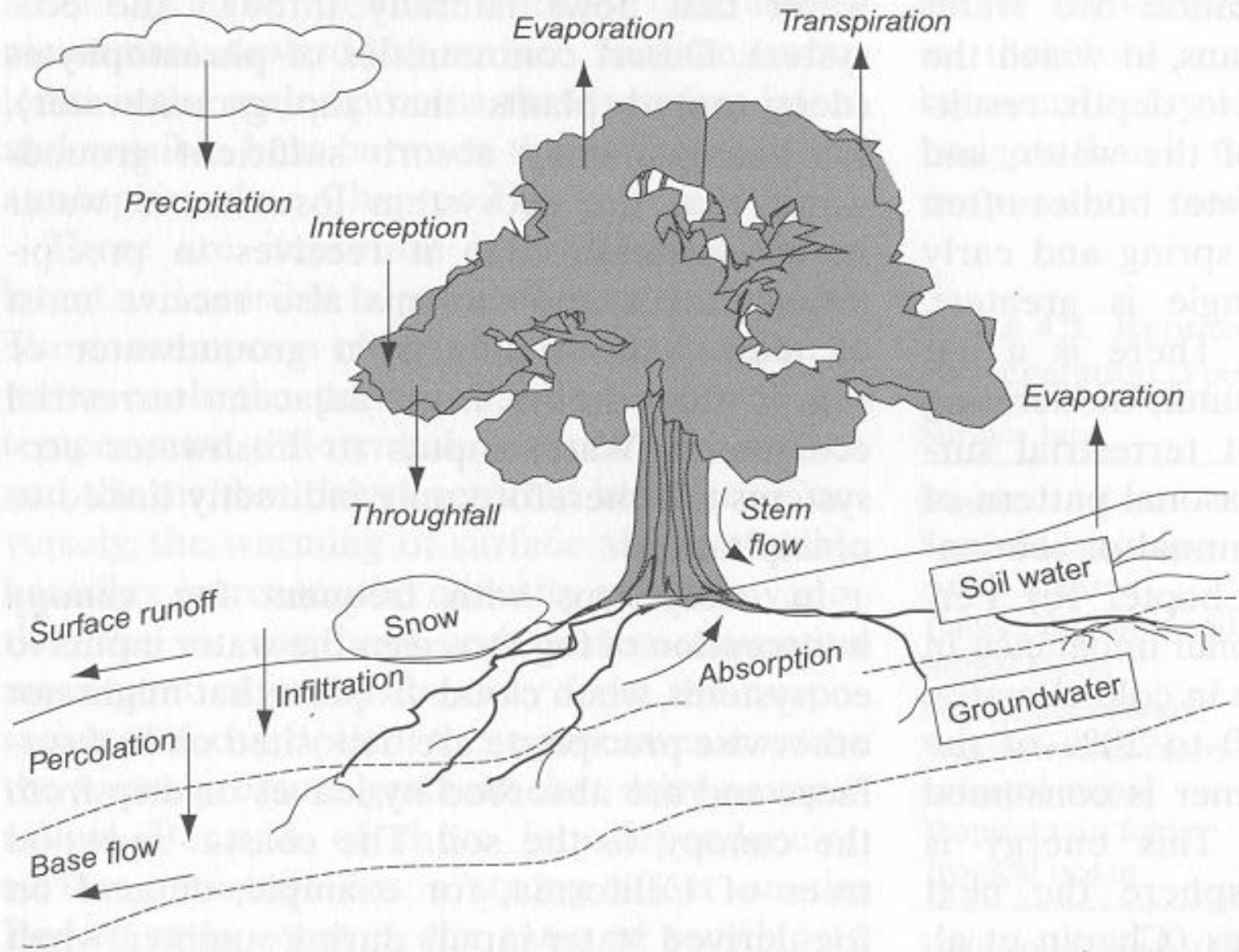
Devigneaud, 1988



R – srážky, Bli – mlha, N – mraky, Ro – rosa, RB – bruto srážky, RSi – povrchový odtok, DH – horizontální drenáž, Pe´D – přímý průnik, Eg – voda okapávací, Ec – voda stékající, RN – netto srážky (celkový příjem)



Pohyb vody v suchozemském ekosystému



Kapilární voda v půdě

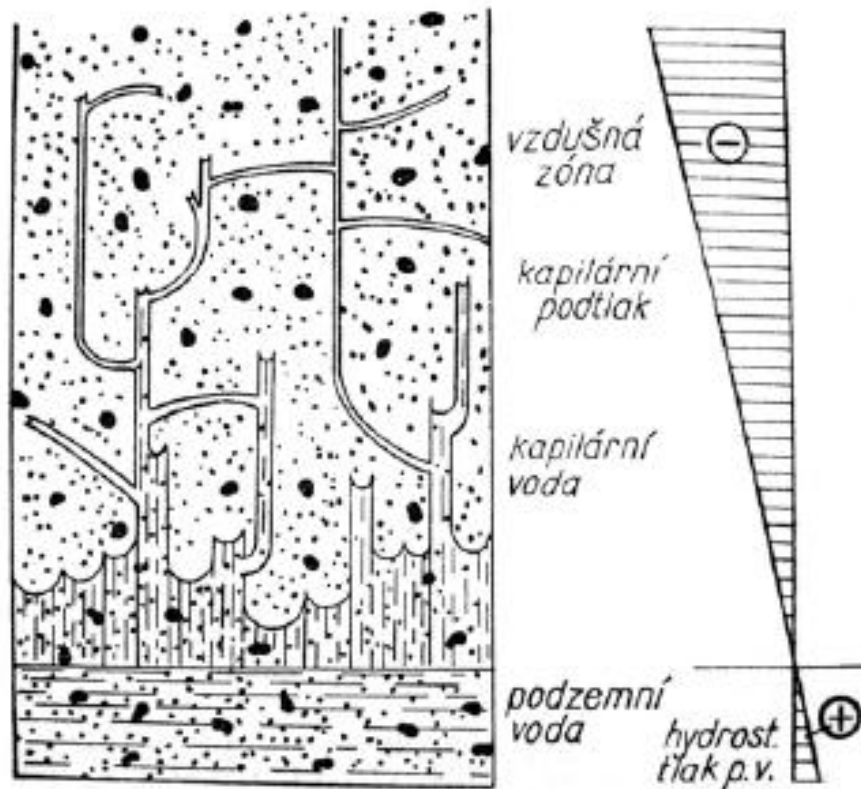


Schéma kapilární vody v půdě s nestejnou zrnitostí (Smolík, 1957)

Vstup vody do ekosystému

- primárně srážky
- spodní voda
 - mokřady
 - některé pouštní rostliny
 - jezera a řeky
- srážení vodní páry

(např. ekosystémy s nízkými srážkami ale častými mlhami, ekosystémy s velkým rozdílem teplot den x noc)

silt = prach
clay = jíł
loam = hlína
wilting = vadnutí

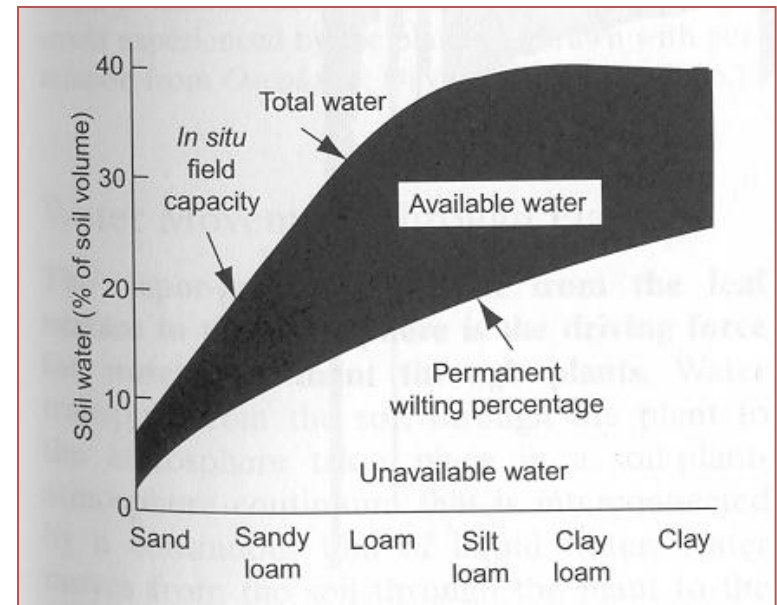
Hlavní zásobárna vody v suchozemském ekosystému – půda
prostor, který je naplněn deštěm a vyprázdněn evapotranspirací nebo odtokem)

Voda v půdě:

- póry
- vazba na org. hmotu a jílové částice

Závislost na:

- Obsahu jílových minerálů
- Obsahu organické hmoty
- Hloubce profilu



Pohyb vody

podél gradientu od míst s vysokou potenciální energií
do míst s nízkou potenciální energií

Energetický status vody

na koncentraci (osmotický potenciál) a tlaku

V přirozeném ekosystému převládají

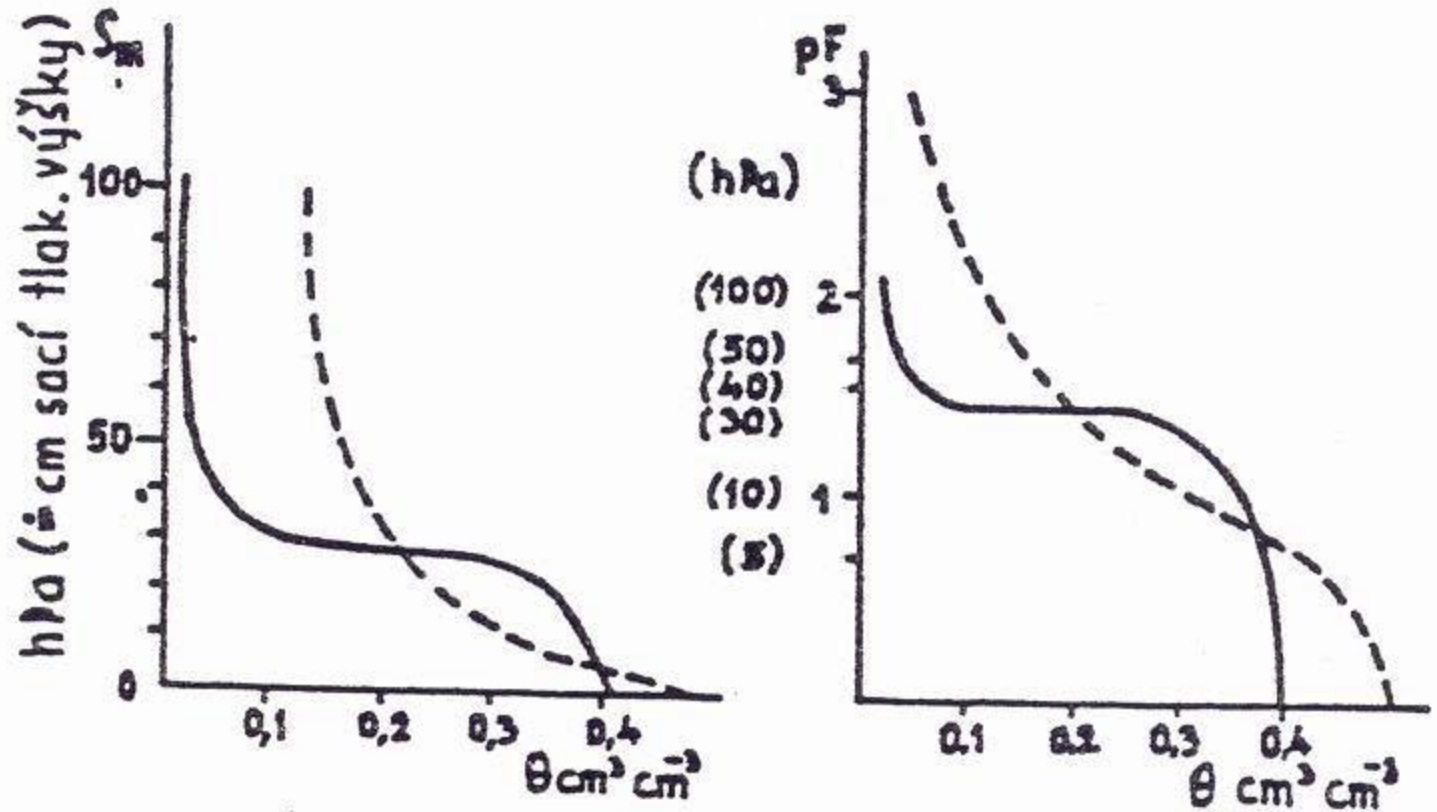
- hydrostatické síly

- maticí síly

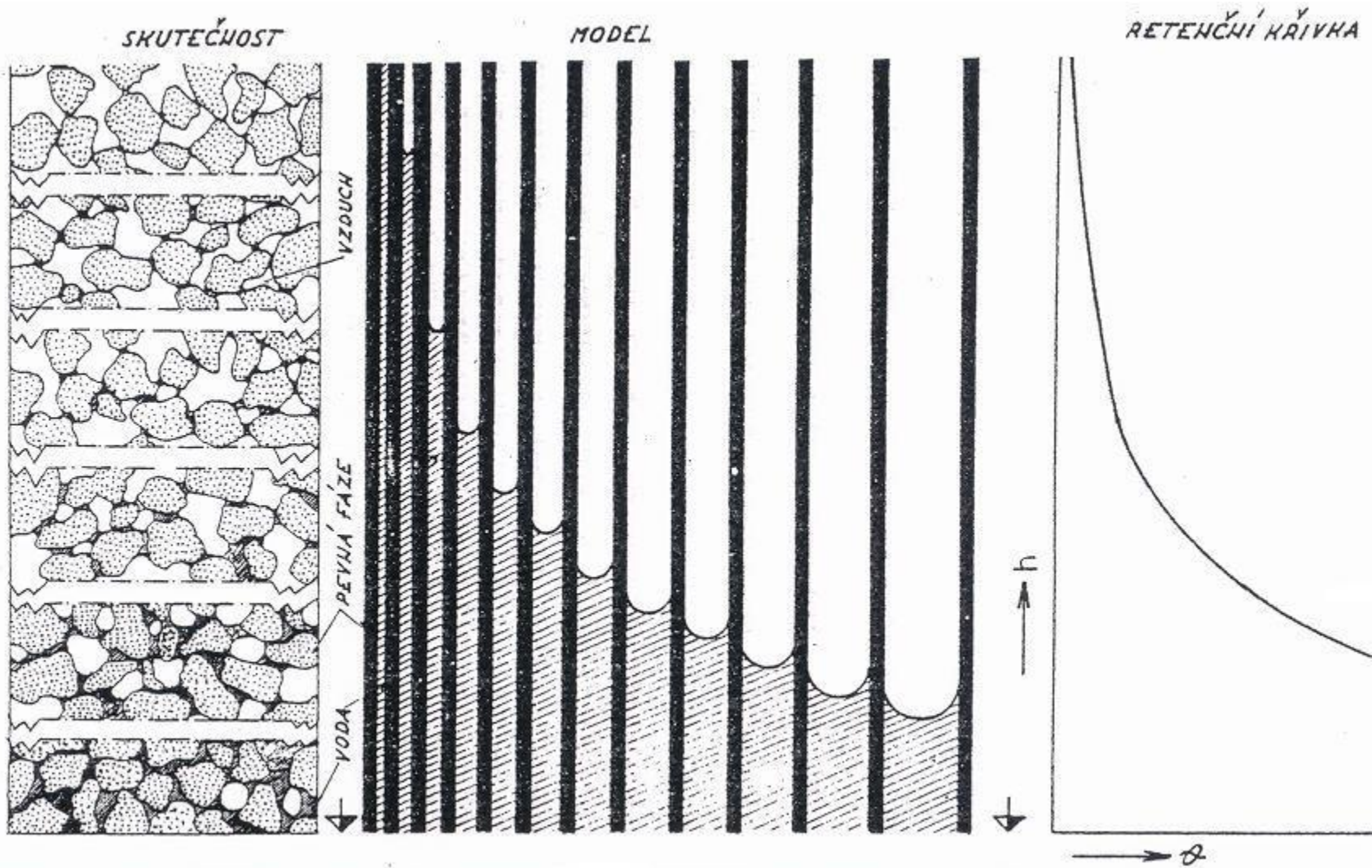
- Gravitační síly (gravitační potenciál)
- Síly vytvářené fyziologickými procesy v organismu (např. turgor)

Výsledkem adsorpce vody
na površích

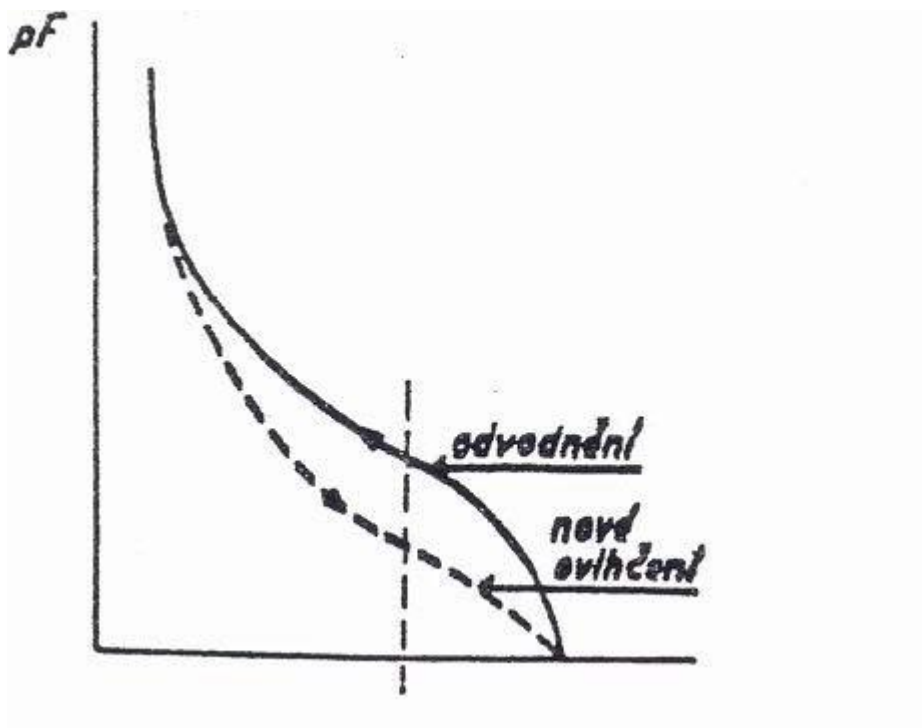
Vztah mezi sacím tlakem (hPa) a vlhkostí u hrubého písku.
čárkovaně - přirozená písčitá půda



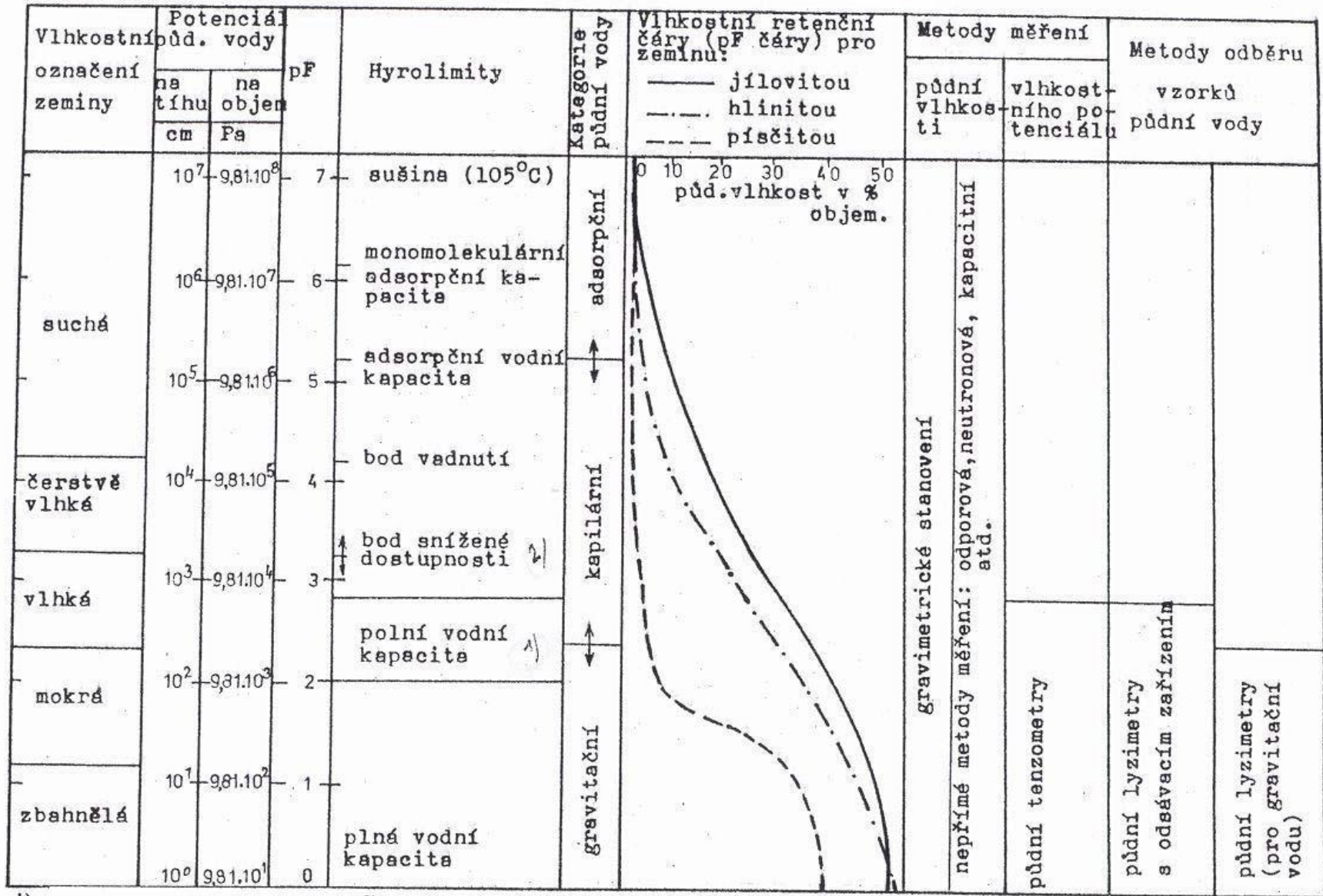
Model rovnoběžných kapilár pro studium retenční čáry



Vztah sacího tlaku a vlhkosti při odvodňovacím a zvlhčovacím postupu.



Vztahy mezi různými jednotkami potenciálu, hydrolimity a vlhkostí půdy.



¹⁾ Retenční vodní kapacita

²⁾ Lentokapilární bod

Vztah mezi sacím tlakem a obsahem vody u písčité, hlinité a jílovité zeminy z orničního horizontu PK – polní kapacita, BV – bod vadnutí)

