

Vodní provoz rostlin

Univerzita 3. věku, 2022

Jana Albrechtová

albrecht@natur.cuni.cz



prof. RNDr. Jana Albrechtová, Ph.D.

albrecht@natur.cuni.cz

Vedoucí Laboratoře ekofyziologie rostlin

Publikace

<http://orcid.org/0000-0001-6912-1992>

CV + publikace

<https://scholar.google.cz/citations?user=fzNnEgMAAAAJ&hl=cs>



KEBR PŘF UK





Mgr. Zuzana Lhotáková, Ph.D.

zuzana.lhotakova@natur.cuni.cz

KEBR PŘF UK

Poděkování za hodně snímků v prezentaci kolegyni z týmu.

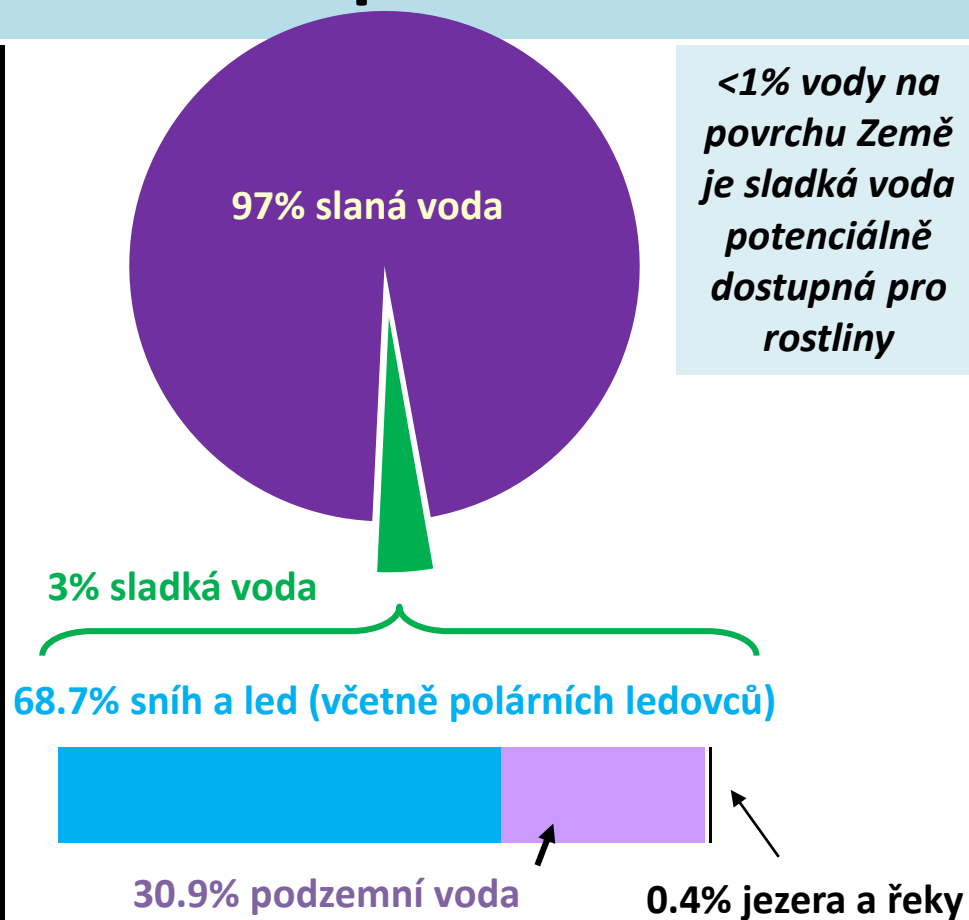
Je garantem odborné přednášky zaměřené na vodní provoz rostlin na PŘF UK.

Voda jako základní složka rostlinného těla:

Voda může tvořit až 90 % rostlinného těla

Obsah vody se liší v různých orgánech, v různých ontogenetických stádiích vývoje rostlin

Zemský povrch je ze 75% tvořen vodou, ale většina není rostlinám dostupná



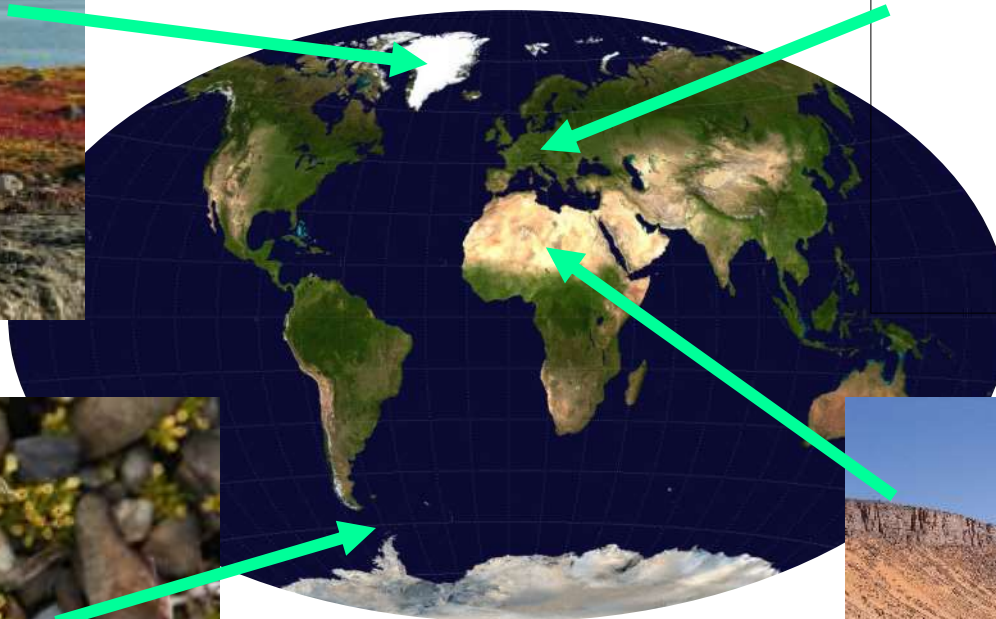
[NASA](#): Earth Observatory

Rostliny najdete (skoro) všude...

Arktida



Hory



Antarktida



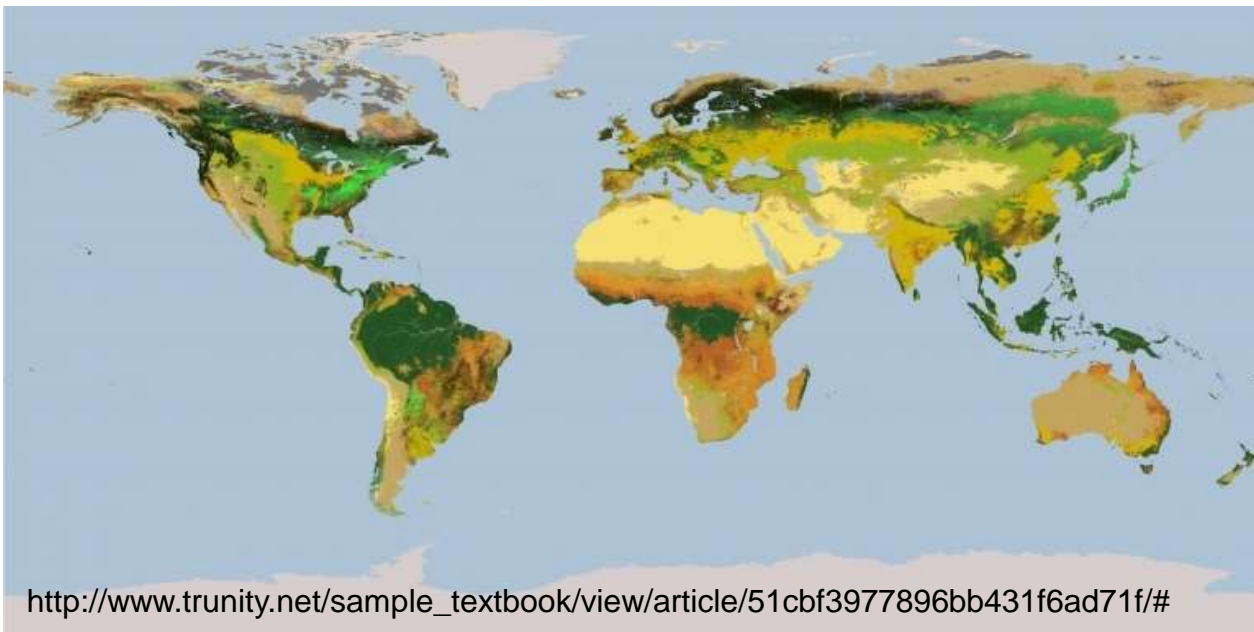
Poušť



Photo credits: [Hannes Grobe](#), AWI; [Gnomefilliere](#); [Liam Quinn](#); [Florence Devouard](#)

Voda – hlavní faktor ovlivňující distribuci rostlin

Distribuce biotů na Zemi: závisí na dostupnosti vody



Rostliny: příjem vody z půdy

Obsah vody v půdě závisí na vstupech a výstupech:

- úhrnu srážek
- potenciální evapotranspiraci



Potenciální evapotranspirace:

množství vody, které by se odpařilo v případě jejího nelimitovaného přísunu do půdy

- srážky > evapotranspirace → voda se v půdě akumuluje, je rostlinám dostupná
- srážky < evapotranspirace → zásobené vodou klesá

1) Anatomie: vodivá pletiva - xylém a floém, transport

2) Význam vody pro rostliny, Adaptace rostlin při přechodu na souš

3) Obsah vody v rostlinách

4) Mechanizmy pohybu vody v rostlinách:

- **Vlastnosti vody**
- **Vodní potenciál, osmóza, turgor**
- **Příjem a výdej vody rostlinami**
- **Vedení vody rostlinou - kořenový vztlak a transpirační sání**

5) Úloha evapotranspirace v tvorbě klimatu, strom - nejdůmyslnější klimatizační zařízení na světě

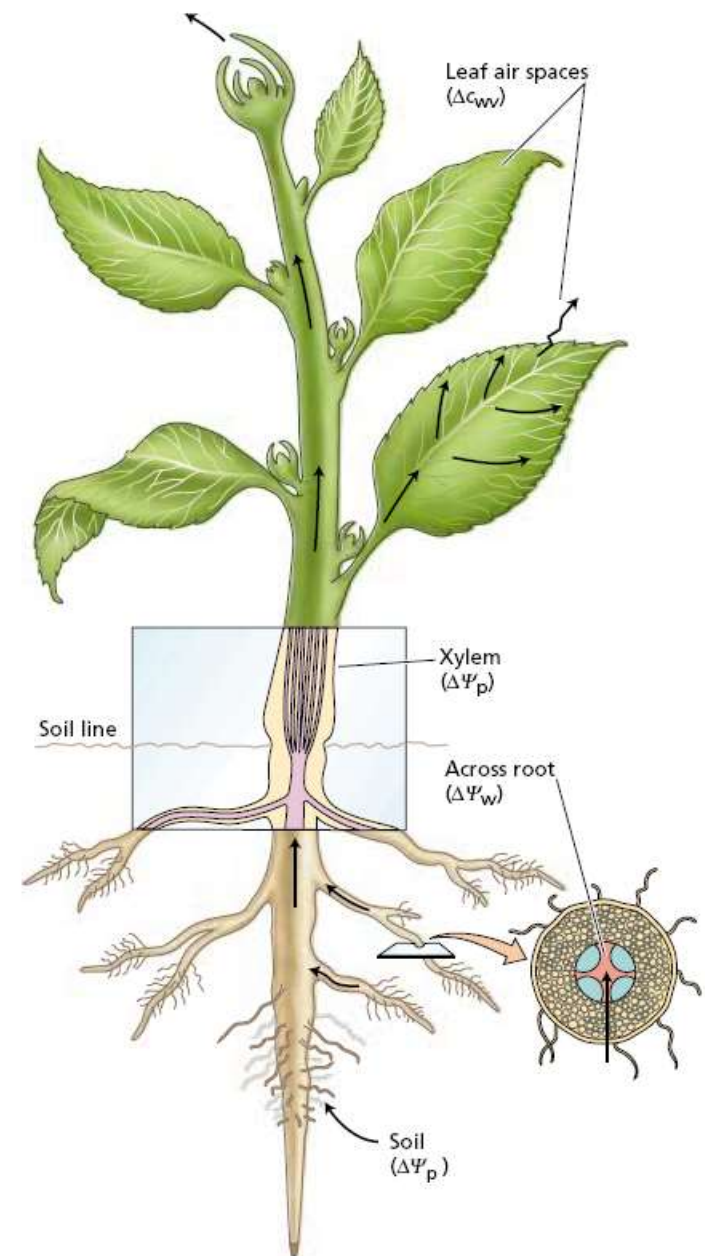
1) Transport vody (a asimilátů) v rostlinách – xylém a floém

transport xylémový

- od kořenů k místům transpirace
(obecně ve směru klesající hodnoty vodního potenciálu)
- příjem minerálních živin, jejich transport
- termoregulace

transport floémový

- od zdroje k sinku (místu spotřeby nebo ukládání)
- z míst s vyšší koncentrací osmoticky aktivních metabolitů do míst s nižší koncentrací
- transport asimilátů



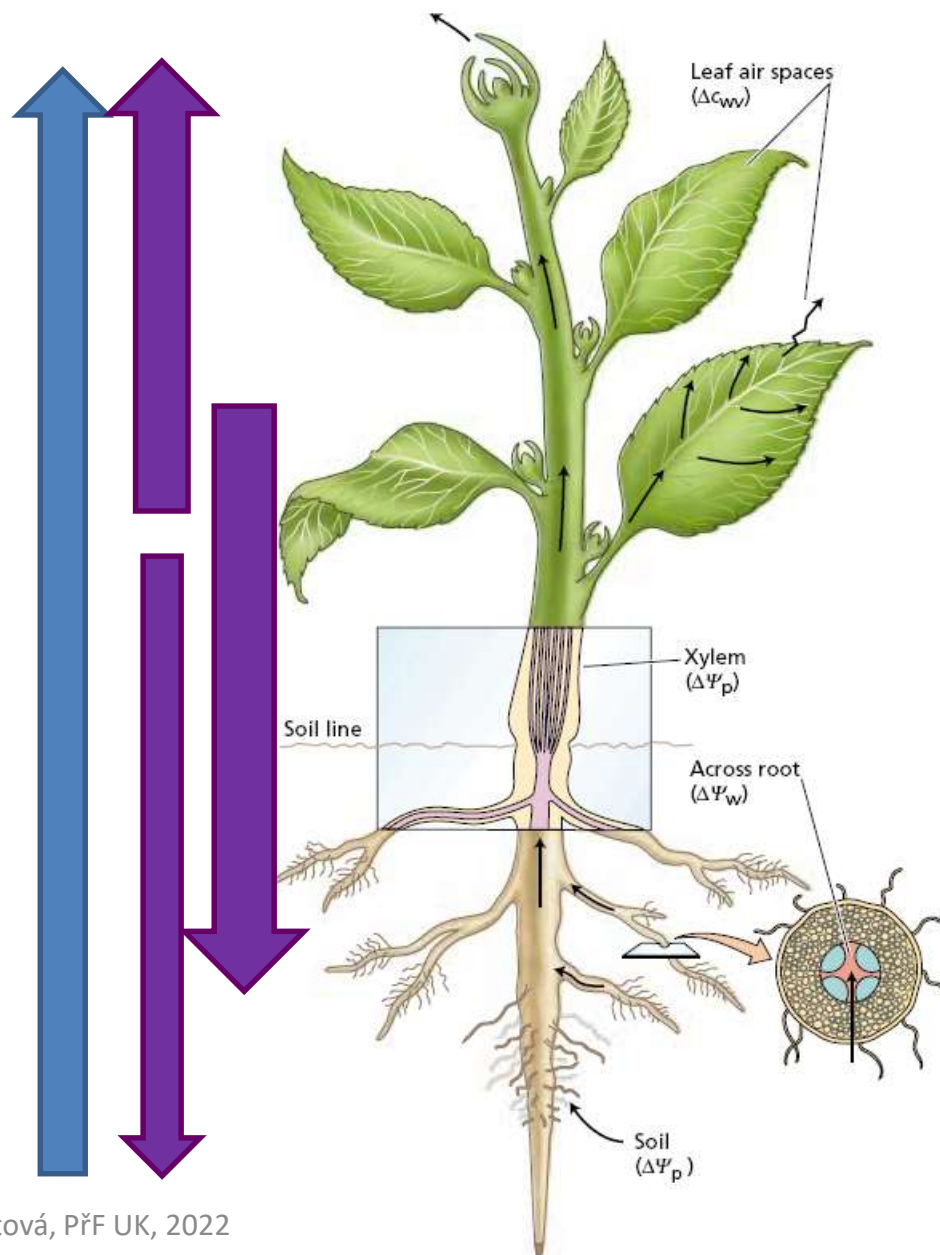
1) Transport vody (a asimilátů) v rostlinách – xylém a floém

transport xylémový

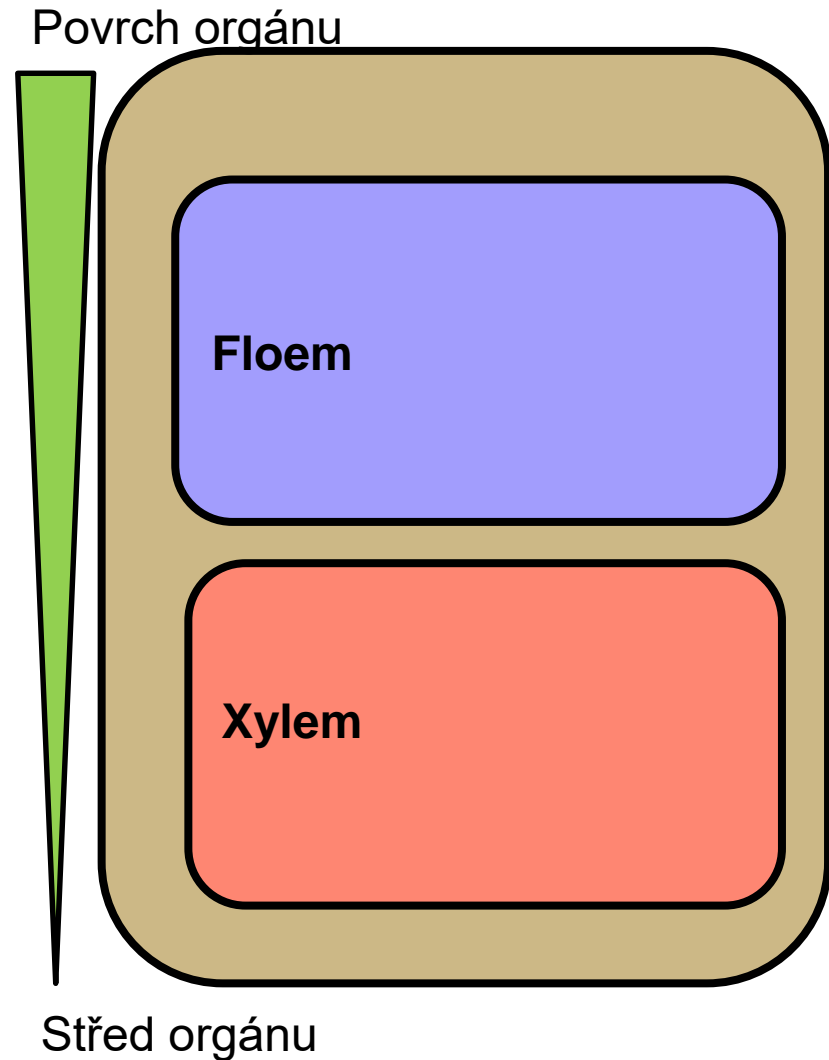
- od kořenů k místům transpirace
(obecně ve směru klesající hodnoty vodního potenciálu)
- příjem minerálních živin, jejich transport
- termoregulace

transport floémový

- od zdroje k sinku (místu spotřeby nebo ukládání)
- z míst s vyšší koncentrací osmoticky aktivních metabolitů do míst s nižší koncentrací
- transport asimilátů



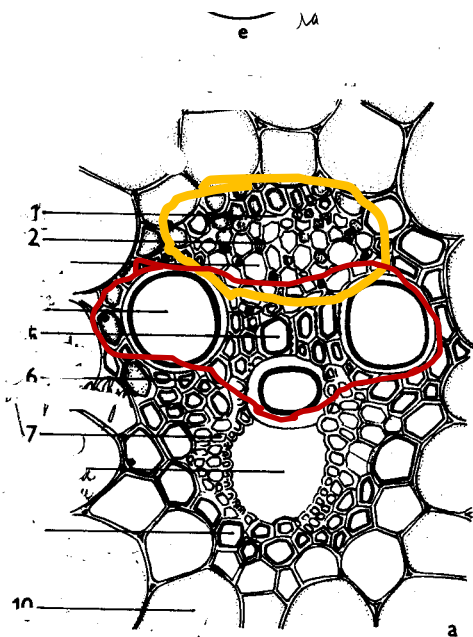
- **Xylém – dřevní část**
- **Floém – lýková část**



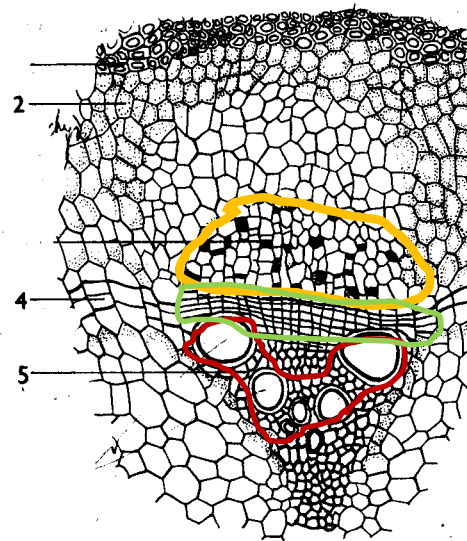
1) Anatomie: stavba cévních svazků – xylém a floém

- Uspořádání cévních svazků

xylém



Floém



1) Anatomie: stavba cévních svazků – xylém a floém, stavba stonku

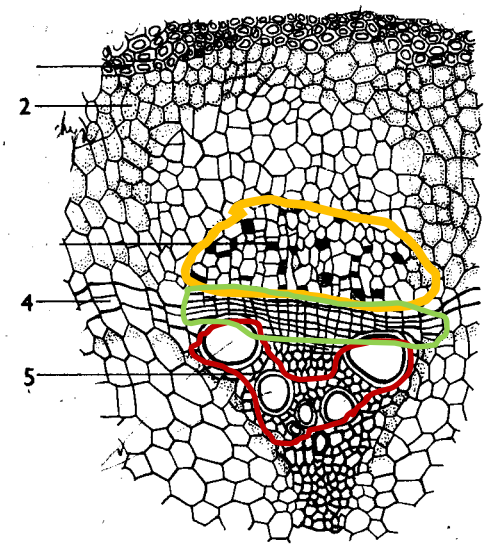
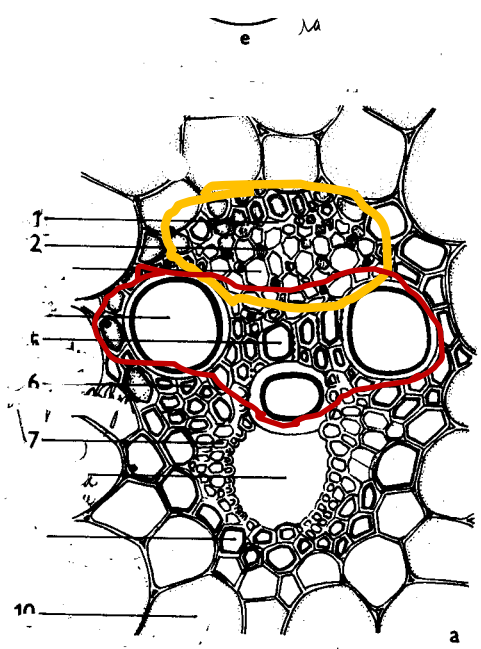
- Typy uspořádání cévních svazků

Kolaterální:

Bikolaterální:

xylém

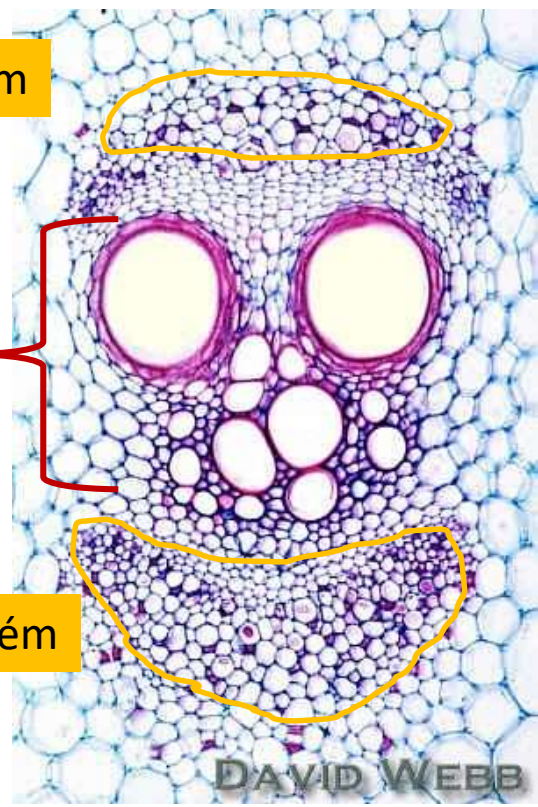
Floém



vnější floém

xylém

vnitřní floém



1) Anatomie: xylém a floém, transport

2) Význam vody pro rostliny, Adaptace rostlin při přechodu na souš

3) Obsah vody v rostlinách

4) Mechanizmy pohybu vody v rostlinách:

- Vlastnosti vody
- Vodní potenciál, osmóza, turgor
- Příjem a výdej vody rostlinami
- Vedení vody rostlinou - kořenový vztlak a transpirační sání

5) Úloha evapotranspirace v tvorbě klimatu, strom - nejdůmyslnější klimatizační zařízení na světě

2. Význam vody pro rostliny

- (1) Prostředí pro metabolické procesy**
- (2) Příjem minerálních látek z půdy**
- (3) Transport minerálních (xylém) a organických (floém) látek**
- (4) (Spolu)reguluje teplotu rostlin**
- (5) Zdroj elektronů a protonů ve fotosyntéze**
- (6) Zdroj atmosférického kyslíku**
- (7) Udržuje tvar nezdřevnatělých částí rostlin**

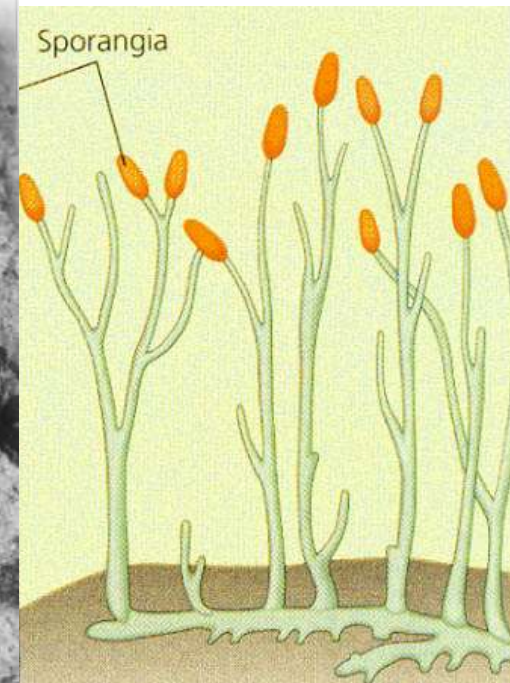


2. Adaptace rostlin při přechodu na souši

Adaptace životu na souši

- vývoj ochrany proti vyschnutí
- transport živin, vody
- Výměna plynů s prostředím – velký povrch
- mechanická opora rostlinného těla
- způsob rozmnožování bez vypuštění gamet do vodního prostředí – převaha sporofytu nad gametofytem, semena
- formace určitých typů pletiv s určitou funkcí

fosilní *Cooksonia*, bezsemenná rostlina se základy vodivých pletiv ve stonku, bez pravých kořenů a listů střední a svrchní silur (před 428 milióny lety)



J. Albrechtová, RĚF UK, 2022

2. Adaptace rostlin při přechodu na souši

app. 450 mil



Invasion of land by animals
Humans appear

Invasion of land by plants

mnohobuněčné organismy

Oldest multicellular organisms

4 BILLION YEARS
Oldest known rocks

Midnight

Earliest isotopic traces of life

První bakterie
Fotosyntetizující
- 3,5 mld let

1 BILLION YEARS

Afternoon

Morning

Oldest prokaryote fossils

Oldest eukaryote fossils

3 BILLION YEARS

Živé organismy začínají měnit složení atmosféry

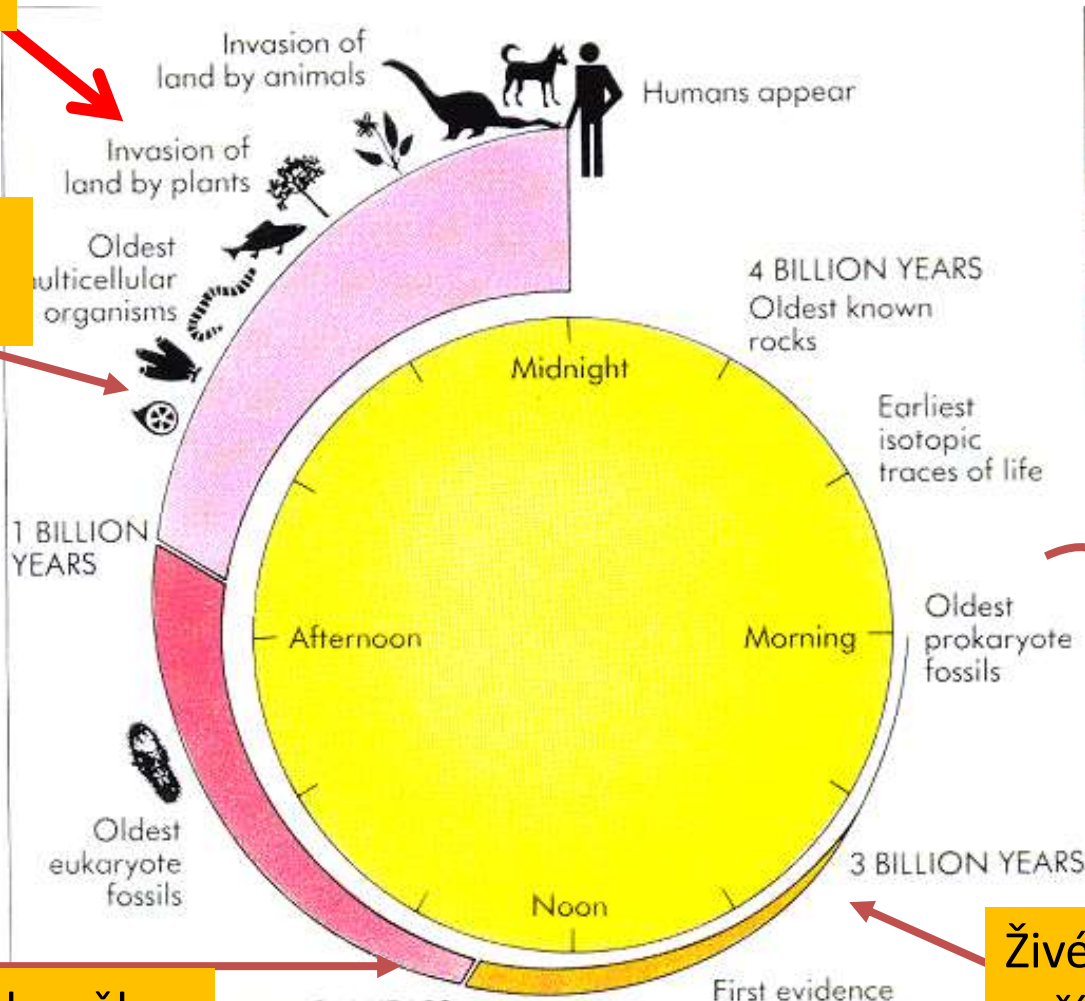
Vyšší komplexita buněk (eukaryota)

2 BILLION YEARS

First evidence of photosynthesis

J. Albrechtová, PŘF UK, 2022

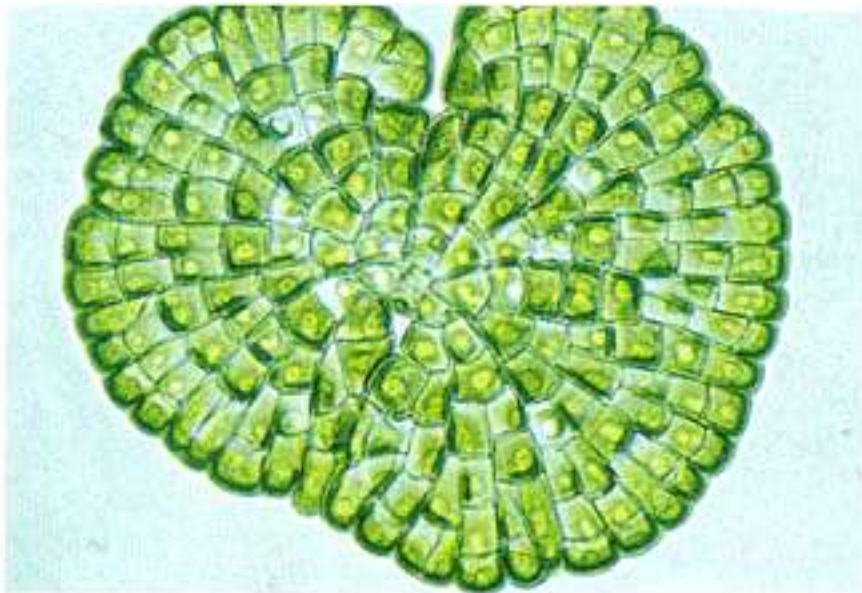
Raven & Johnson 1992



2. Adaptace rostlin při přechodu na souši

Mnohobuněčnost - Adaptace životu na souši

- formace určitých typů pletiv s určitou funkcí



Coleochaete orbicularis, a disc-shaped charophycean showing simple structure

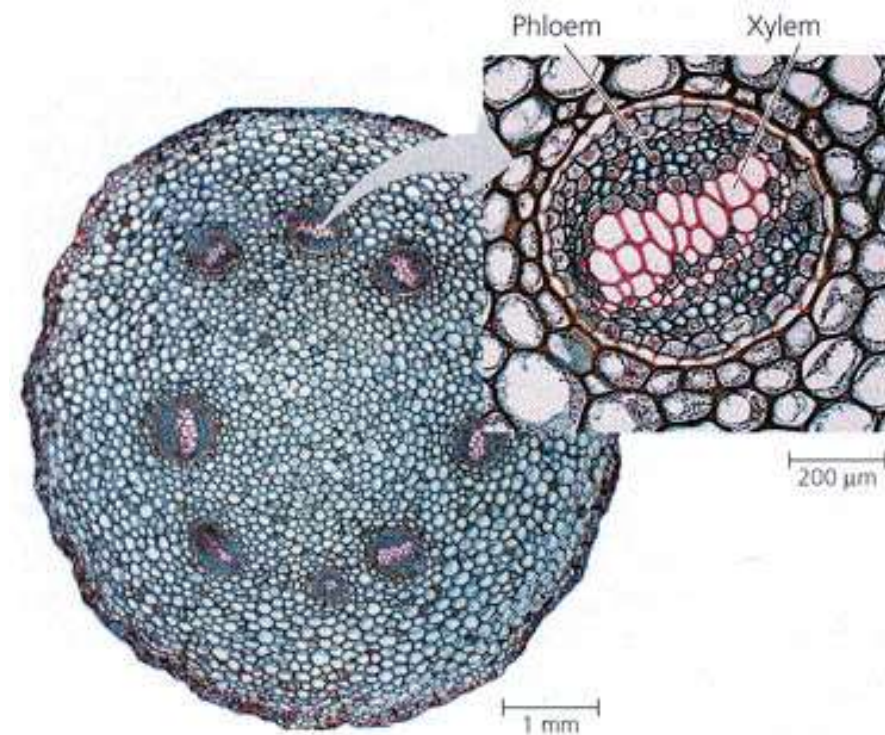
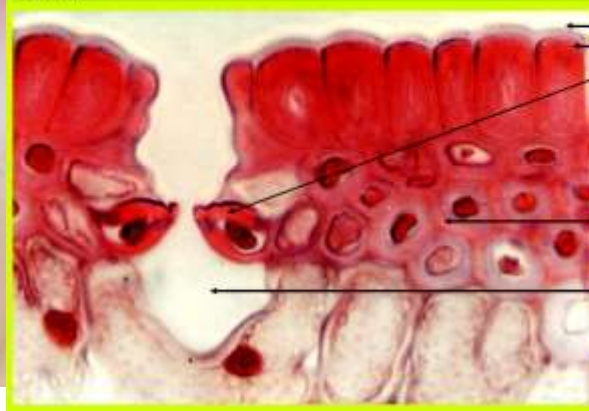
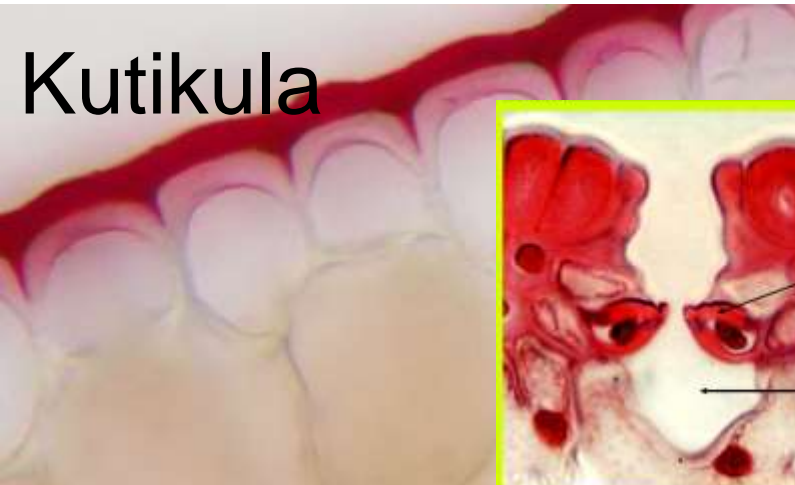


FIGURE 29.11 Xylem and phloem in the stem of *Polypodium*, a fern (a pteridophyte) (LM).

Polypodium sp., a terrestrial plant with greater cell & tissue complexity

2. Adaptace rostlin při přechodu na souši

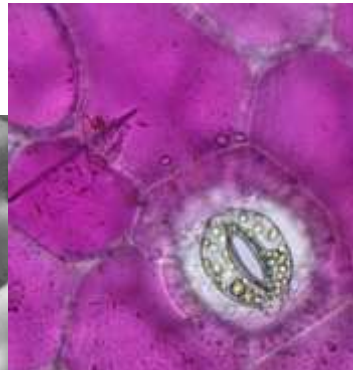
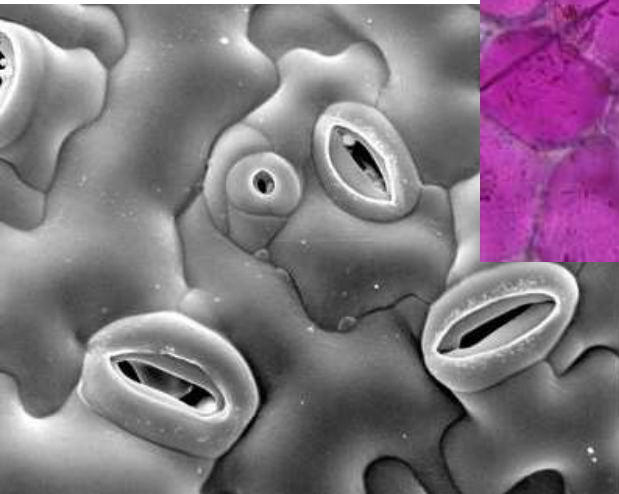
Kutikula



Vodivá pletiva



Průduchy



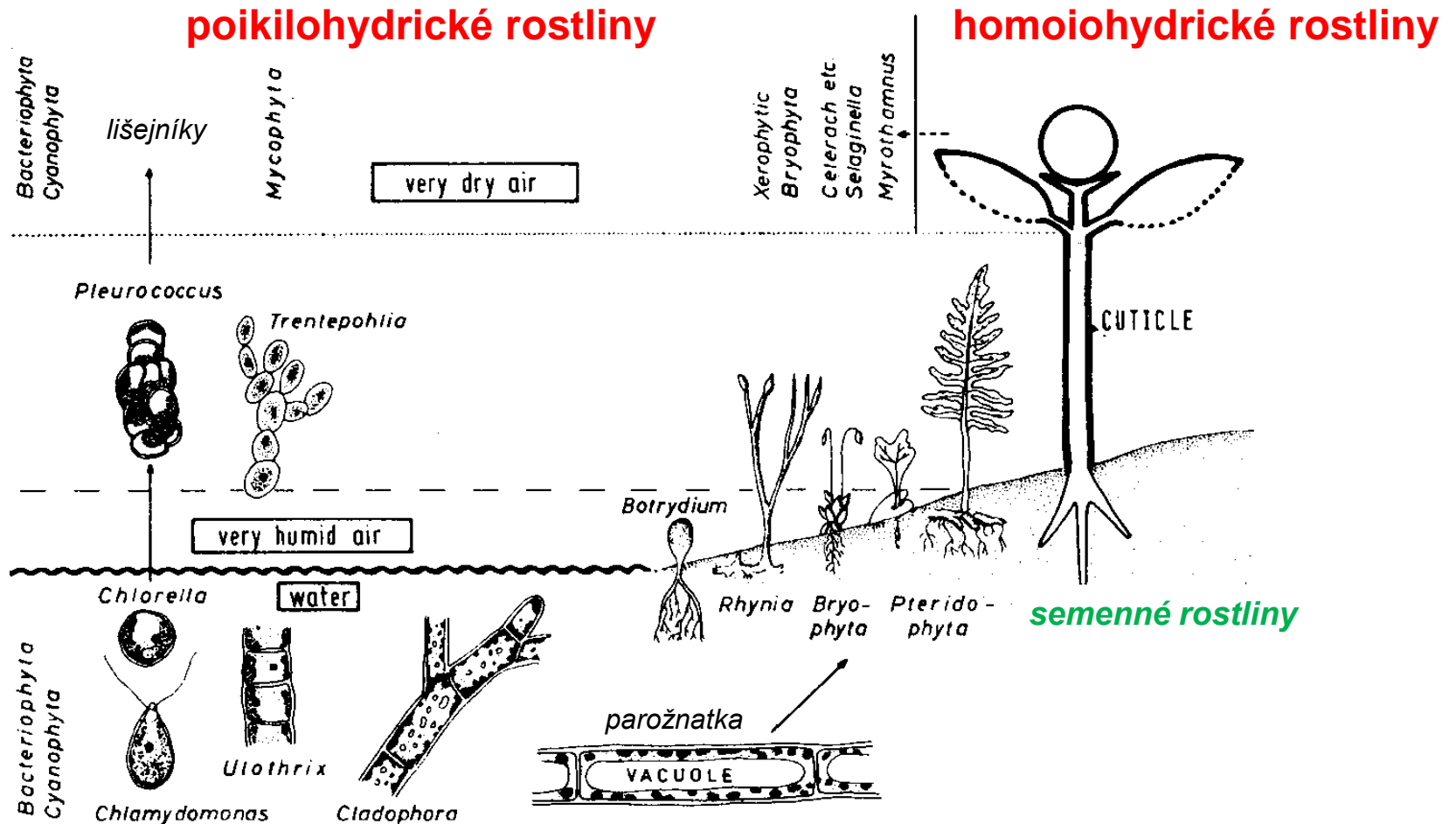
důležité adaptace!

J. Albrechtová, PŘF UK, 2022

<http://kfrserver.natur.cuni.cz/studium/prednasky/anatomie/atlas/>
<http://botany.upol.cz/atlas/anatomie/index.html>
http://pix.botany.org/set14/14-024h_300.jpg

2. Význam vody pro rostliny

Adaptace rostlin



zelné řasy

2. Význam vody pro rostliny

Adaptace rostlin

rostliny

poikilohydrické

– závislé na vlhkosti

prostředí

homoiohydrické

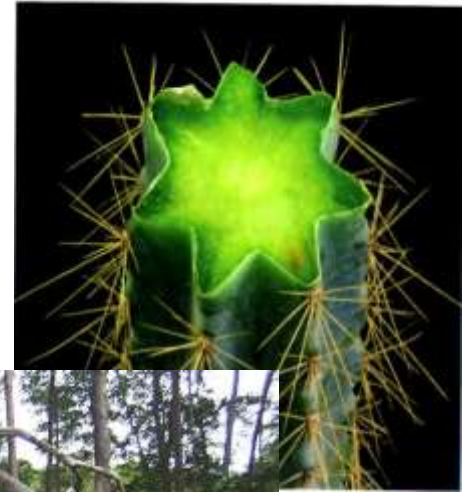
– udržují vodu – vakuoly

pravé kořeny

kutikula

mechy, vranečky; některé kapradiny –
sleziník routička

výjimečně semenné – ramondie srbská



2. Význam vody pro rostliny

Poikilohydrické rostliny

Nemusíte znát

- „ressurrection plants“ – „rostliny vzkříšení“

Welwitschie podivná (*Welwitschia mirabilis*)

je 1,4 m vysoká a více než 4 m široká

Nachází se pouze v extrémním ekosystému, v jedné z nejstarších světových pouští Namib na západním Atlantickém pobřeží Namibie a Angoly v jižní Africe. V některých létech tam neprší vůbec, dlouhodobý roční průměr spadu dešťových srážek je zde od 20 mm na pobřeží až po 120 mm ve vnitrozemí (v Praze 550 mm), denní teplota vzduchu zde dosahuje až 50 °C a v noci klesá jen na 7 °C. Nedostatkovou vodu rostliny získávají svými listy z pravidelných mlh, které se cca 300 dnů v roce táhnou v ranních hodinách od pobřeží asi 130 km do vnitrozemí.



2. Význam vody pro rostliny

Vodní stres – nedostatek vody homoiohydrických rostlin

- Voda tvoří značnou část těla rostlin
- Při přechodu na souš – ochrana proti desikaci a způsob vedení vody od kořenů k listům - kolonizace veškerých terestrických stanovišť
- Různá míra tolerance rostlin k desikaci (poikilohydrické x homoiohydrické rostliny) – dáno adaptacemi
- Většina semenných rostlin je k desikaci citlivá (rostliny homoiohydrické) – široká škála adaptací a aklimací
- Většina rostlin je vystavena aspoň občasnému vodnímu stresu....
- Nedostatek vody způsobuje vadnutí až uschnutí rostlin



<https://i.ceskestavby.cz/clanky/odstavce/28835-587709-1-shutterstock-10863358.jpg>

1) Anatomie: xylém a floém, transport

2) Význam vody pro rostliny, Adaptace rostlin při přechodu na souš

3) **Obsah vody v rostlinách**

4) Mechanizmy pohybu vody v rostlinách:

- Vlastnosti vody
- Vodní potenciál, osmóza, turgor
- Příjem a výdej vody rostlinami
- Vedení vody rostlinou - kořenový vztlak a transpirační sání

5) Úloha evapotranspirace v tvorbě klimatu, strom - nejdůmyslnější klimatizační zařízení na světě

Voda jako základní složka rostlinného těla:

Voda na úrovni rostlinné buňky:

Protoplasm: 85-90%

Orgány bohaté na lipidy a proteiny (chloroplasty, mitochondrie): 50%

Voda na úrovni rostlinného těla:

Čerstvé dužnaté plody: 58-90%

Listy bylin: 80-90%

Jehličí: 60%

Kořeny 70-95%

Dřevo čerstvě pokáceného stromu: 50%

Zralá semena (např. obilky): 10-15%

Některá semena s tuky jako zásobní látkou: 5-7%

3. Obsah vody v rostlině

V některých ontogenetických fázích jsou rostliny vysoce tolerantní k desikaci

Semena a pyl – většinou velmi tolerantní k desikaci

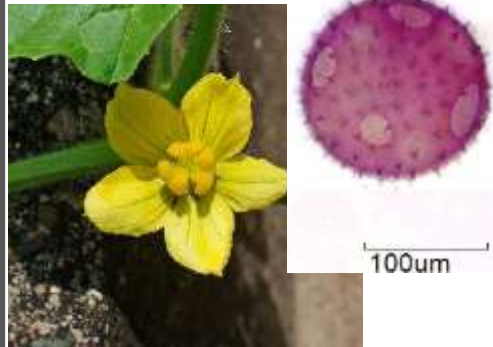


pšenice, kukuřice, rýže,
fazol
(většina základních
potravin) - “**ortodoxní**”
semena tolerantní desikaci



X

Cucurbita pepo
tykev



rekalitrantní pyl

Cocos nucifera
kokos



rekalitrantní semena
netolerující desikaci

Vegetativní pletiva cévnatých rostlin –
zpravidla k desikaci netolerantní

3. Obsah vody v rostlině

Obsah vody v rostlině

60 až 95% čerstvé hmotnosti listů
5 až 15% v semenech

charakterizuje se veličinami:

1) vodní sytostní deficit (VSD)

kolik vody (%) chybí rostlině do plného nasycení (SATURACE)

$$\text{VSD (\%)} = \frac{\text{hmotnost po nasycení vodou} - \text{čerstvá hmotnost}}{\text{hmotnost po nasycení vodou} - \text{hmotnost sušiny}}$$

VSD = 100% ... rostlina zcela suchá

VSD = 0% ... rostlina zcela nasycená vodou

3. Obsah vody v rostlině

Obsah vody v rostlině

60 až 95% čerstvé hmotnosti listů

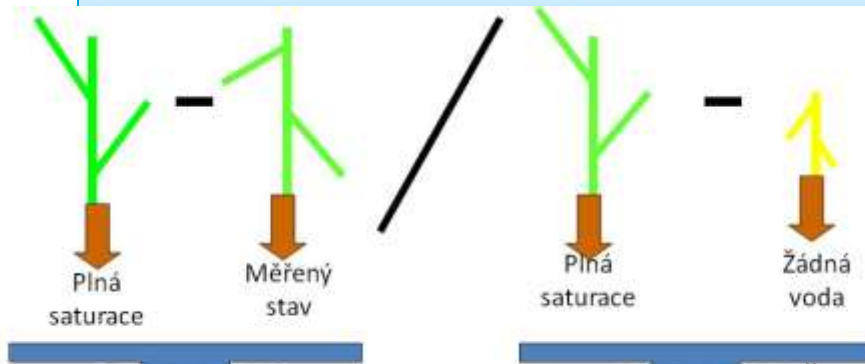
5 až 15% v semenech

charakterizuje se veličinami:

1) vodní sytostní deficit (VSD)

kolik vody (%) chybí rostlině do plného nasycení (SATURACE)

$$\text{VSD (\%)} = \frac{\text{hmotnost po nasycení vodou} - \text{čerstvá hmotnost}}{\text{hmotnost po nasycení vodou} - \text{hmotnost sušiny}}$$



VSD = 100% ... rostlina zcela suchá

VSD = 0% ... rostlina zcela nasycená vodou

3. Obsah vody v rostlině

60 až 95% čerstvé hmotnosti listů
5 až 15% v semenech

charakterizuje se veličinami:

2) **relativní obsah vody** (RWC = relative water content)

$$\text{RWC (\%)} = \frac{\text{čerstvá hmotnost} - \text{hmotnost sušiny}}{\text{hmotnost po nasycení vodou} - \text{hmotnost sušiny}}$$

Při nedostatku vody v půdě klesá RWC.

A dochází k vadnutí rostlin....

1) Anatomie: xylém a floém, transport

2) Význam vody pro rostliny, Adaptace rostlin při přechodu na souš

3) Obsah vody v rostlinách

4) **Mechanismy pohybu vody v rostlinách:**

- **Vlastnosti vody**
- Vodní potenciál, osmóza, turgor
- Příjem a výdej vody rostlinami
- Vedení vody rostlinou - kořenový vztlak a transpirační sání

5) Úloha evapotranspirace v tvorbě klimatu, strom - nejdůmyslnější klimatizační zařízení na světě

4. Vlastnosti vody významné pro rostliny

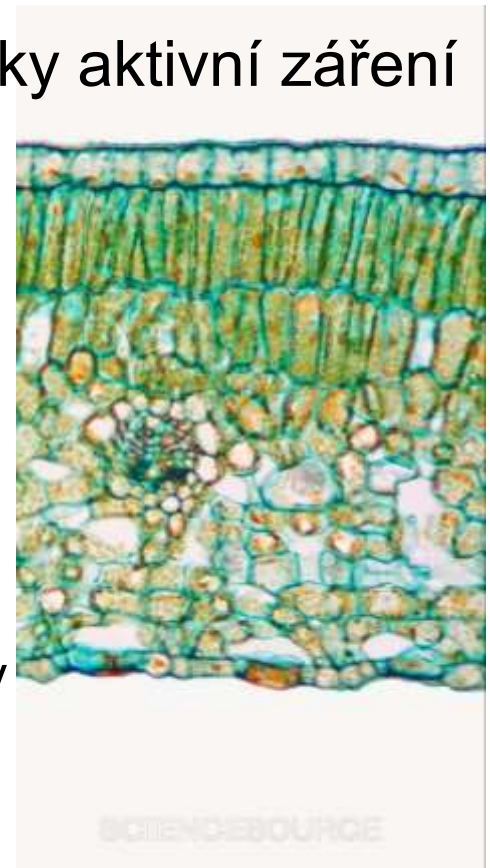
Význam vody pro rostliny založený na jejích vlastnostech:

Průhlednost – propustnost pro fotosynteticky aktivní záření

Částečná absorpce UV záření

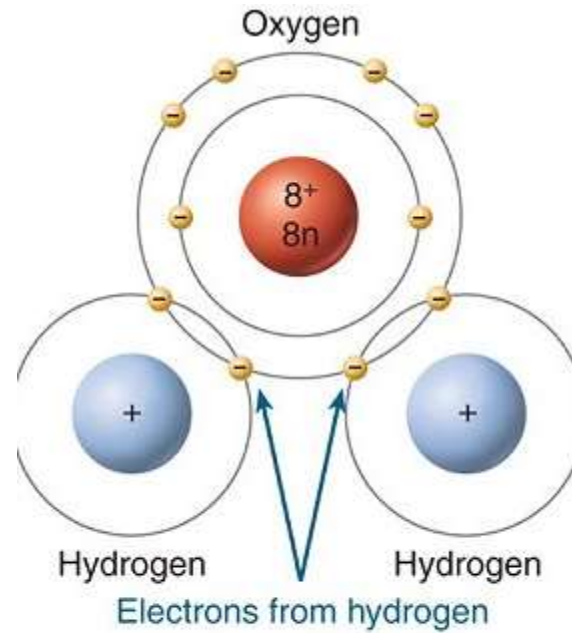
Přímá účast na metabolických reakcích

- donor elektronů a O_2 v primární fázi fotosyntézy
- Donor H při redukci CO_2 v sekundární fázi fotosyntézy
- Akceptor elektronů při dýchání

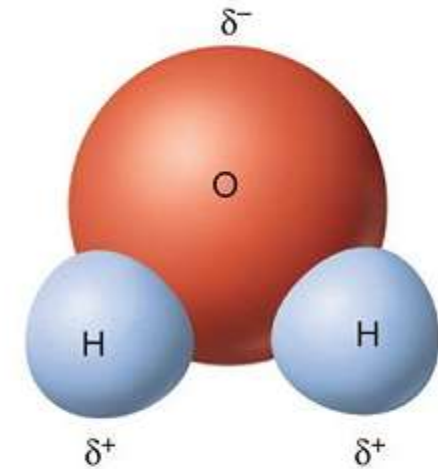


4. Vlastnosti vody významné pro rostliny

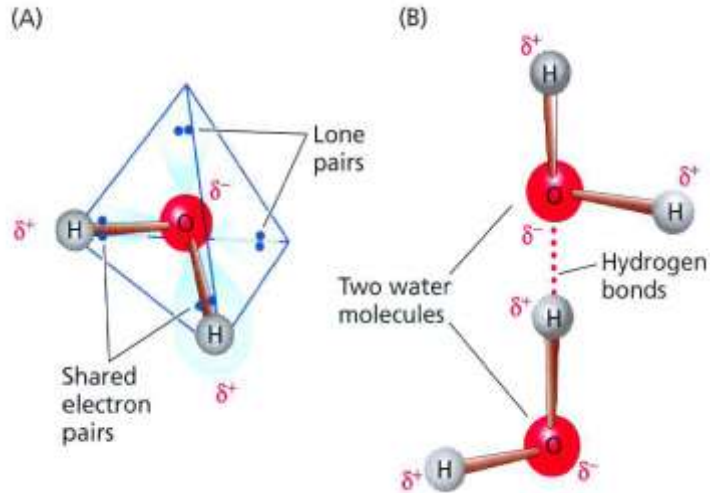
molekula malá
elektroneutrální



(a) Electron shells in a water molecule



(b) Distribution of partial charges in a water molecule



4. Vlastnosti vody významné pro rostliny

molekula malá

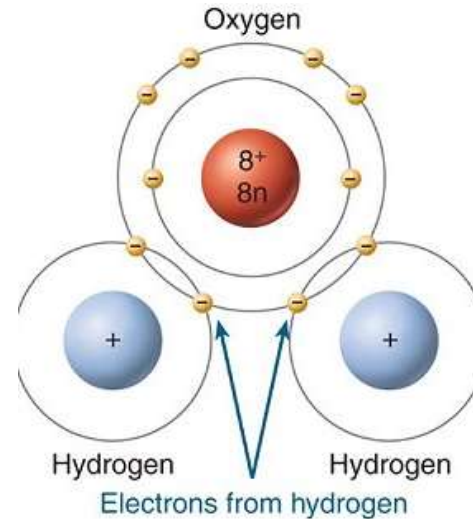
Elektroneutrální, ale polární!

Vodíkové můstky

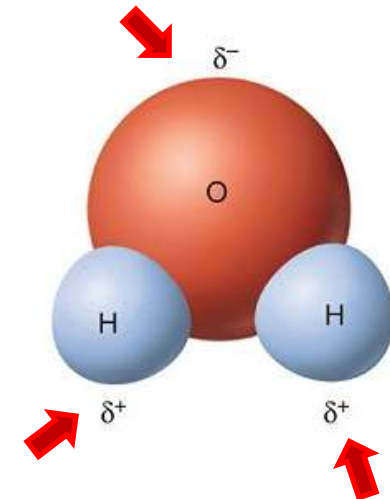
- zvyšují uspořádanost molekul vody ve vodných roztocích

- i v kapalně vodě jsou lokální téměř krystalické regiony

- v kapalném stavu předurčují unikátní vlastnosti vody důležité pro biologické děje

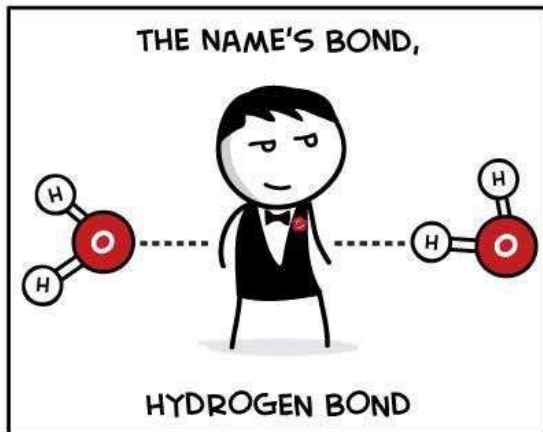


(a) Electron shells in a water molecule

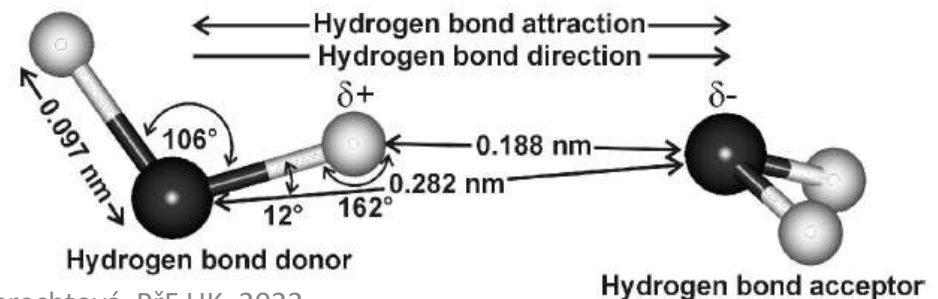


(b) Distribution of partial charges in a water molecule

nerovnoměrné rozložení náboje = polarita!



VICTIMS OF CIRCUMSOLAR



J. Albrechtová, PĚF UK, 2022
http://www1.lsbu.ac.uk/water/water_life.html

4. Vlastnosti vody významné pro rostliny

polární

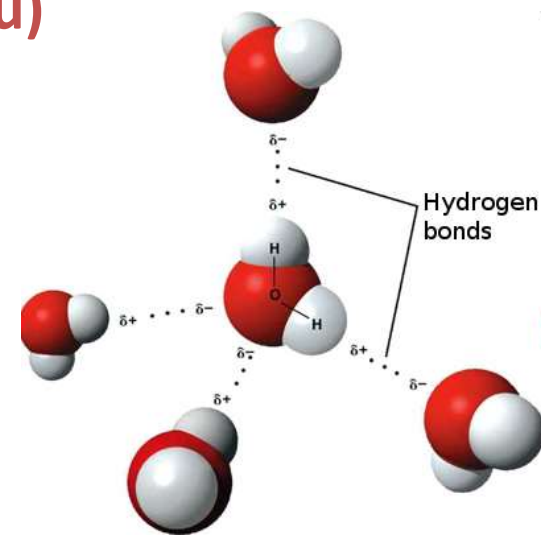
VODÍKOVÉ MŮSTKY (nejen s vodou)

(8 – 40 kJ . mol⁻¹ x vazba C-C 347 kJ. mol⁻¹)

koheze – přitažlivost mezi molekulami vody

adheze – přitažlivost k pevným povrchům (b. stěna)

povrchové napětí



Surface tension of several liquids at 20°C (N/m)	
1% gelatin	0.0083
Ethanol	0.0228
Phenol	0.0409
Water	0.0728

schopnost odolat tenzi

kapilarita - kapilární elevace

4. Vlastnosti vody významné pro rostliny

adheze

- Interakce s pevnými látkami s polárním povrchem

– přitažlivost k pevným povrchům

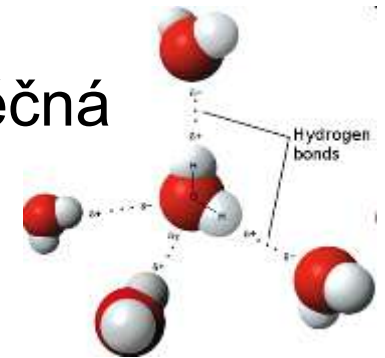
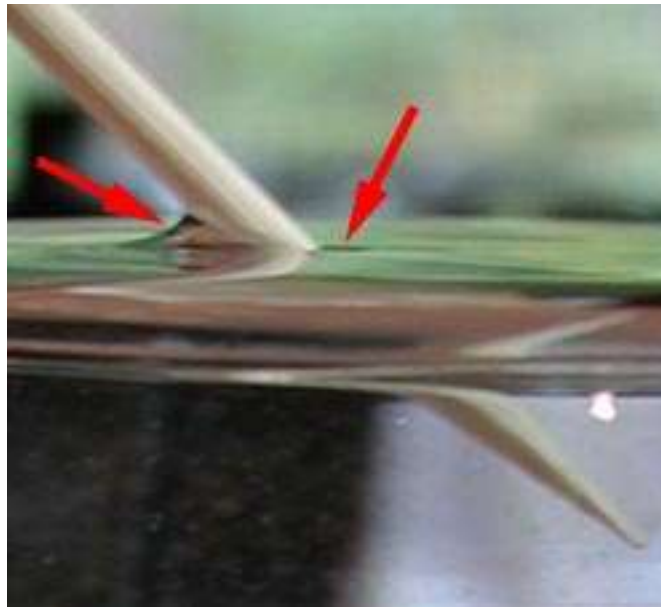
-smáčivost povrchů a vzlínání vody po nich (buněčná stěna!)

-Hraje roli při bobtnání

Voda má mnoho fyzikálních anomálií....

<https://vesmir.cz/cz/on-line-clanky/2014/07/struktura-anomalie-vody.html>

Jíří Kolafa, ČVUT

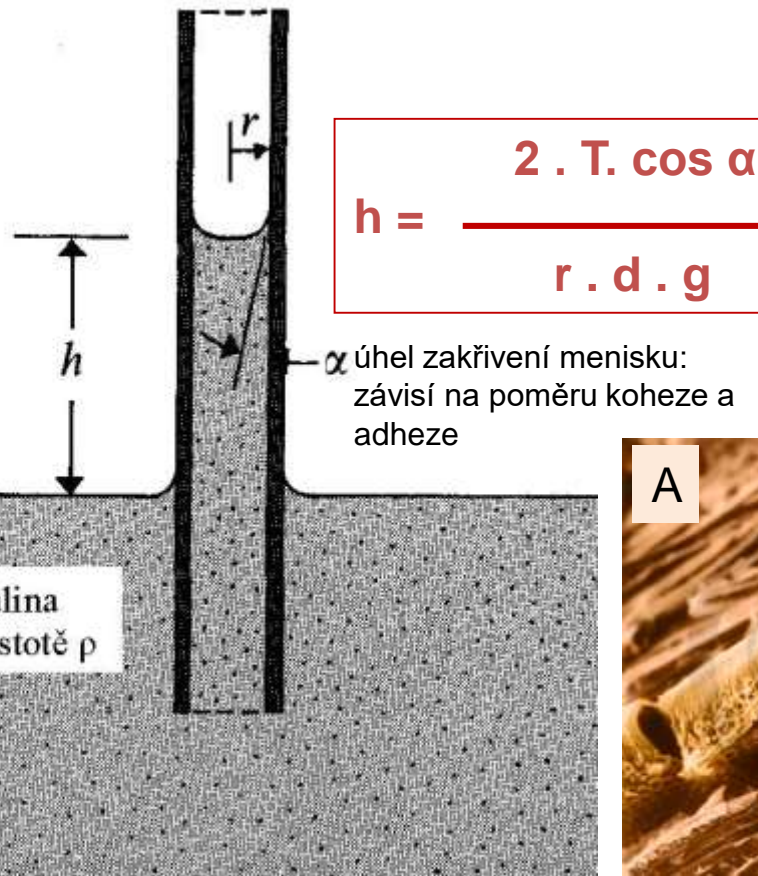


4. Vlastnosti vody významné pro rostliny

Nemusíte znát vzorec, jen pro vysvětlení.....

kapilarita - kapilární elevace

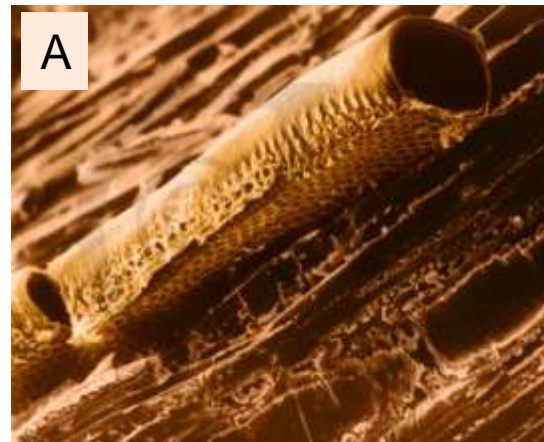
mírou kapilarity je výška h , do které kapalina v kapiláře vystoupí



$$h = \frac{2 \cdot T \cdot \cos \alpha}{r \cdot d \cdot g}$$

α úhel zakřivení menisku:
závisí na poměru koheze a
adheze

h – výška sloupce (m)
 T – povrchové napětí
pro vodu $0,072 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$ při 20°C
 α – úhel zakřivení menisku
 r – poloměr kapiláry (μm)
 d – specifická hmotnost
pro vodu $998,2 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ při 20°C
 g – gravitační zrychlení = $9,806 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$



A) trachea: $r = 40 \mu\text{m}$ $h = 0,3719 \text{ m}$
B) mikrofibrilární pór v buněčné stěně: $r = 0,005 \mu\text{m}$ $h = 2975 \text{ m}$

4. Vlastnosti vody významné pro rostliny

Fyzikální a chemické vlastnosti vody významné pro rostliny

1) molekula malá, elektroneutrální (nenese elektrický náboj)

2) polární

vodíkové můstky (elektrostatická přitažlivost)

→ koheze (interakce mezi molekulami vody / s polárními molekulami dalších látek)

→ povrchové napětí (výsledkem vzájemné soudržnosti molekul vody)

→ adheze

→ kapilární elevace

→ působí jako rozpouštědlo

3) Chemicky značně inertní → dobré transportní médium

4) udržuje stálý objem (obtížně stlačitelná i roztažitelná)

5) vysoká měrná tepelná kapacita

(energie potřebná ke zvýšení teploty 1g H₂O o 1K = 4,2 J.g⁻¹.K⁻¹)

6) vysoké molární skupenské teplo

(např. molární skupenské teplo výparu = teplo energie nutná pro přeměnu 1 molu H₂O ze skupenství kapalného do plynného při 25°C = 44 kJ.mol⁻¹)

1) Anatomie: xylém a floém, transport

2) Význam vody pro rostliny, Adaptace rostlin při přechodu na souš

3) Obsah vody v rostlinách

4) **Mechanismy pohybu vody v rostlinách:**

- Vlastnosti vody
- **Vodní potenciál, osmóza, turgor**
- Příjem a výdej vody rostlinami
- Vedení vody rostlinou - kořenový vztlak a transpirační sání

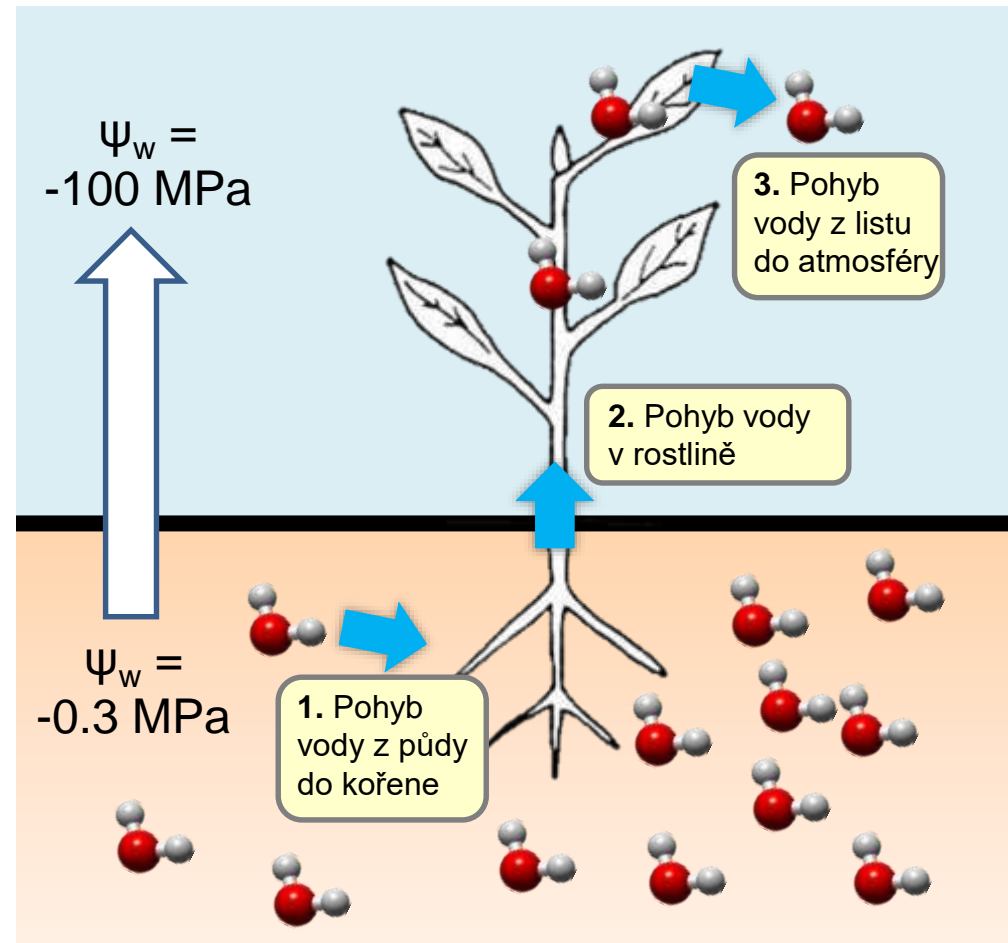
5) Úloha evapotranspirace v tvorbě klimatu, strom - nejdůmyslnější klimatizační zařízení na světě

mechanizmy pohybu vody v rostlinách:

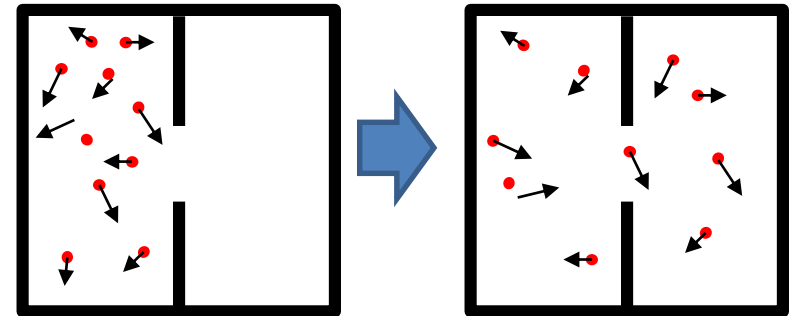
Difúze, osmóza, turgor

4. Mechanizmy pohybu vody v rostlinách

Voda se pohybuje **difúzí** a hromadným tokem



Difúze: Náhodný pohyb jednotlivých molekul (1, 3)



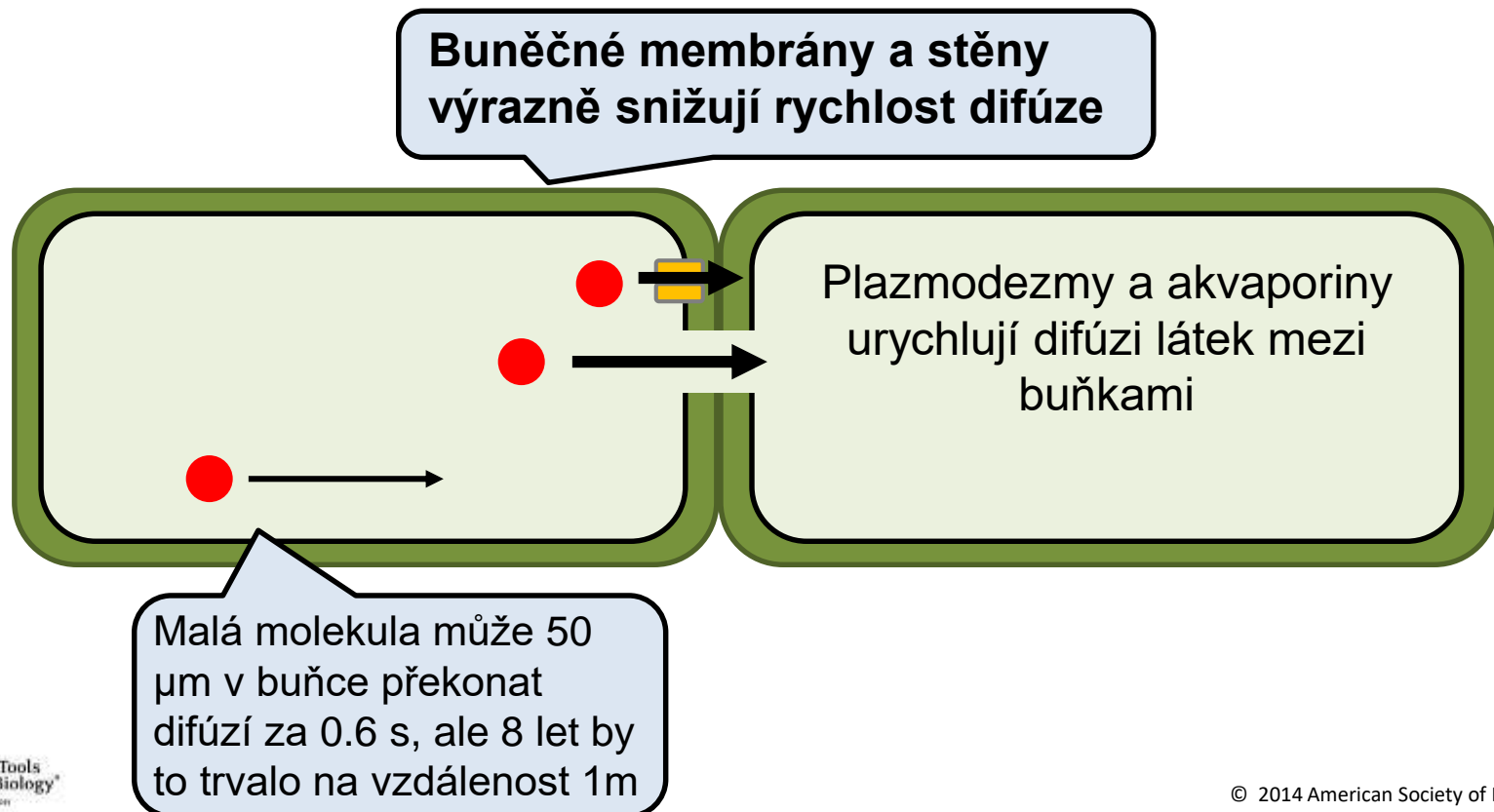
Hromadný tok: voda v potoce, trubici, vodní sloupec v xylému (1, 2)



4. Mechanizmy pohybu vody v rostlinách

mechanizmy pohybu vody v rostlině na úrovni buněk a pletiv

- **difúze** – spontánní proces, vede k homogennímu rozmístění molekul dané látky
hybná síla difúze – energie **tepelného** pohybu molekul
- **osmóza** – pohyb vody přes polopropustnou membránu
hybná síla – koncentrační gradient solutů, které neprocházejí membránou



4. Mechanizmy pohybu vody v rostlinách

difúze – spontánní proces, vede k homogennímu rozmístění molekul dané látky
hybná síla difúze – energie **tepelného** pohybu molekul

Vzorec nemusíte znát, jen pro vysvětlení

Rychlost difúze:

$$t = x^2 / D$$

t ... čas

x ... dráha difúze

Dj ... difúzní koeficient (mnohem nižší pro kapalně prostředí)

Pro vzdálenosti uvnitř buňky (10 μm) – voda! $t = 0,1 \text{ s}$

Průnik CO_2 do listu (1 mm) – plyn! $t = 0,024 \text{ s}$

Pro vzdálenost mezi kořenem a listem (1 m): $t = 10^9 \text{ s}$ neboli 32 roky

rychlá jen na krátké vzdálenosti !!!

4. Mechanizmy pohybu vody v rostlinách

úroveň buňky

difúze spontánní proces, vede k homogennímu rozmístění molekul dané látky
hybná síla difúze – energie **tepelného** pohybu molekul
spontánní pohyb molekul z regionu o vyšší koncentraci do regionu o nižší
na úrovni buňky dominantní způsob transportu

Tok látky difúzí Fickův zákon:

Tok (J) látky j difúzí

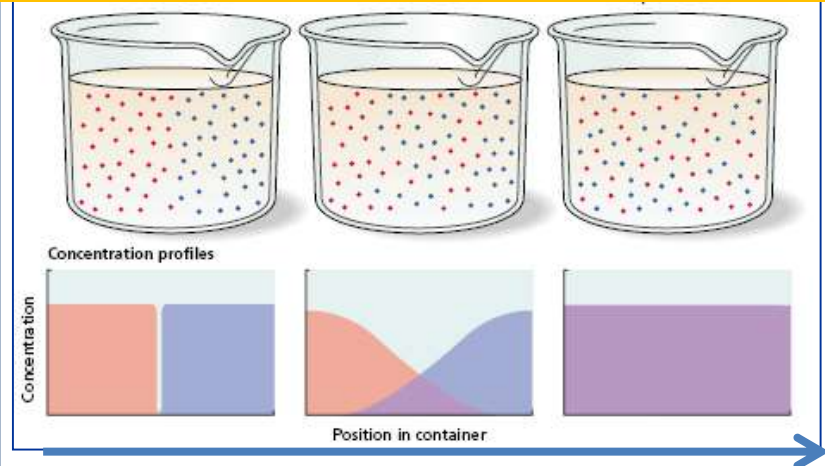
$$J_j = - \frac{D_j \Delta c_j}{\Delta x} \quad [\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}]$$

Δc_j rozdíl koncentrace látky j

Δx dráha difúze

D_j difúzní koeficient (vlastnosti částic a prostředí)

Nemusíte znát, jen pro vysvětlení.....



Rychlost difúze je dána vlastnostmi prostředí a difundujících látek

- malé molekuly vyšší D_j
- difúze ve vzduchu – 10 000x rychlejší než v kapalném prostředí
- závislost na teplotě (rychleji při vyšší T)

pohyb po spádu koncentračního gradientu látky
záporné znaménko

zvyšující se entropie
pokles volné Gibbsovy energie
(2. termodynamický zákon)

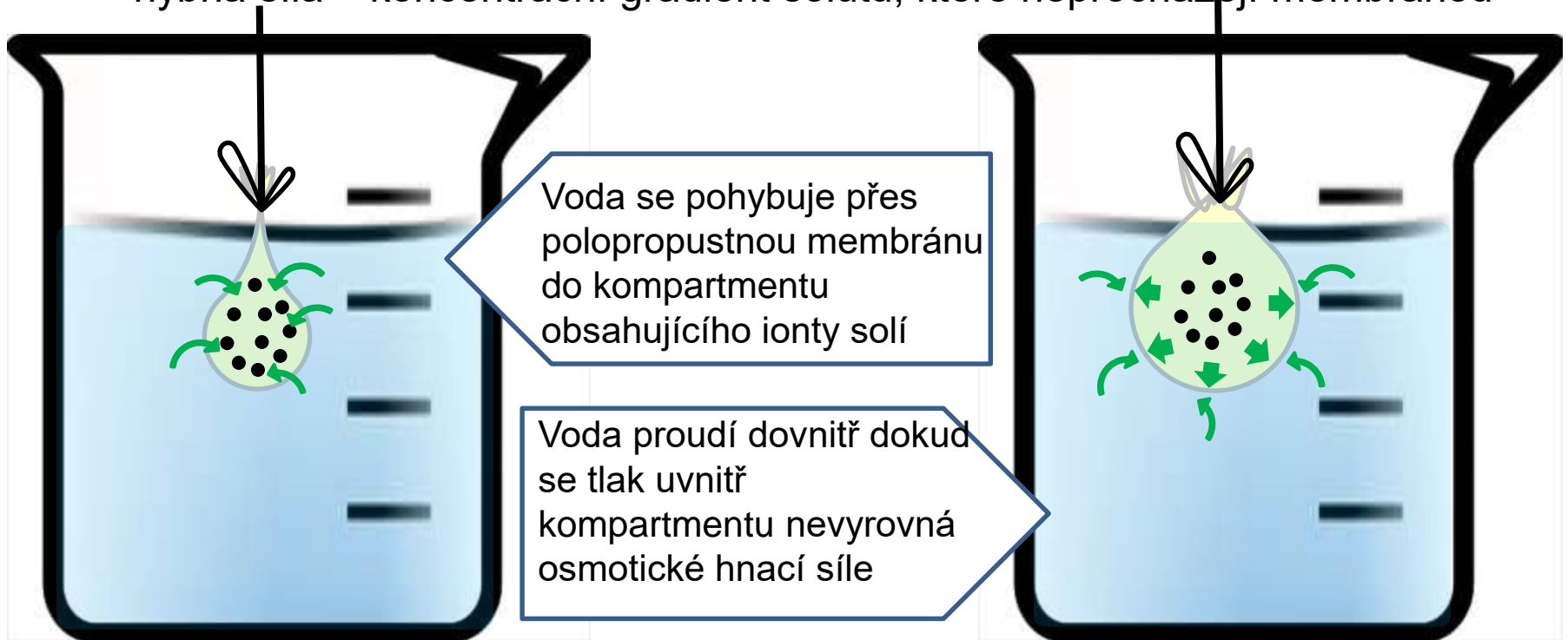
Difúze jako příklad procesu který spěje k nejnižšímu možnému energetickému stavu

4. Mechanizmy pohybu vody v rostlinách

úroveň buňky: **osmóza, turgor**

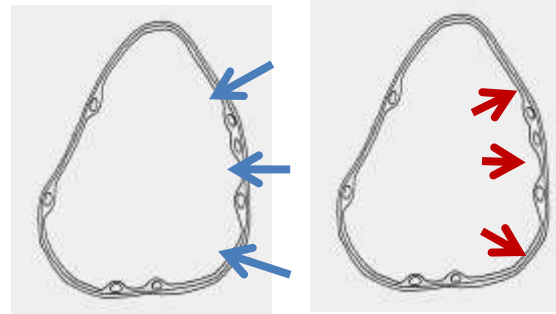
osmóza – pohyb vody přes polopropustnou membránu

hybná síla – koncentrační gradient solutů, které neprocházejí membránou



Rostlinná buňka s vakuolou

- Pasivní příjem vody
- Turgorový tlak na stěnu



4. Mechanizmy pohybu vody v rostlinách

úroveň buňky: **osmóza, turgor**

Turgor

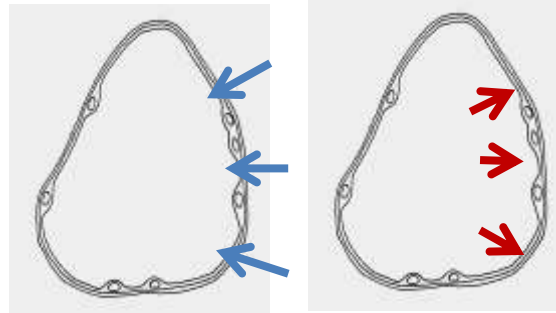
je **vnitřní tlak buněk skrze osmotický systém** (vakuola – buněčná stěna – osmotický gradient) **v rámci pletiva**

Rostlinám dává turgor jejich pevnost a tuhost, kdežto zvadlé rostlině právě chybí.

(latinsky opuchlost, nadutost)

Rostlinná buňka s vakuolou

- Pasivní příjem vody
- **Turgorový tlak na stěnu**



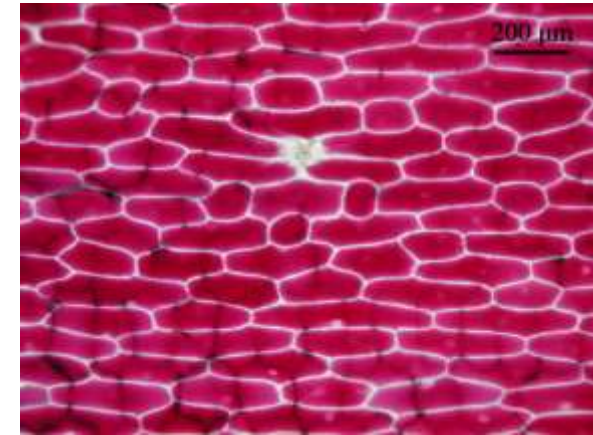
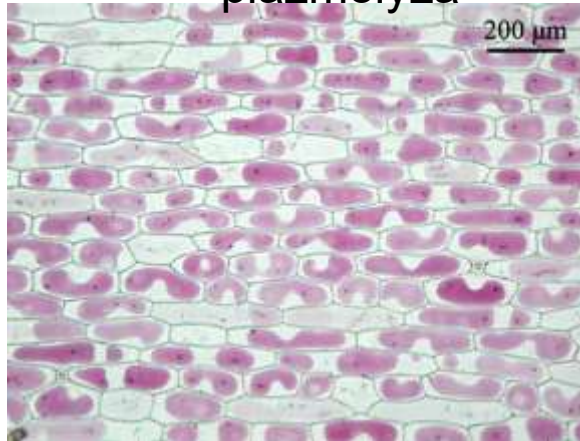
4. Mechanizmy pohybu vody v rostlinách

úroveň buňky: **osmóza, turgor**

Rostlinná buňka v pletivu:

pozitivní tlak protoplastu na buněčnou stěnu - **tlak turgorový / turgor**
plazmolýza

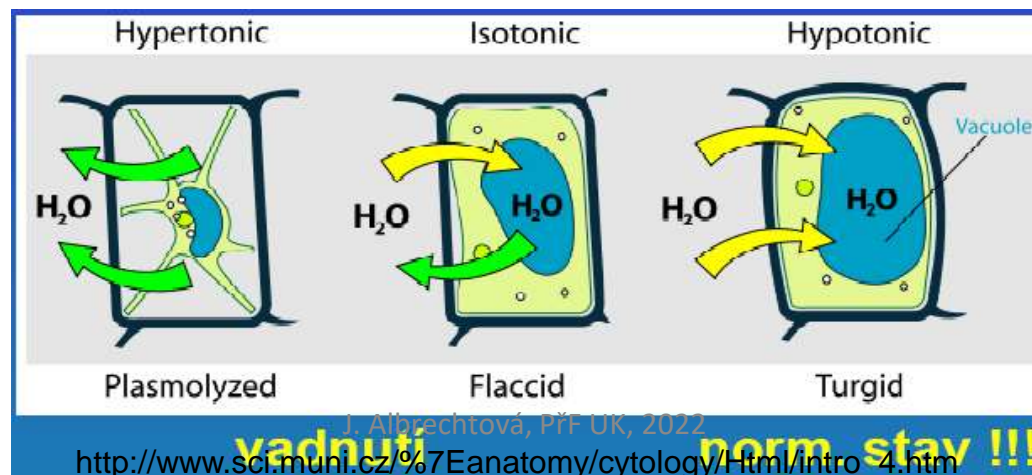
Preparát zhotoven
ze stažené
pokožky suknice
cibule kuchyňské,
červené.



http://www.sci.muni.cz/~anatomy/cytology/html/allium_3.htm

Youtube: <https://www.youtube.com/watch?v=gWkcFU-hHUK>

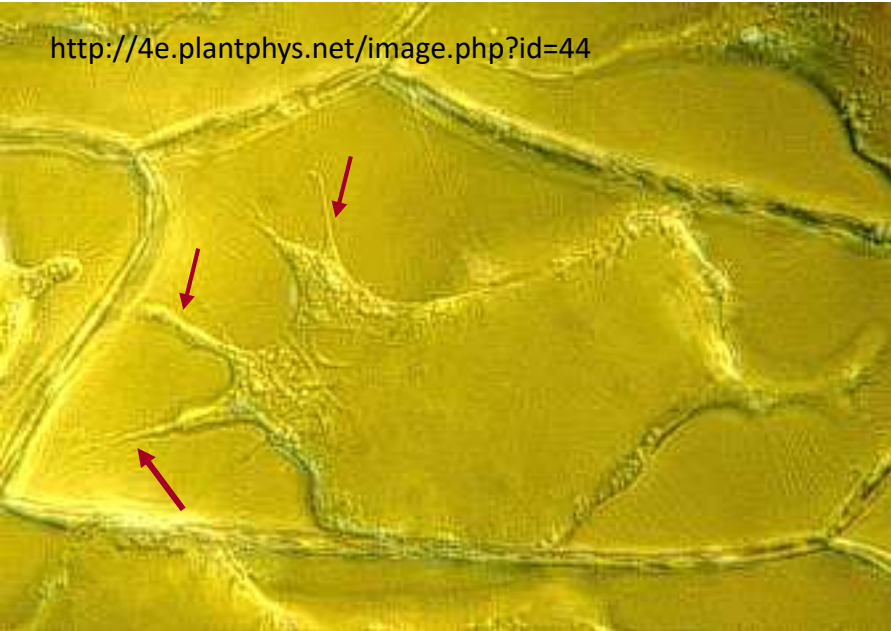
<https://www.youtube.com/watch?v=rMtaqq2bmFU>



4. Mechanizmy pohybu vody v rostlinách

úroveň buňky: **osmóza, turgor**

Plazmolýza pokožkové buňky cibule

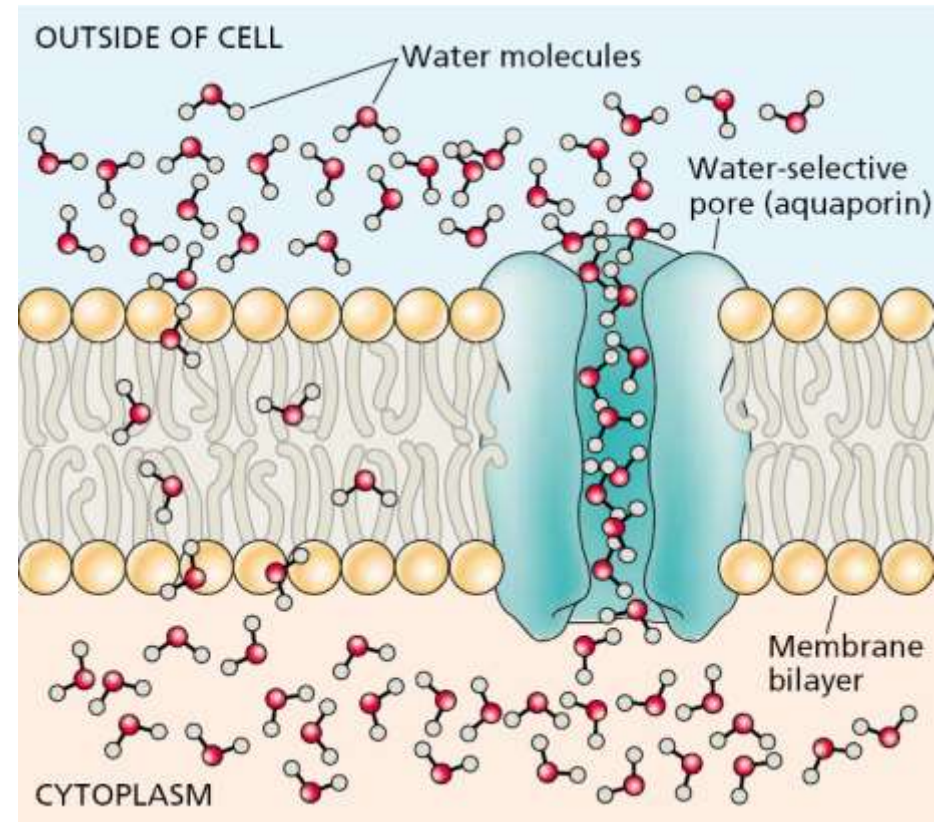


Hechtova vlákna (cytoplasmatické provazce)

(v místě propojení buněk plasmodesmy)

Jen pro zájemce 😊

voda prochází přes membránu:



1. difúzí
2. **selektivními kanály – AQUAPORINY**

- po spádu Ψ_w **bez dodání E!**

1) Anatomie: xylém a floém, transport

2) Význam vody pro rostliny, Adaptace rostlin při přechodu na souš

3) Obsah vody v rostlinách

4) **Mechanismy pohybu vody v rostlinách:**

- Vlastnosti vody
- Vodní potenciál, osmóza, turgor
- Příjem a výdej vody rostlinami
- **Vedení vody rostlinou – vodní potenciál, kořenový vztlak a transpirační sání**

5) Úloha evapotranspirace v tvorbě klimatu, strom - nejdůmyslnější klimatizační zařízení na světě

Vedení vody rostlinou

vodní potenciál

4. Mechanizmy pohybu vody v rostlinách

4. Vodní potenciál – směr transportu vody v systému

Nemusíte znát, jen pro vysvětlení

stav vody v rostlině a okolí charakterizuje **vodní potenciál** Ψ_w [psí]

je odvozen z chemického potenciálu - vyjadřuje se v Pa (jednotka tlaku)

chemický potenciál čisté vody se konvenčně pokládá za 0

$$\Psi_w = \frac{\mu_w - \mu_w^0}{V_w} \quad (\text{MPa})$$

μ_w – chemický potenciál vody v soustavě

μ_w^0 – chemický potenciál čisté vody
za standardních podmínek

V_w – molární objem vody

Ψ_w je ovlivněn množstvím rozpuštěných látek (potenciál osmotický) Ψ_s

tlakem (potenciál tlakový) Ψ_p

gravitací (potenciál gravitační) Ψ_g

charakterem kontaktního povrchu (potenciál matriční) Ψ_m

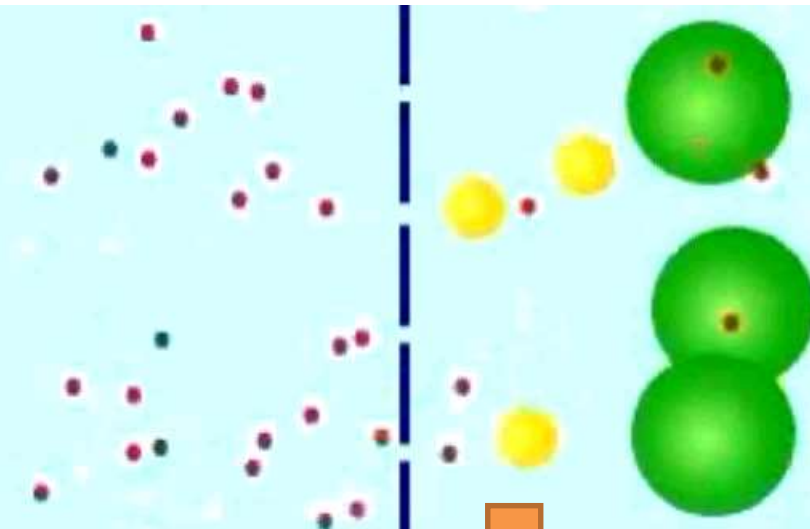
$$\Psi_w = \Psi_s + \Psi_p + \Psi_g + \Psi_m$$

Ψ_w – je záporný

4. Mechanizmy pohybu vody v rostlinách

4. Vodní potenciál – směr transportu vody v systému

Nemusíte znát, jen pro vysvětlení



Ψ_s potenciál **osmotický** (množství rozpuštěných látek)

Ψ_p potenciál **tlakový** (turgor buněk)

Ψ_g potenciál **gravitační** (výška nad povrchem)

$$\Psi_w = \Psi_s + \Psi_p + \Psi_g$$

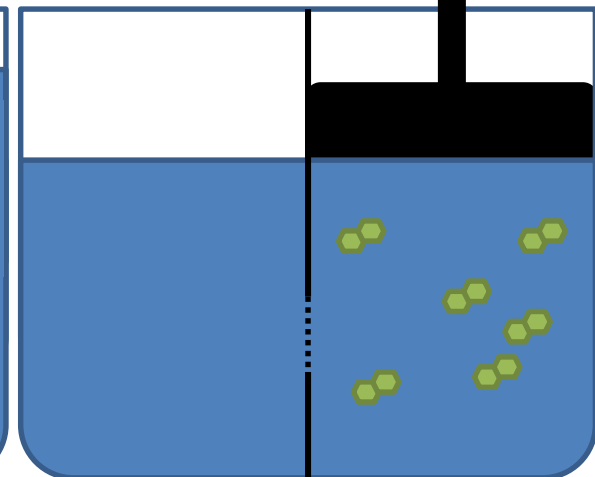
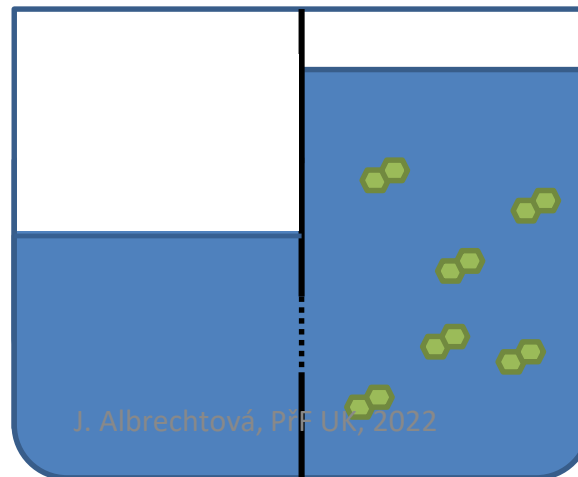
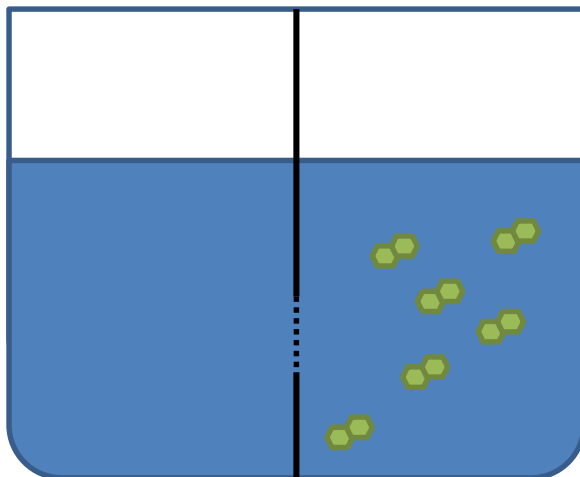
$$\Psi_p = \Psi_w - \Psi_s - \Psi_g$$

$$\Psi_s = -0,2 \text{ MPa}$$

$$\Psi_p = 0,2 \text{ MPa}$$

$$\Psi_w = 0,2 - 0,2 = 0,0 \text{ MPa}$$

+ sacharóza



4. Mechanizmy pohybu vody v rostlinách

4. Vodní potenciál – směr transportu vody v systému

Vodní potenciál Ψ (psi)

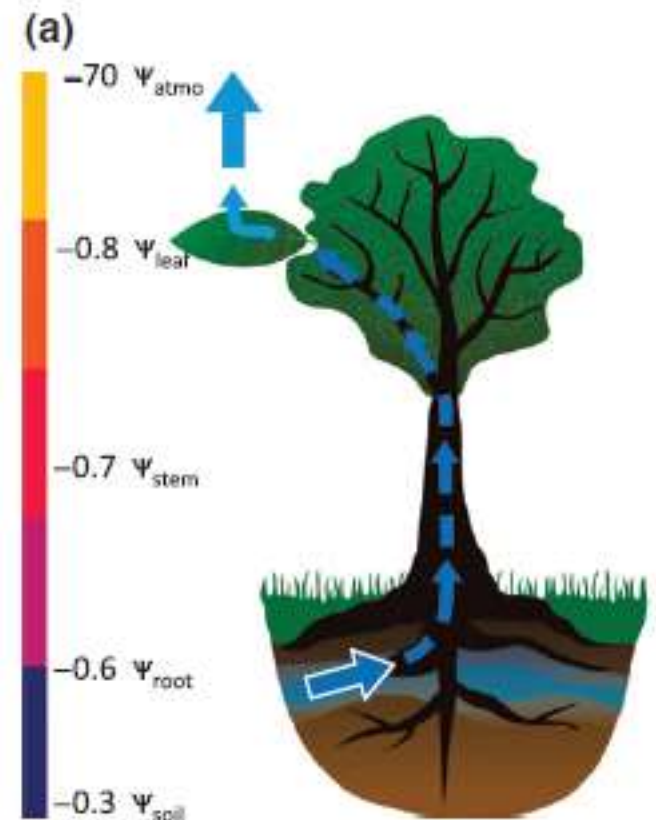
veličina používaná ve fyziologii rostlin / ekofyziologii

charakterizuje stav vody v dané části systému (půda, rostlina, atmosféra)

určuje odkud kam voda poteče

Potenciální energie jednotkového objemu vody v dané části systému (např. v xylému rostliny) vztažená k čisté vodě v referenčních podmínkách.

Vodní potenciál vyčísluje tendenci vody pohybovat se z místa na místo na základě osmózy, rozdílu v tlaku či díky kapilaritě.



4. Mechanizmy pohybu vody v rostlinách

4. Vodní potenciál – směr transportu vody v systému

voda se pohybuje **z míst s vyšším** (méně záporným) **vodním potenciálem do míst s nižším** (zápornějším) **potenciálem** - tj. **po spádu vodního potenciálu**

většinou:

v systému **půdní roztok** – **rostlina** – **atmosféra** Ψ_w **klesá**
-0,3MPa **-0,8 MPa** **-95 MPa**

„Vodní potenciál je pro rostlinu něco jako krevní tlak pro člověka“

- Určuje: 1/ **odkud kam voda poteče**
(z míst s Ψ bližším nule do míst se zápornějším Ψ)
- Spoluurčuje: 2/ **kolik vody poteče (je hnací silou toku)**
(tok je úměrný gradientu Ψ)
- Je ukazatelem: 3/ **Zásobenosti vodou**

4. Mechanizmy pohybu vody v rostlinách

4. Vodní potenciál – směr transportu vody v systému

voda se pohybuje **z míst s vyšším** (méně záporným) **vodním potenciálem do míst s nižším** (zápornějším) **potenciálem - tj. po spádu vodního potenciálu**

Tab. 1. Hodnoty vodního potenciálu v různých částech systému půda – rostlina – atmosféra (Nobel 1991, obrázek převzat z Taiz a Zeiger 2002)

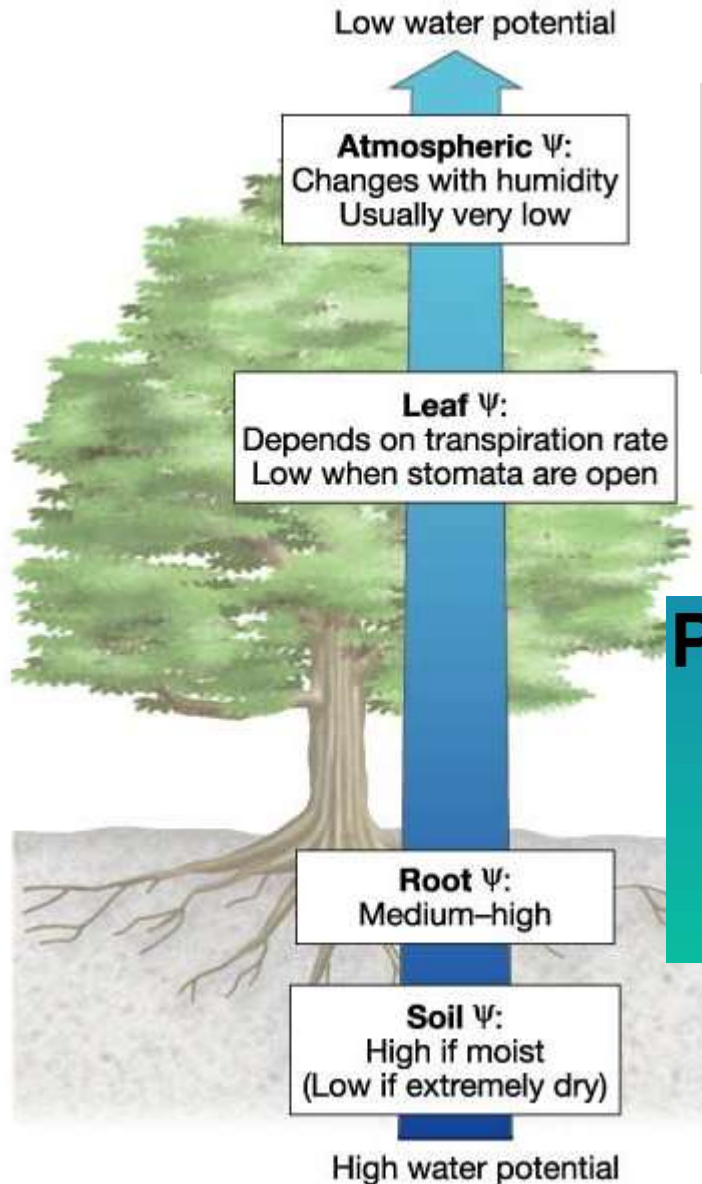
část systému	vodní potenciál Ψ_w (MPa)	osmotický potenciál Ψ_s (MPa)	tlakový potenciál Ψ_p (MPa)	gravitační potenciál Ψ_g (MPa)	
atmosféra	vzduch hned za hraniční vrstvou při relativní vlhkosti 50%	-95,1	-	-	0,1
	vzduch v okolí průduchů při relativní vlhkosti 60 %	-70,0	-	-	0,1
	vzduch v průduchové štěrbině 95% relativní vlhkosti	-6,9	-	-	0,1
rostlina	buněčná stěna mezofylové buňky ve výšce 10 m	-0,8	-0,5	-0,4	0,1
	vakuola mezofylové buňky 10 m nad povrchem půdy	-0,8	-1,1	0,2	0,1
	xylém v listech 10m nad povrchem půdy	-0,8	-0,1	-0,8	0,1
	xylém v kořenech na úrovni povrchu půdy	-0,6	-0,1	-0,5	0
půda	půda v blízkosti kořenů	-0,5	-0,1	-0,4	0
	půda 10 cm pod povrchem 1 cm od kořene	-0,3	-0,1	-0,2	0



4. Mechanizmy pohybu vody v rostlinách

Vedení vody rostlinou – vodní potenciál, kořenový vztlak a transpirační sání

Vodní potenciál Ψ (psí)

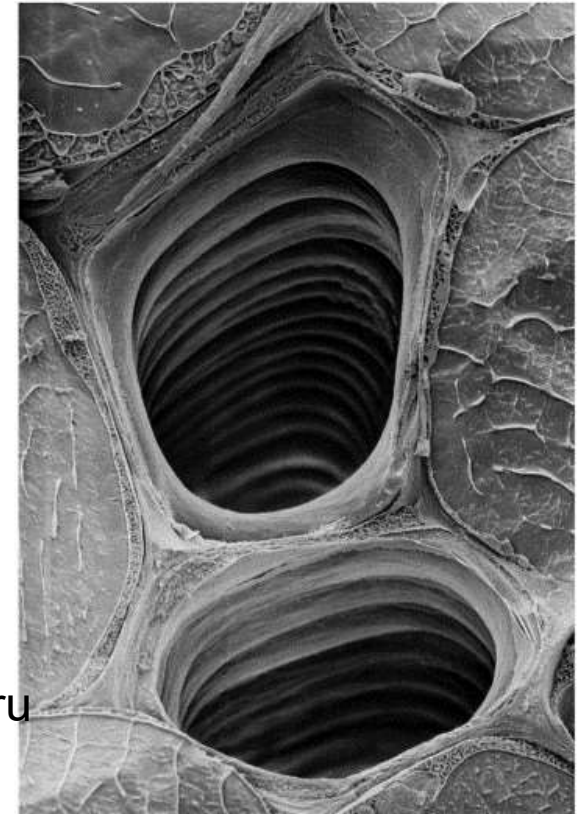
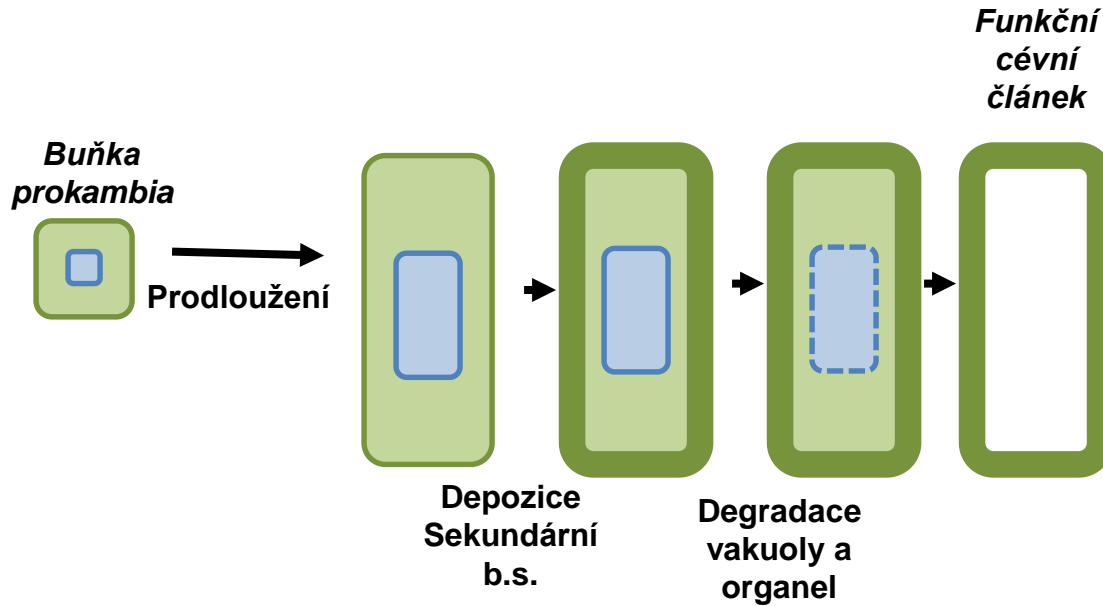


**vodní potenciál vodní páry
ve vzduchu ovlivňuje
rychlost transpirace!**

Pro RVV = 100 %: $\Psi_{vp} = 0$ Pa
99 %: $\Psi_{vp} = -1,35$ MPa
96 %: $\Psi_{vp} = -5,5$ MPa
50 %: $\Psi_{vp} = -94$ MPa !!!

Vedení vody rostlinou – xylém
„cévní elementy tvoří potrubí od kořenů až do listů“

Transport vody xylémem na dlouhou vzdálenost



Current Opinion in Plant Biology

Transport vody xylémem

– transport vody trubicemi o nízkém hydraulickém odporu

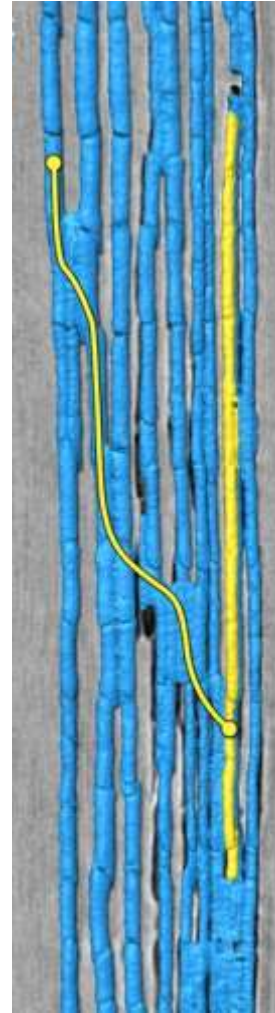
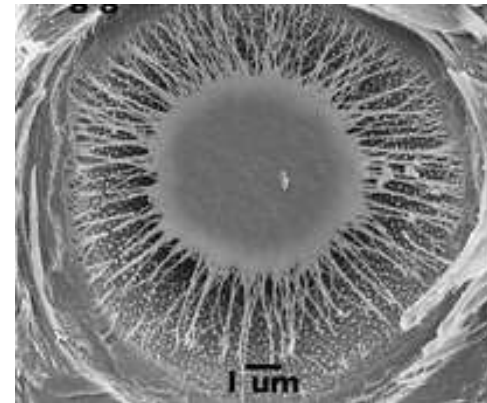
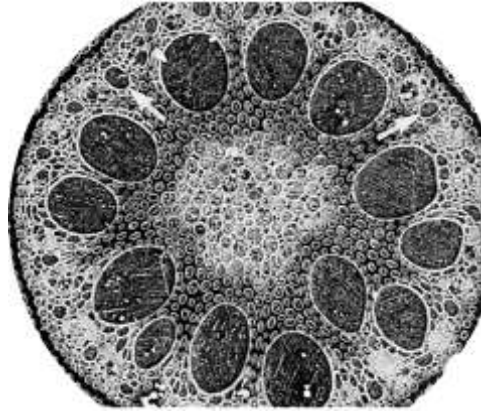
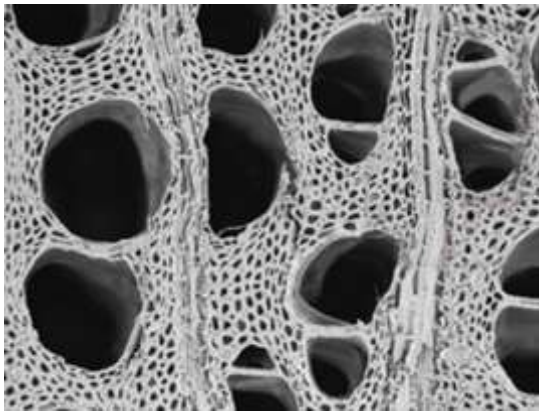
Buňka skrze programovanou buněčnou smrt ztrácí cytosol, živý obsah a zůstává jen dutá buněčná stěna. Voda se pohybuje v cévních elementech jako v potrubí

Reprinted from Roberts, K., and McCann, M.C. (2000). Xylogenesi: the birth of a corpse. Current Opinion in Plant Biology 3: [517-522](#) with permission from Elsevier

Transport vody xylémem na dlouhou vzdálenost

jak struktura xylému ovlivňuje jeho funkci?

- Vedení vody xylémem je funkcí:
 - distribuce průměrů vodivých elementů
 - délky vodivých elementů
 - počtu cév zapojených v transportu
 - odporu transportu mezi vodivými elementy

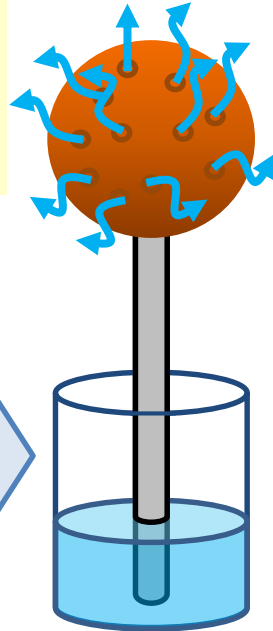


4. Mechanizmy pohybu vody v rostlinách

Vedení vody rostlinou – vodní potenciál, kořenový vztlak a transpirační sání

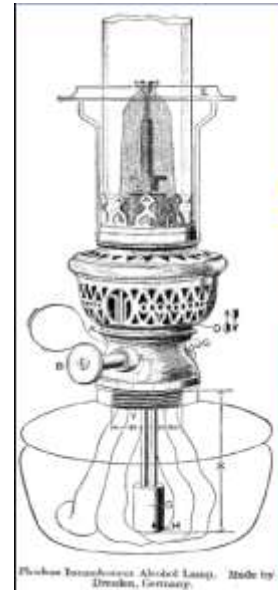
Příjem a transport vody v rostlinách se řídí fyzikálními zákony

Vzestupný transport vody v rostlině, poháněný evaporací, může být demonstrován na čistě fyzikálním modelu



“Jev je srovnatelný s nasáváním vodního sloupce do porézní nádoby, kde dochází k vypařování vody z povrchu”
– Dixon and Joly (1895)

Stejně jako Lego je voda velmi soudržná, což znamená, že se molekuly sebe drží a sloupec vody může být vytažen do velké výšky.



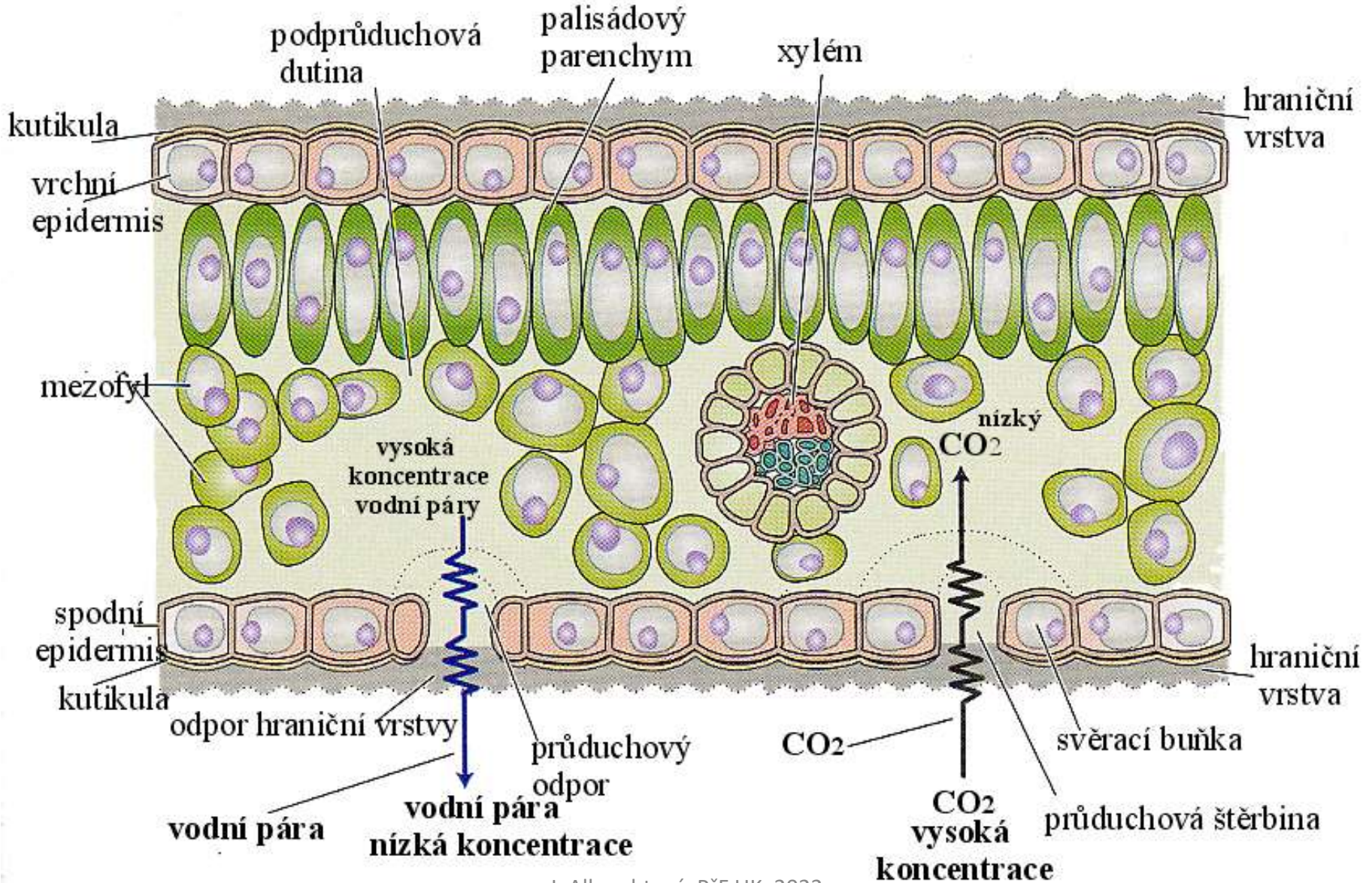
Dixon, H.H. and Joly, J. (1895). On the Ascent of Sap. Phil. Trans. Roy. Soc. London. (B.). 186: [563-576](#).

4. Výdej vody rostlinami: transpirace

Výdej vody rostlinou = transpirace

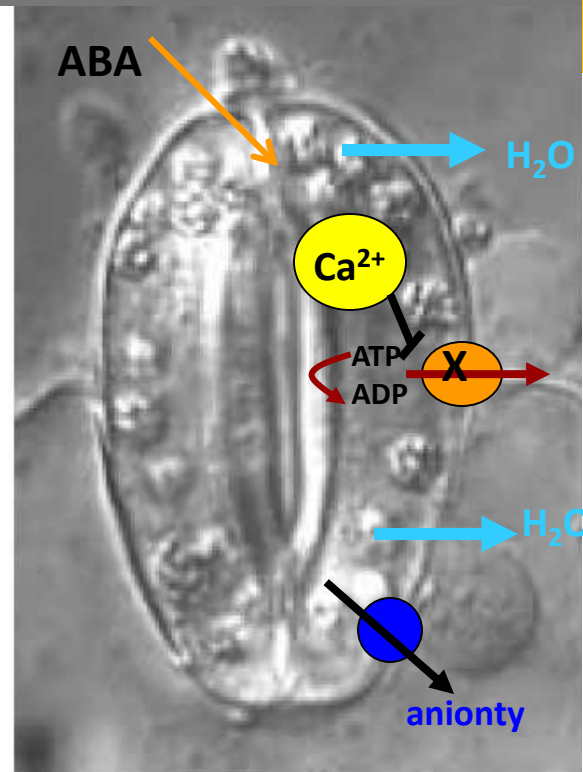
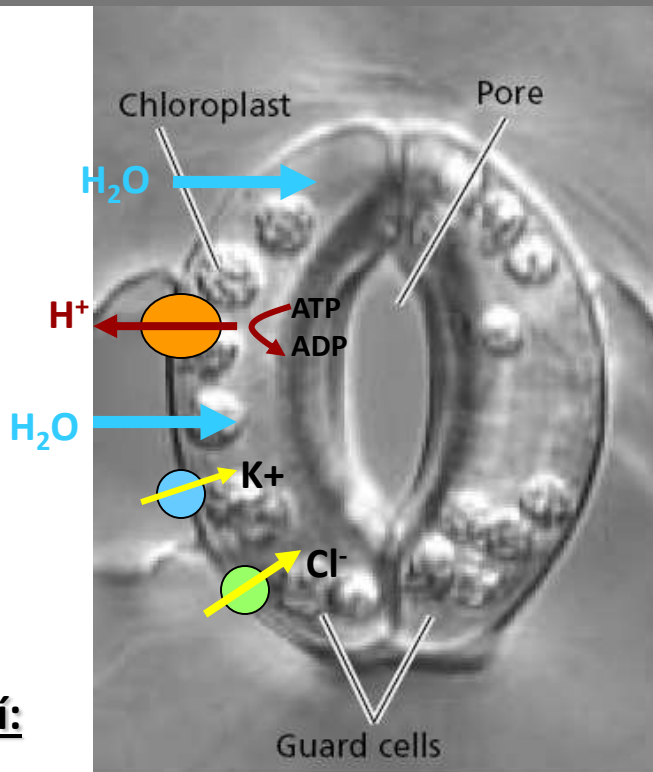
1. Kutikulární transpirace – zanedbatelná
2. Stomatální transpirace – nejvíce průduchů mají listy
(stonek oproti tomu zanedbatelně....)

4. Výdej vody rostlinami: transpirace



4. Výdej vody rostlinami: transpirace

Aktivní otvírání a zavírání průduchů



Pro připomenutí...

ABA – kys. abscisová
signál z kořenů při
snížení vod. potenciálu
v půdě

Otevírání:

- ATPáza tvoří H⁺ gradient
- K⁺ vstup do buňky
- vstup a tvorba aniontů (Cl⁻, malát)
- rozklad škrobu na hexózy
- vstup vody (zvýšení turgoru)

Zavírání:

- ABA – zvýšení Ca²⁺
- Ca²⁺ blokuje vstup K⁺
a aktivitu ATPázy
- Ca²⁺ otevírá aniontové kanály
- výstup vody - snížení turgoru

4. Vedení vody rostlinou – vzestupný proud

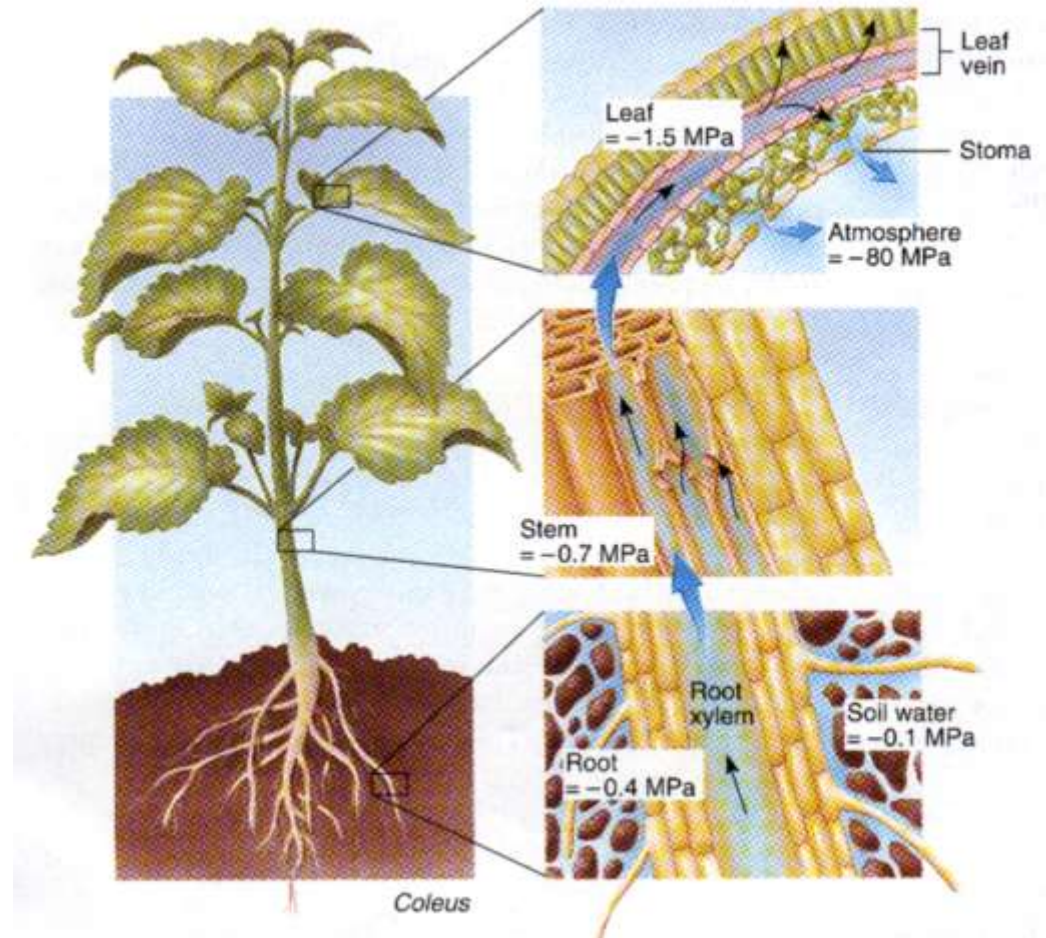
Jak dostat vodu z kořenů až do listů?

4. Vedení vody rostlinou – vzestupný proud

Jak dostat vodu z kořenů až do listů?

„Motory“ vzestupného proudu:

1. Kořenový vztlak
2. Transpirační sání



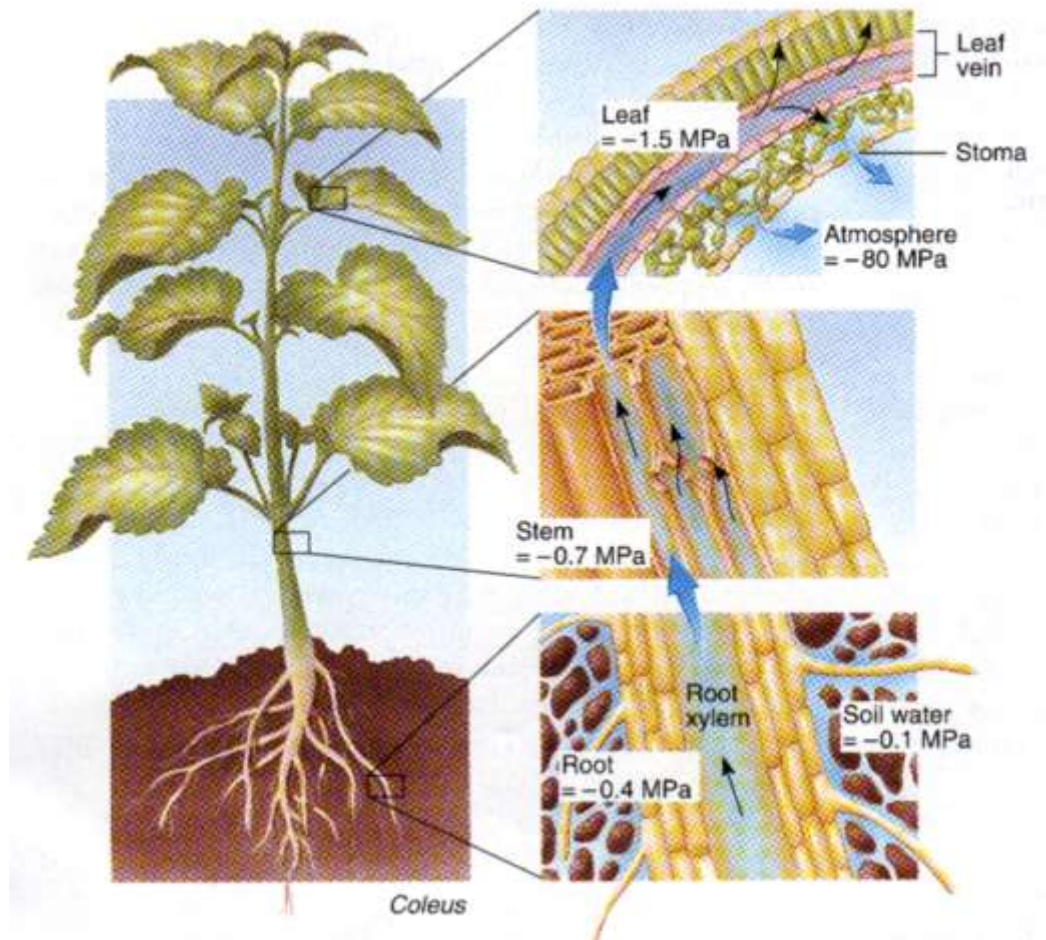
4. Vedení vody rostlinou – vzestupný proud

Jak dostat vodu z kořenů až do listů?

„Motory“ vzestupného proudu:

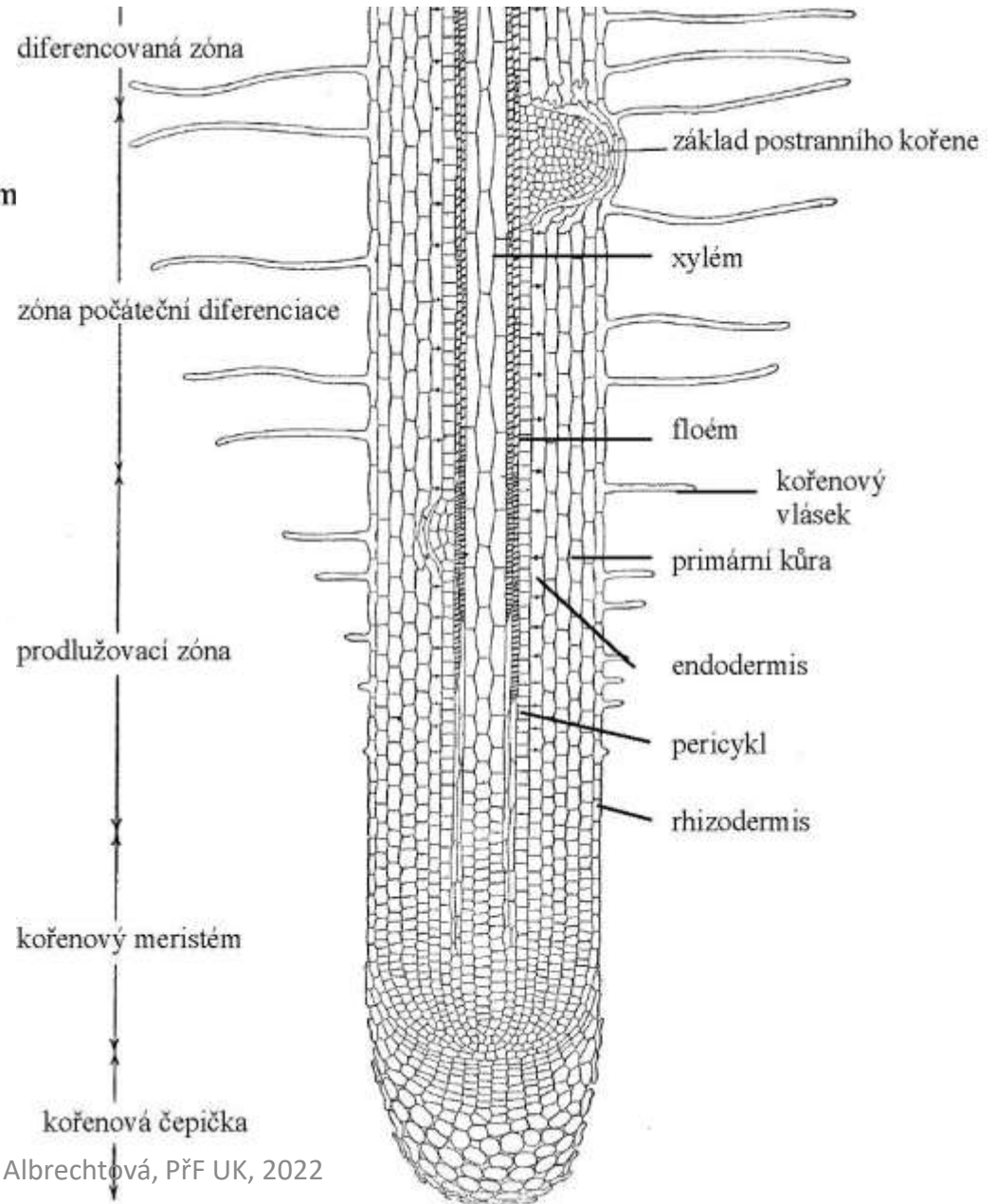
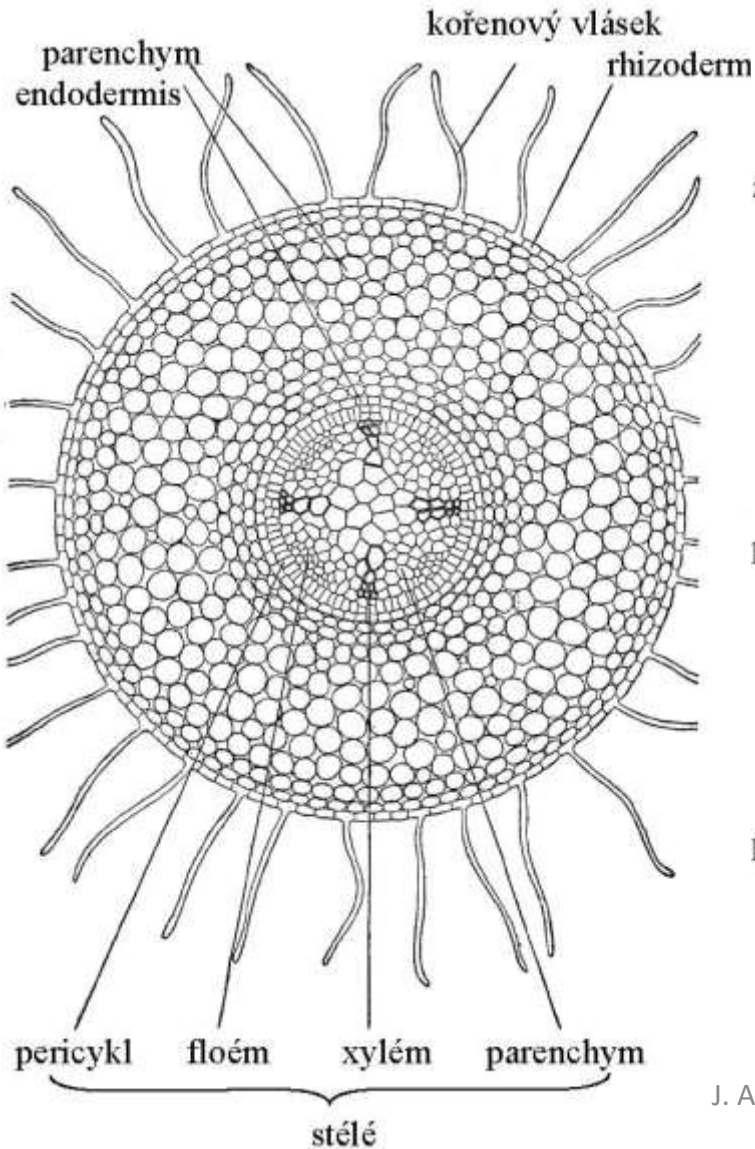
1. Kořenový vztlak

2. Transpirační sání



Příjem vody rostlinami

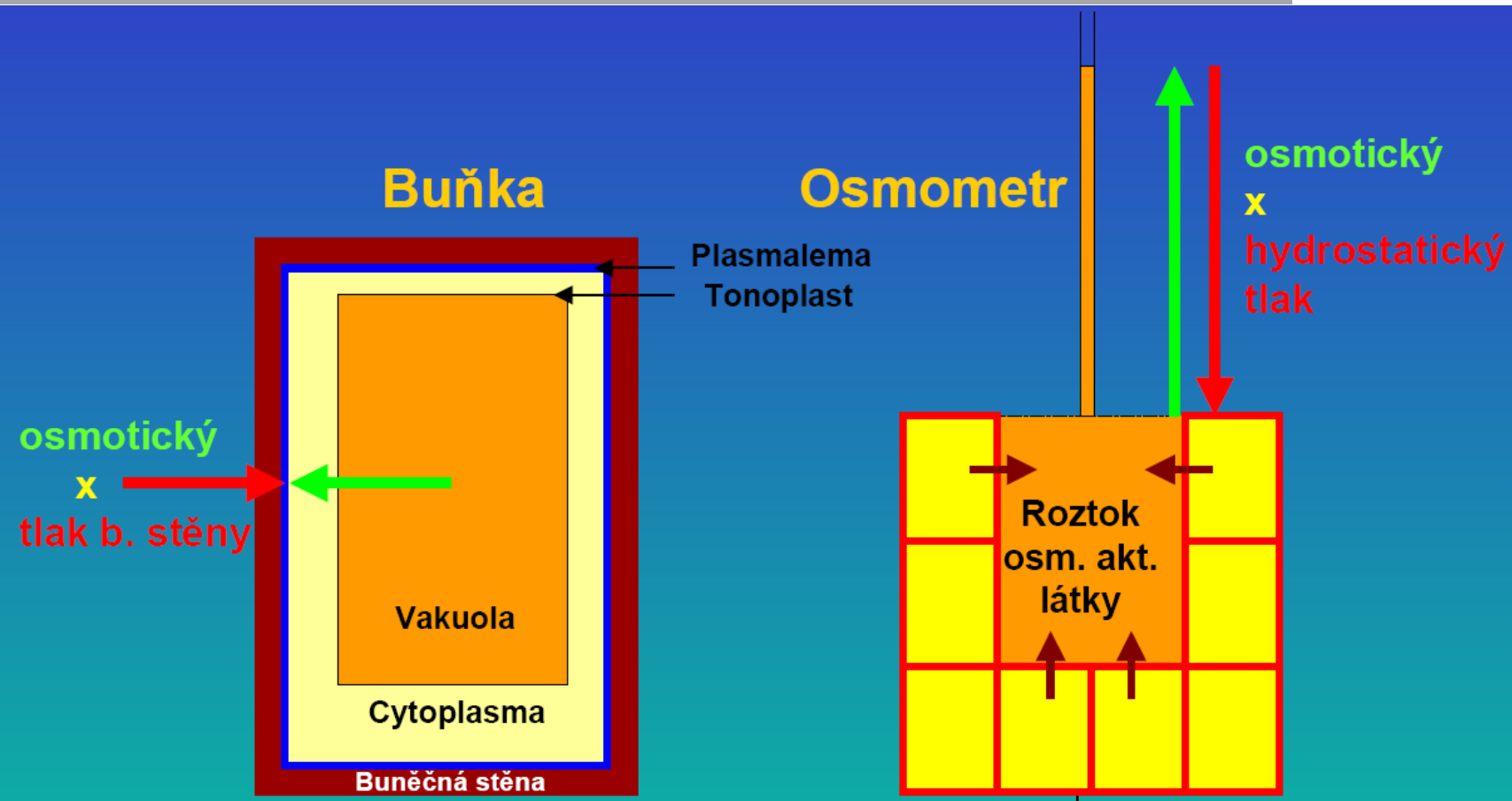
stavba kořene



4. Vedení vody rostlinou: kořenový vztlak

Jak dostat vodu z kořenů až do listů?

1. Kořenový vztlak



Aktivním transportem látek roste v apoplastu uvnitř kořene osmotický tlak + vstup vody = kořenový vztlak

4. Vedení vody rostlinou: kořenový vztlak

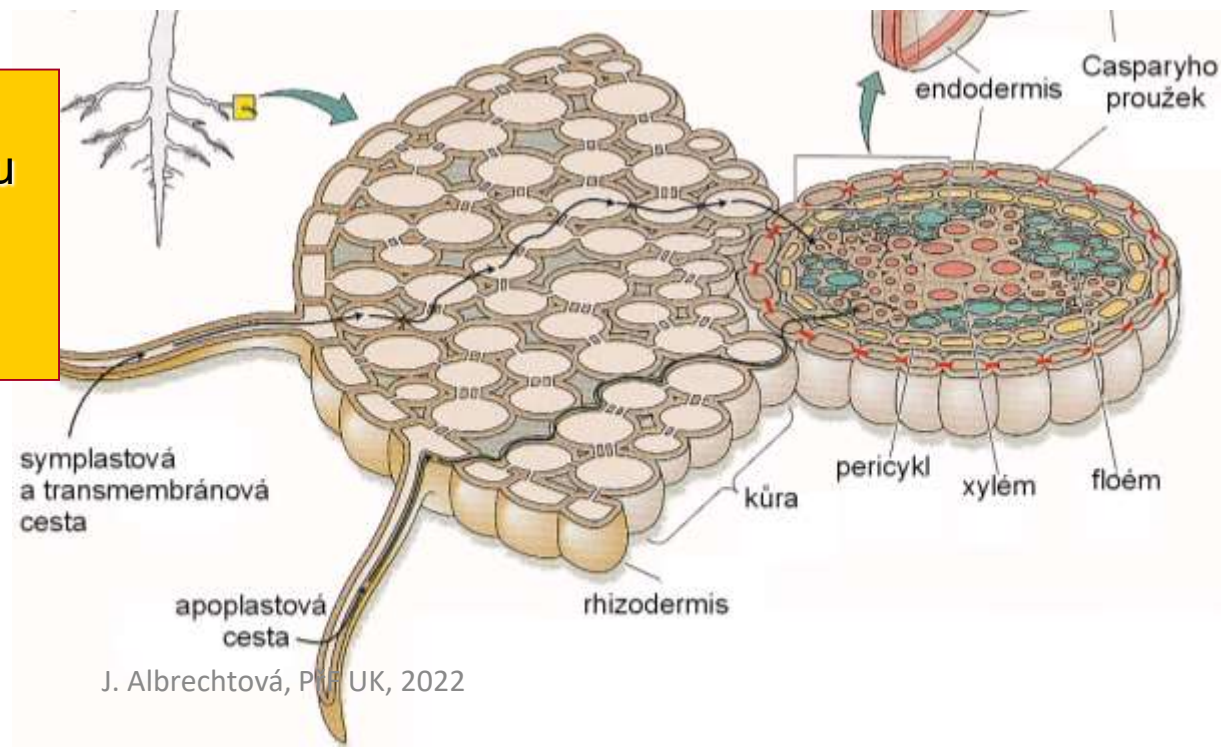
Jak dostat vodu z kořenů až do listů?

1. Kořenový vztlak

kladný tlakový potenciál v xylému kořene se nazývá **kořenový vztlak**

kořenový vztlak je **významný u opadavých dřevin na jaře** pro transport vody a minerálních i organických látek do nadzemní části rostliny

Osmotické jevy nemají kapacitu, ani dostatečnou sílu pro pokrytí spotřeby vody (při transpiraci) v listech



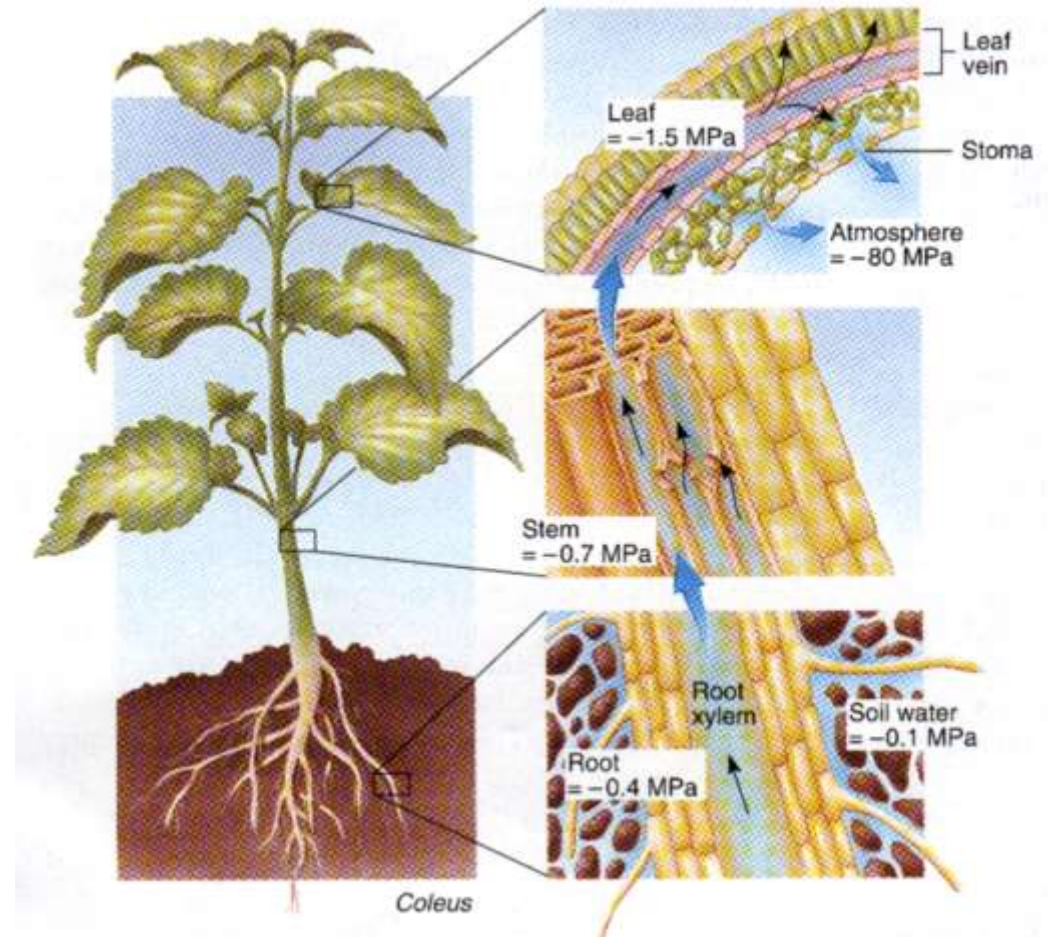
4. Vedení vody rostlinou – vzestupný proud

Jak dostat vodu z kořenů až do listů?

„Motory“ vzestupného proudu:

1. Kořenový vztlak

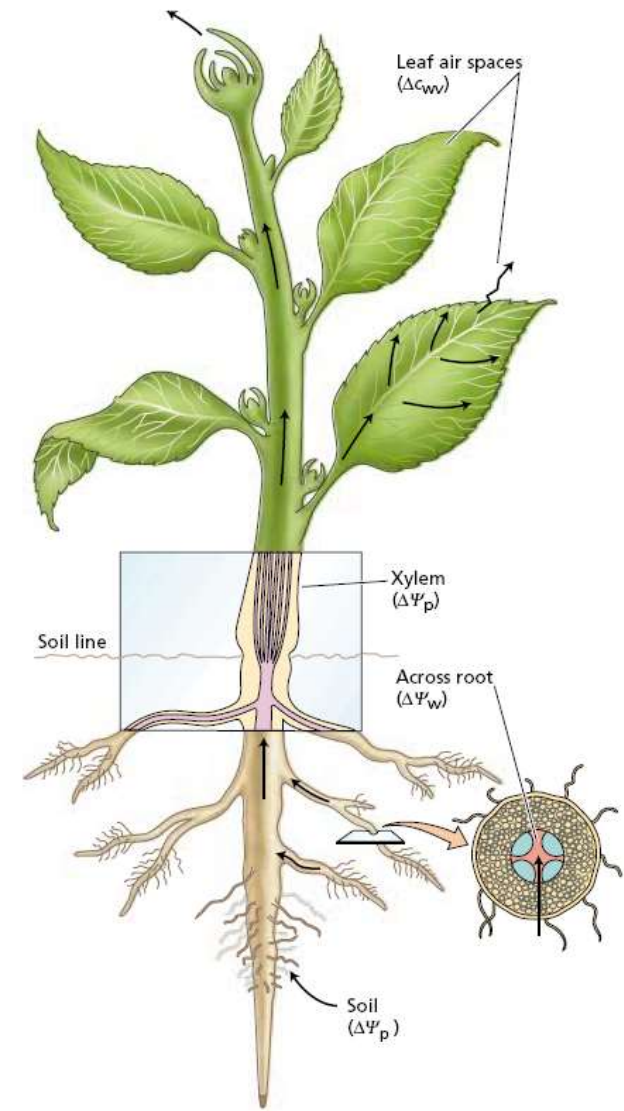
2. Transpirační sání



4. Vedení vody rostlinou: transpirační sání

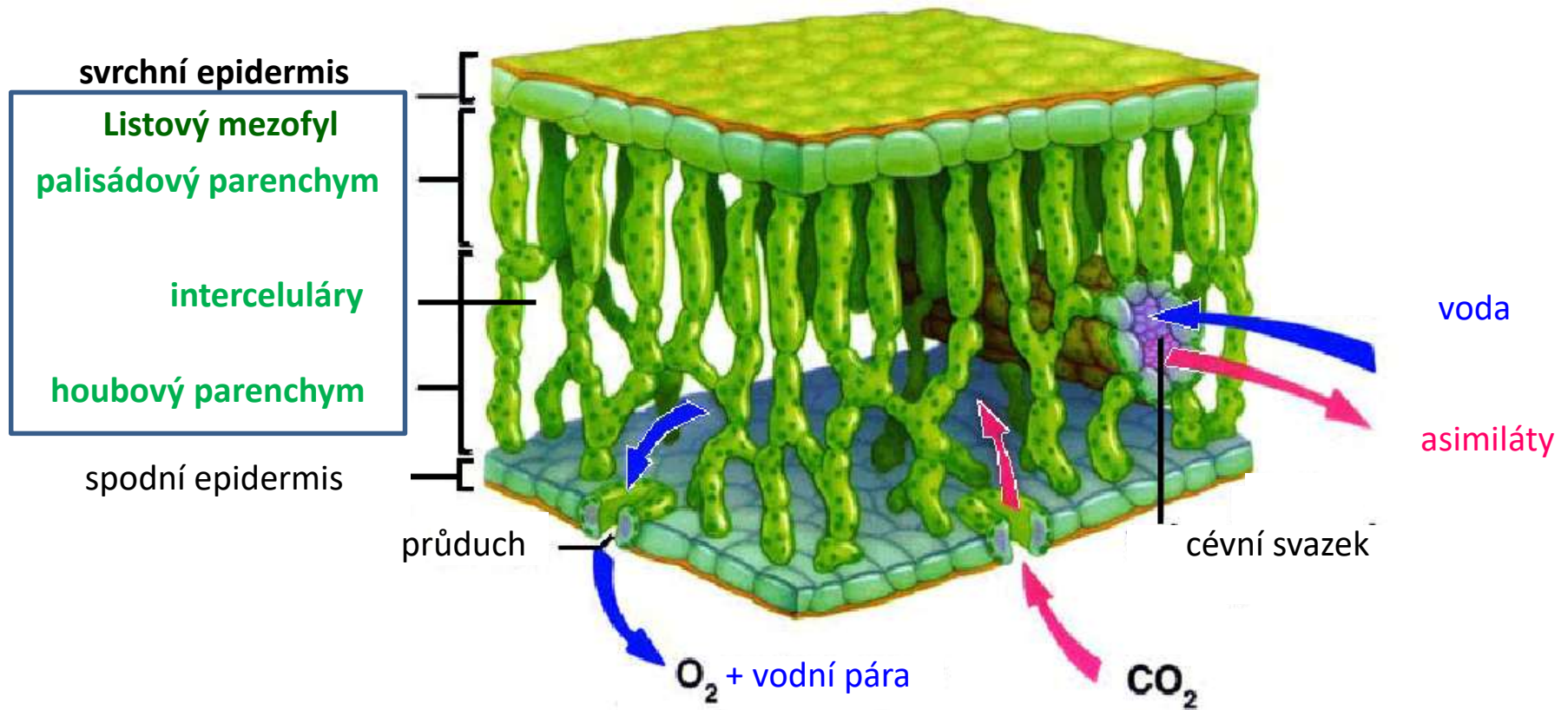
Jak dostat vodu z kořenů až do listů?

2. Transpirační sání



4. Vedení vody rostlinou: transpirační sání

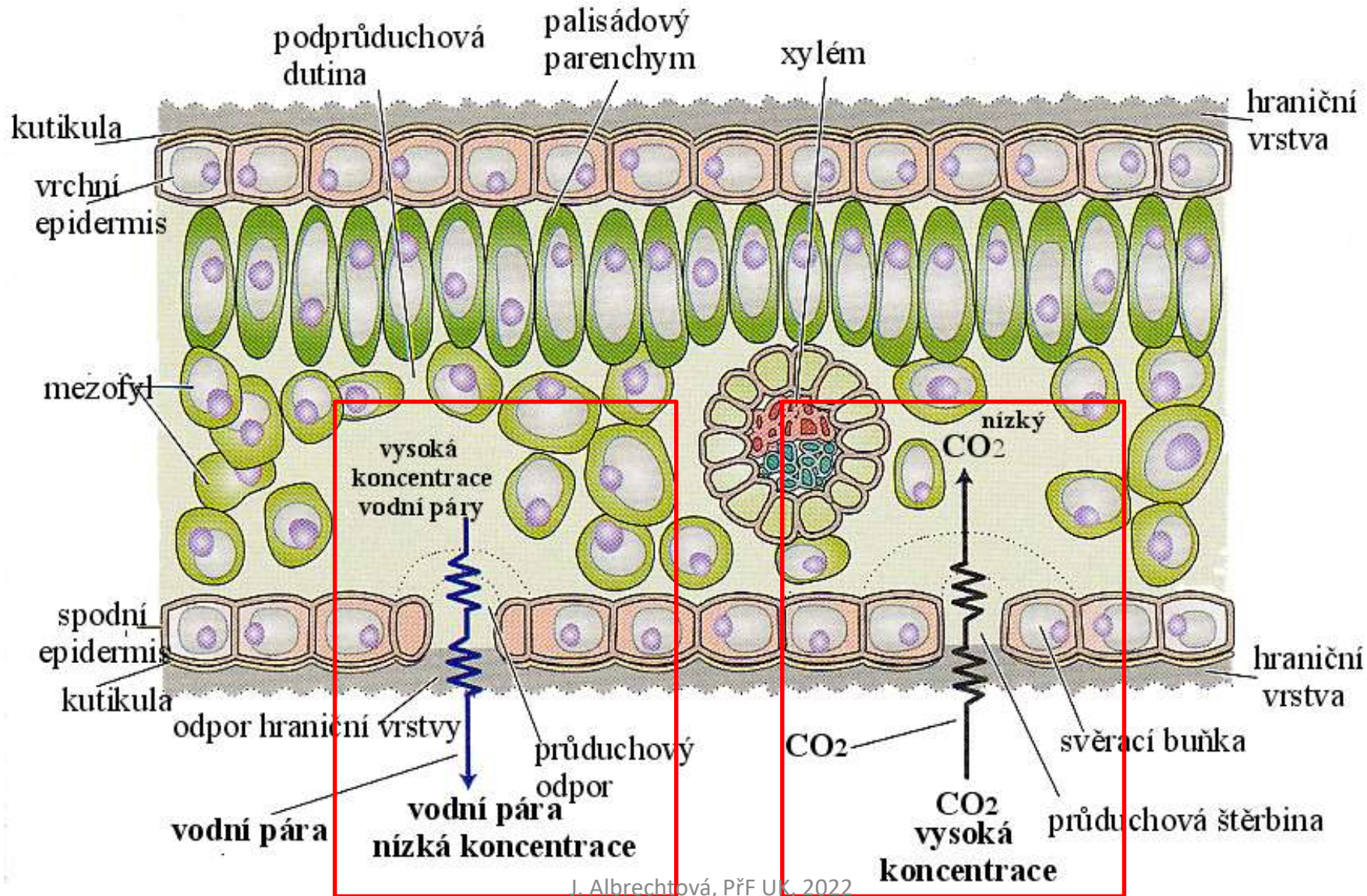
Pro připomenutí....



<http://www.life.uiuc.edu/plantbio/102/lectures/LEAFSEC.JPG>

4. Vedení vody rostlinou: transpirační sání

Pro připomenutí....



4. Vedení vody rostlinou: transpirační sání

Jak dostat vodu z kořenů až do listů?

Odpar = síla „táhnoucí“ souvislý sloupec vody v xylémovém toku!!!

Voda nestoupá prázdnými cévami, ale sloupce vody rostou spolu s rostlinou!!!

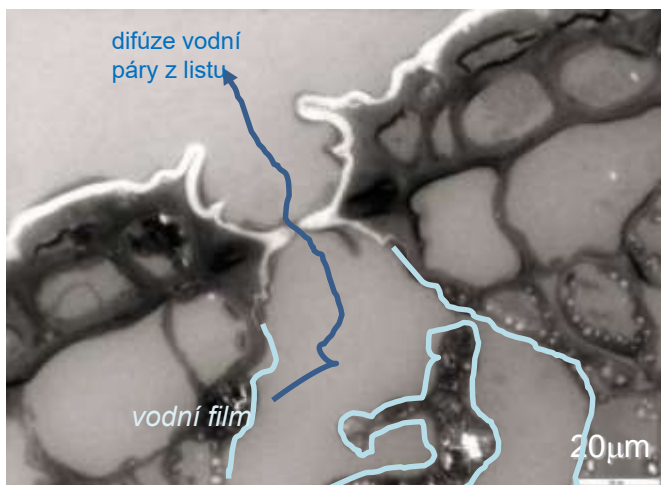
Vodní kontinuum, držené kohezními a adhezními silami, nesmí se přerušit

Jak se udrží až 100 m vysoké sloupce vody?

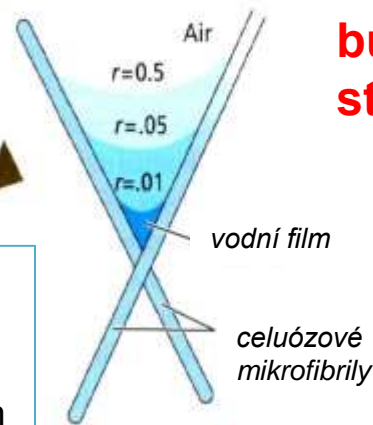
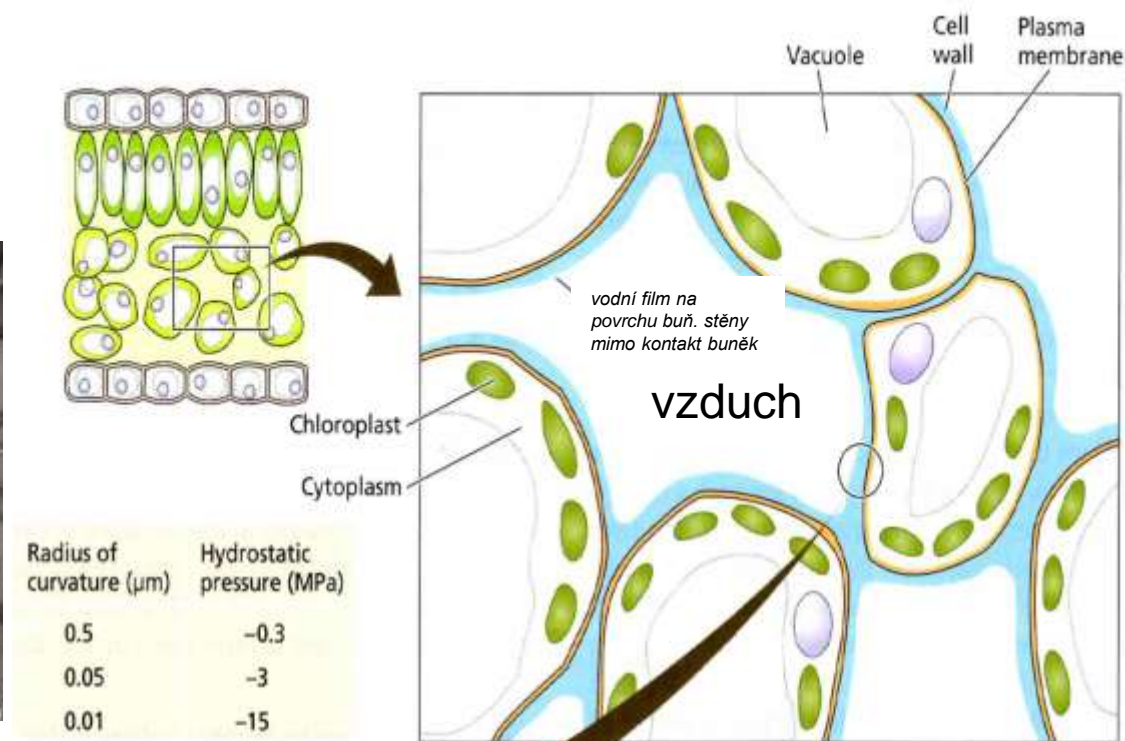
$$\Psi_w = \Psi_s + \Psi_p + \Psi_g + \Psi_m$$

4. Vedení vody rostlinou: transpirační sání

přechod vody do plynné fáze na vnitřním povrchu listu



Příčný řez listem *Ficus elastica*. Detail spodní epidermis. Barveno gencianovou modří. Foto M. Šimková, 2003



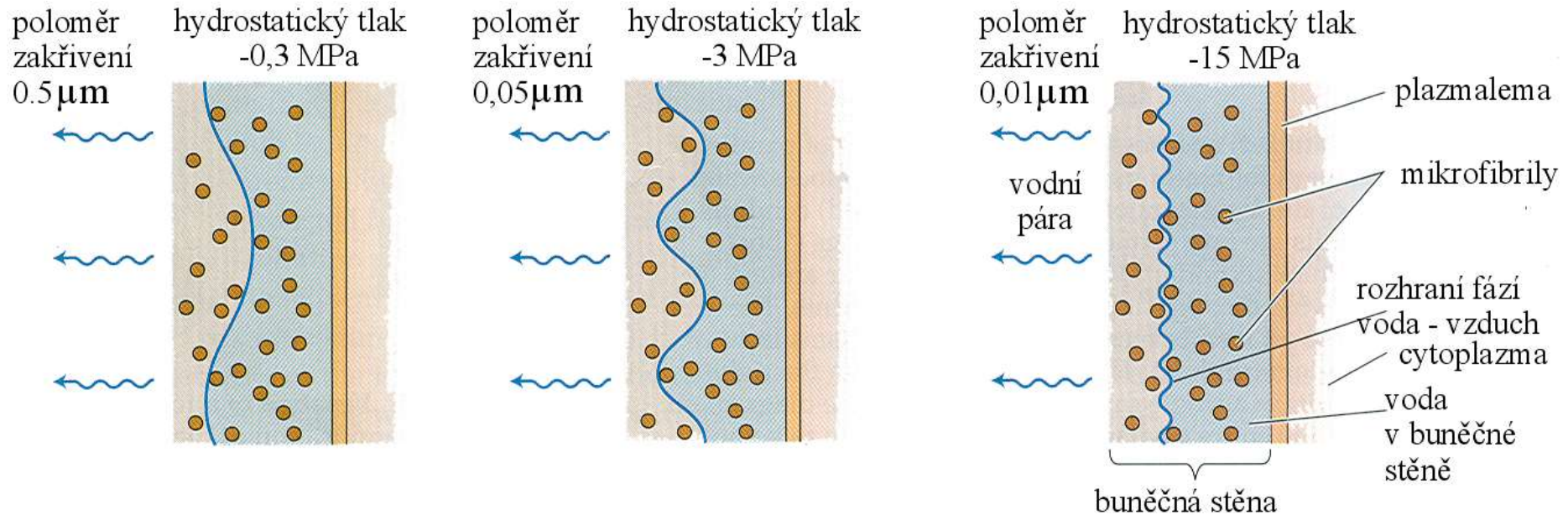
Kapiláry v buněčné stěně!!!



Hnací síla pohybu vody v rostlině je dána výparem z listů. Výpar vody z povrchu buněčných stěn mezofylu: póry mezi celulózovými mikrofibrilami – povrchové napětí – tenze (podtlak) – sání vody celým xylémovým systémem

4. Vedení vody rostlinou: transpirační sání

vodní poměry na povrchu buněčných stěn – závislost na struktuře
význam kapilarity

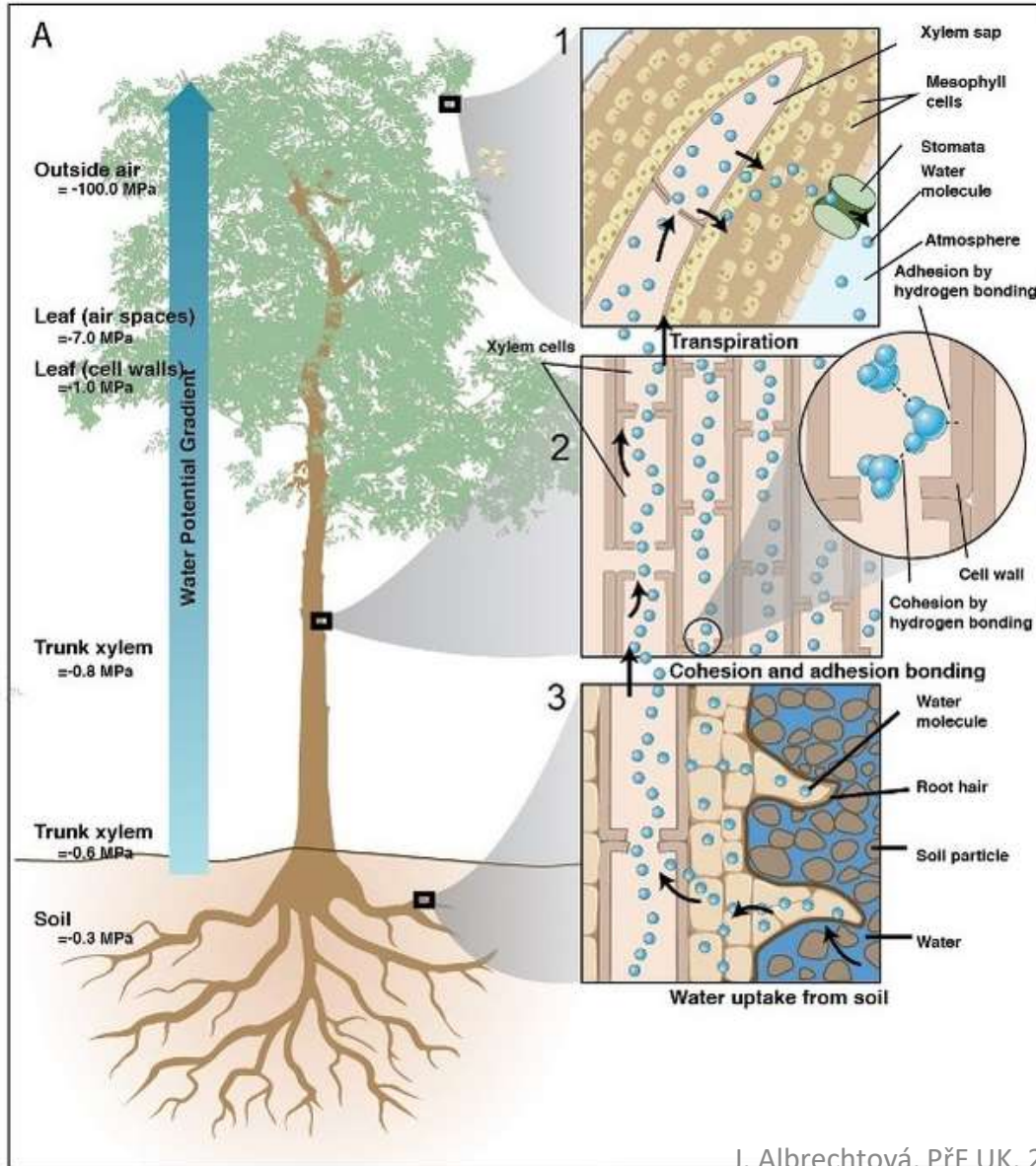


tracheida: $r = 40 \mu\text{m}$ $h = 0,3719 \text{ m}$

mikrofibrilární pór v buněčné stěně: $r = 0,005 \mu\text{m}$ $h = 2975 \text{ m}$

Dostatečně tenká kapilára (celulózní buněčné stěny s interfibrilárními kapilárními prostory) udrží vysoký sloupec vody (3 km) i při vysokém odparu!!!

4. Vedení vody rostlinou: transpirační sání



výdej – transpirace,

Odtud transpirační sání

vedení

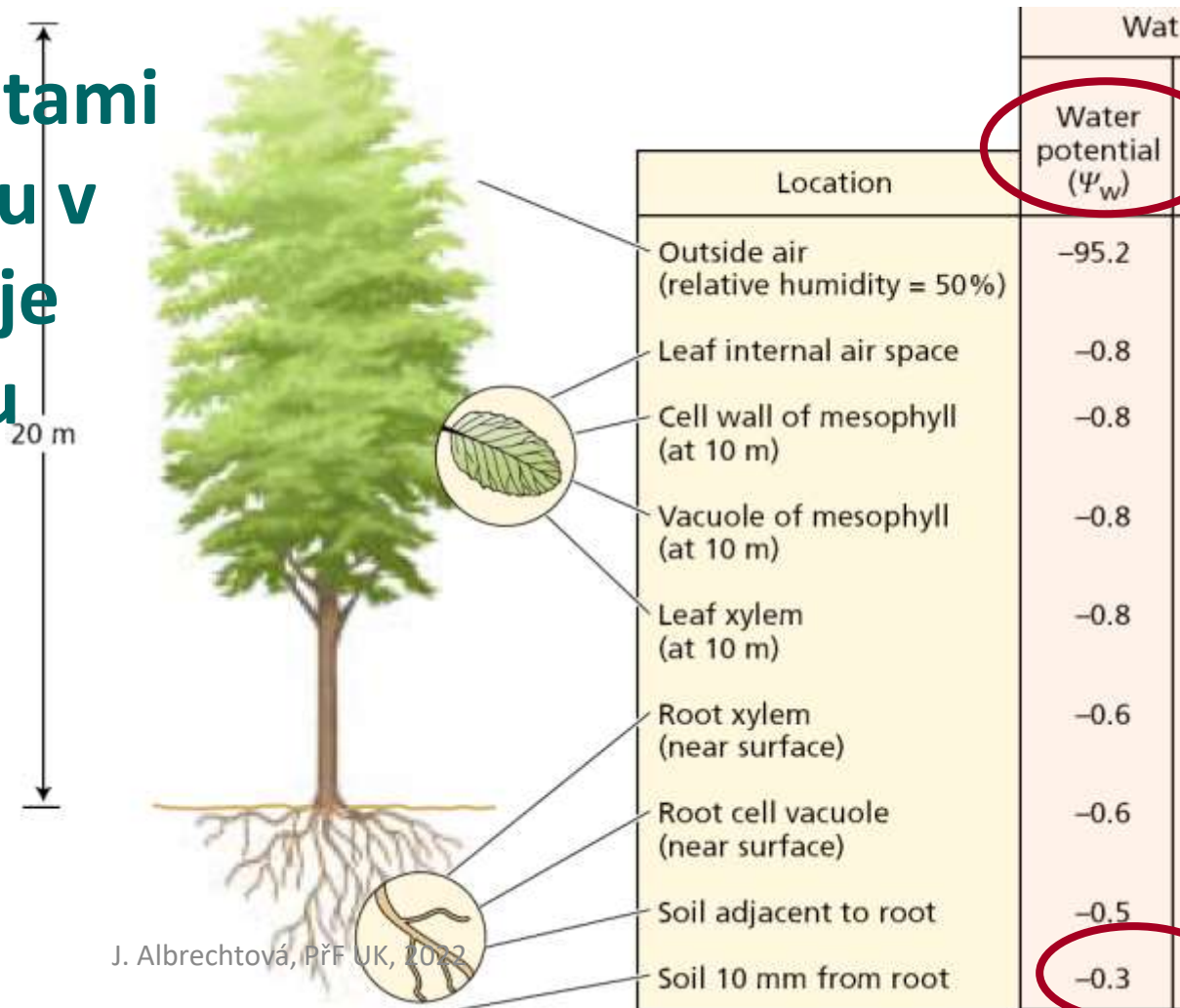
Příjem

4. Vedení vody rostlinou

Jak dostat vodu z kořenů až do listů.....
.....a kde na to vzít energii?

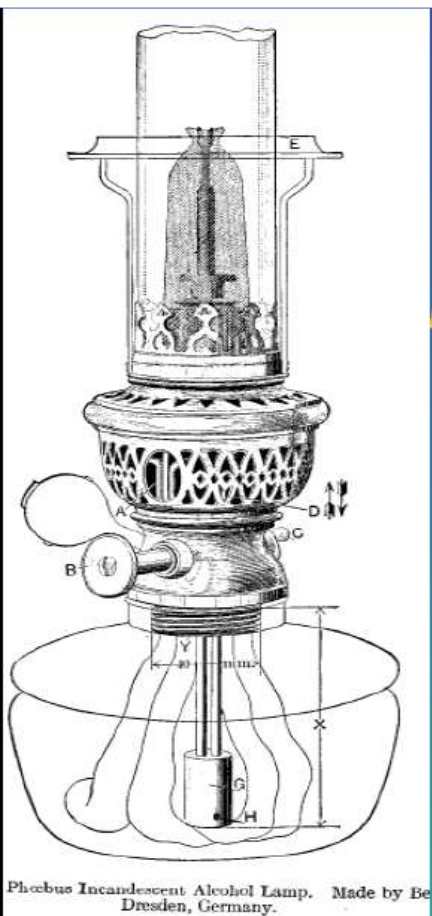
Rozdíl mezi hodnotami vodního potenciálu v půdě a atmosféře je hnací silou pohybu vody v rostlině.

Pro připomenutí....

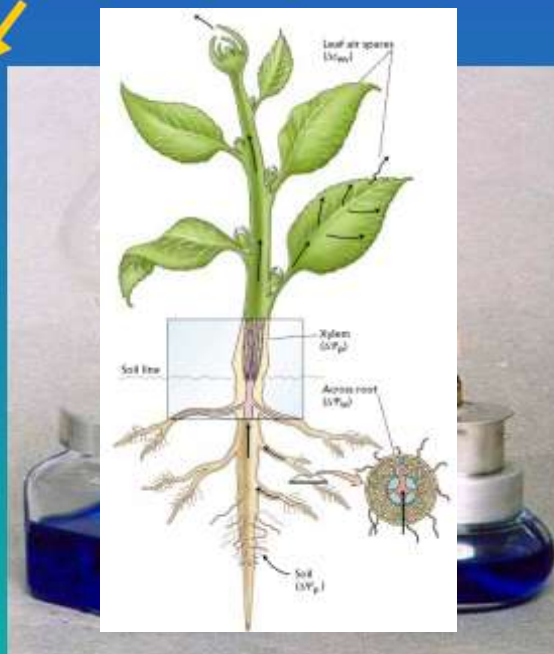


4. Vedení vody rostlinou

Jak dostat vodu z kořenů až do listů.....
.....a kde na to vzít energii?



**Sání a vedení kapilaritou.
Výdej odpařováním
(zvýšený teplotou)**



Rostlina jako petrolejka?

ano, až na pár výjimek:

...nasávání rozpuštěných látek je selektivní (příjem přenašeči v membráně buněk endodermis)

...vedení na dálku výrazně účinnější (xylém = vedení v trubicích o relativně velkém průměru)

J. Albrechtová, PĚF UK, 2022

převzato z přednášky Dr. Fischera, KEBR

1) Anatomie: xylém a floém, transport

2) Význam vody pro rostliny, Adaptace rostlin při přechodu na souš

3) Obsah vody v rostlinách

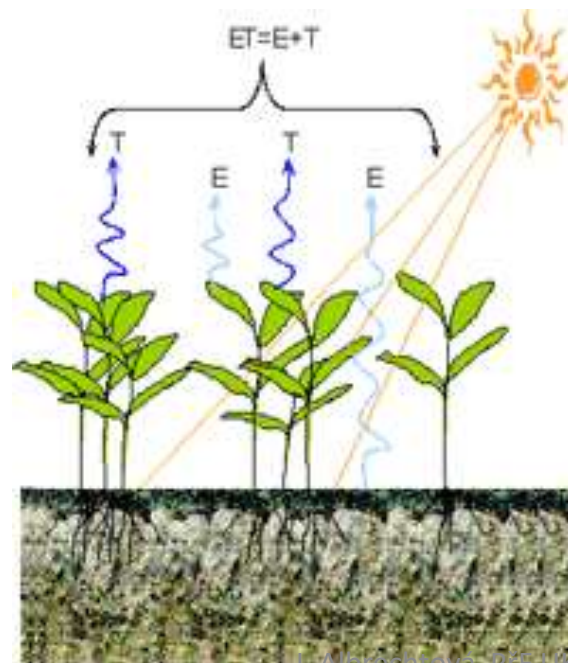
4) Mechanizmy pohybu vody v rostlinách:

- Vlastnosti vody
- Vodní potenciál, osmóza, turgor
- Příjem a výdej vody rostlinami
- Vedení vody rostlinou - kořenový vztlak a transpirační sání

5) Úloha evapotranspirace v tvorbě klimatu, strom - nejdůmyslnější klimatizační zařízení na světě

Evapotranspirace (ET)

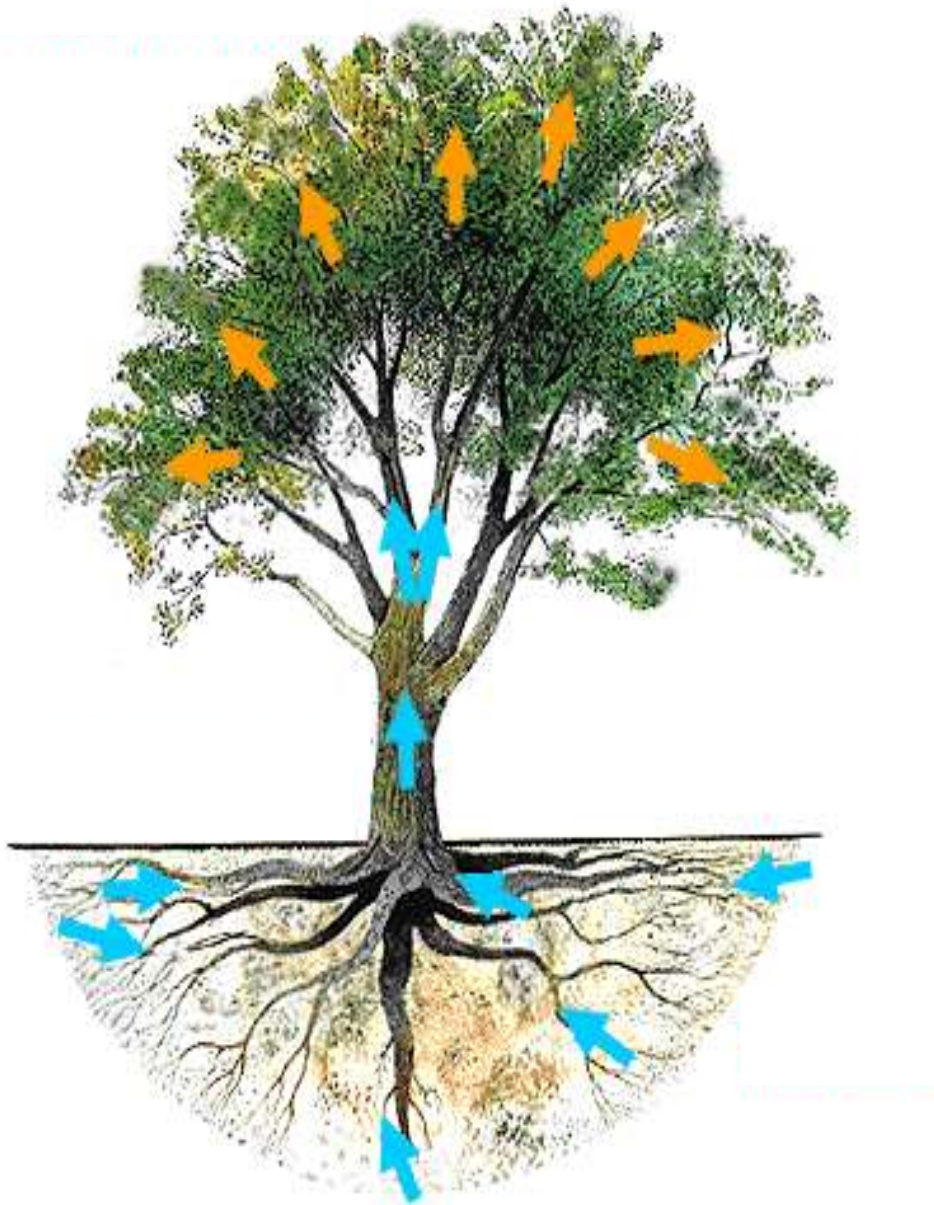
- **Evapotranspirace** = Evaporace + Transpirace
 - E = přímý výpar z povrchů
 - Transpirace = ztráta listovými průduchy



J. Albrechtová, PŘF UK, 2022

Převzato: Šantrůčková

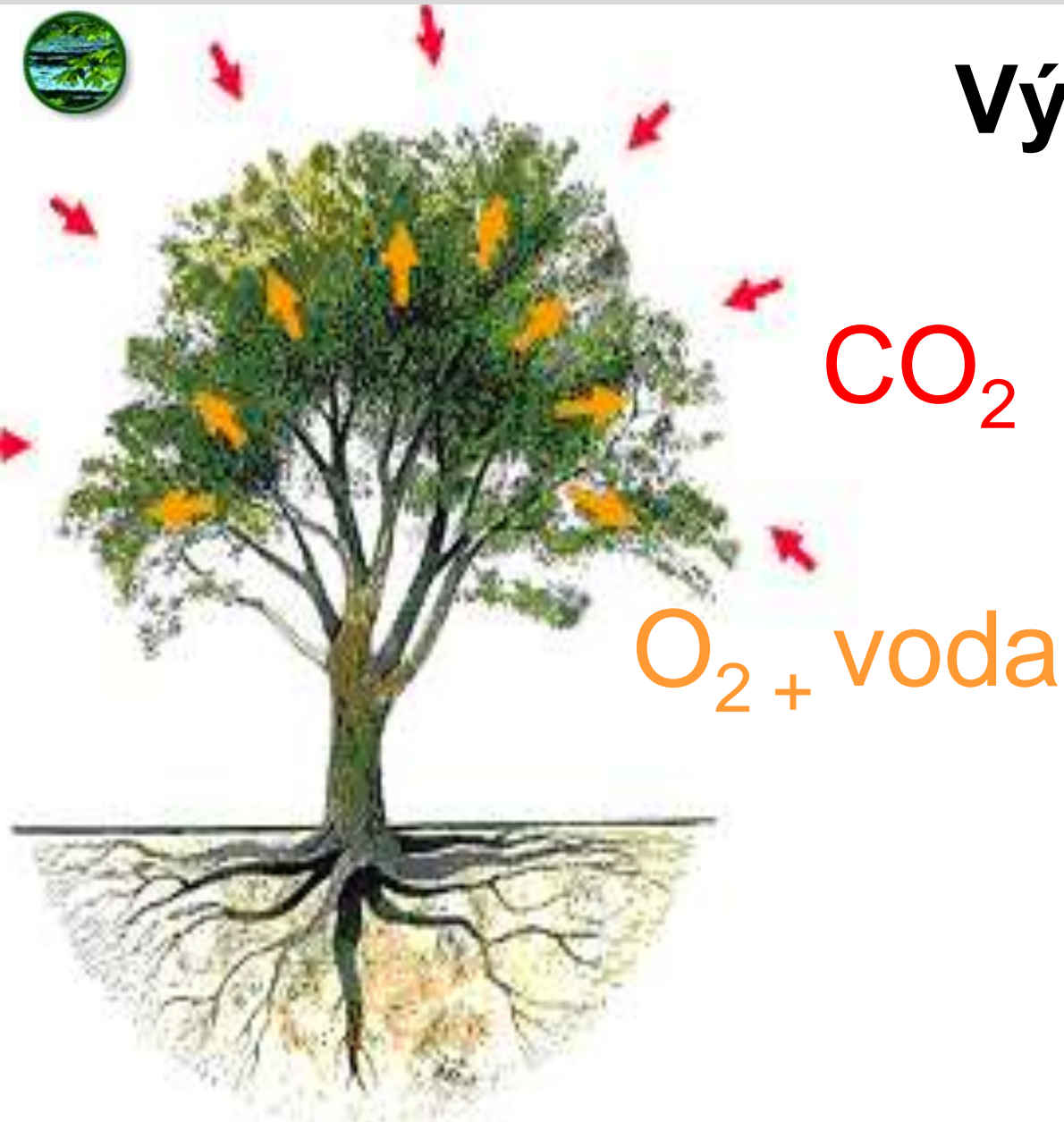
5) Úloha evapotranspirace v tvorbě klimatu: úroveň porostu



5) Úloha evapotranspirace v tvorbě klimatu: úroveň porostu



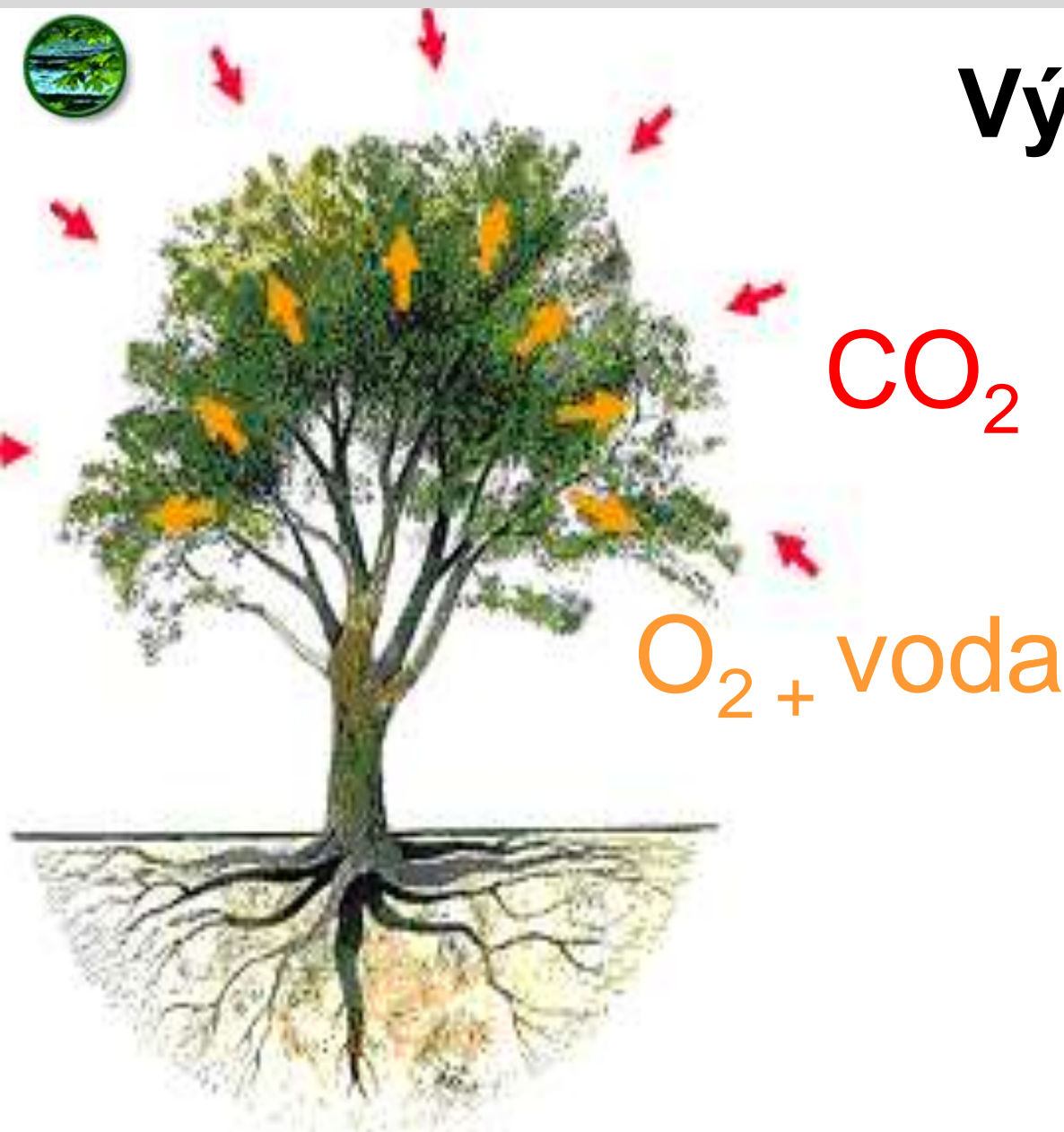
Výměna plynů



5) Úloha evapotranspirace v tvorbě klimatu: úroveň porostu



Výměna plynů

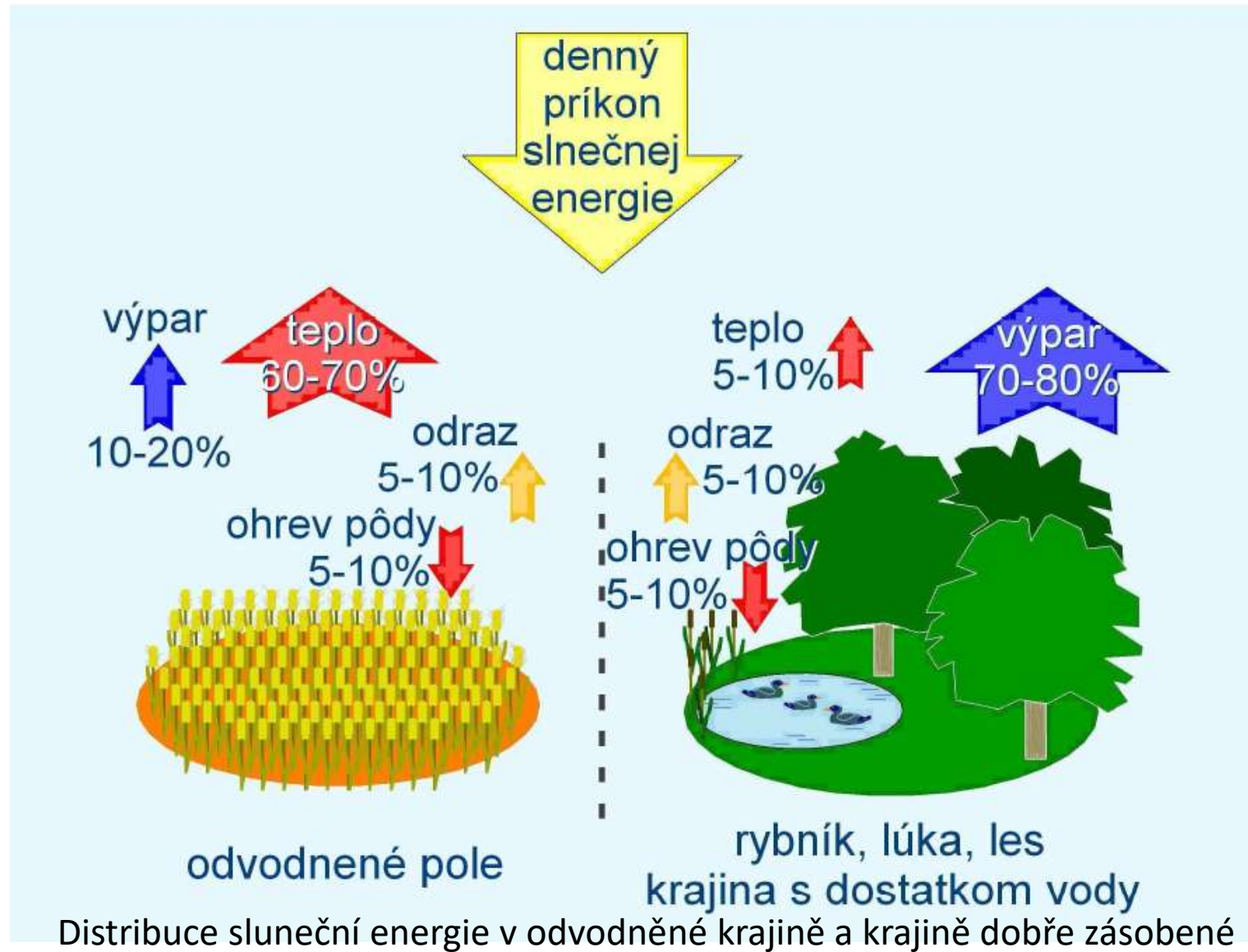


Během **fotosyntézy** spotřebovává strom CO_2 z atmosféry a produkuje kyslík.

Kyslík a voda se pak vypařují z listů během procesu zvaného **evapotranspirace**.

5) Úloha evapotranspirace v tvorbě klimatu: úroveň porostu

Rostlina, voda a energie: srovnání pole a lesa



Distribuce sluneční energie v odvodněné krajině a krajině dobře zásobené vodou

J. Albrechtová, PŘF UK, 2022

5) Úloha evapotranspirace v tvorbě klimatu: úroveň porostu

Rostlina, voda a energie: 1 strom

Kravčík a kol. 2007

Strom o průměru koruny 10 m vydá transpirací (výparem) 400 l vody za den

Do vodní páry se váže okolo 70% sluneční energie (280 kWh)

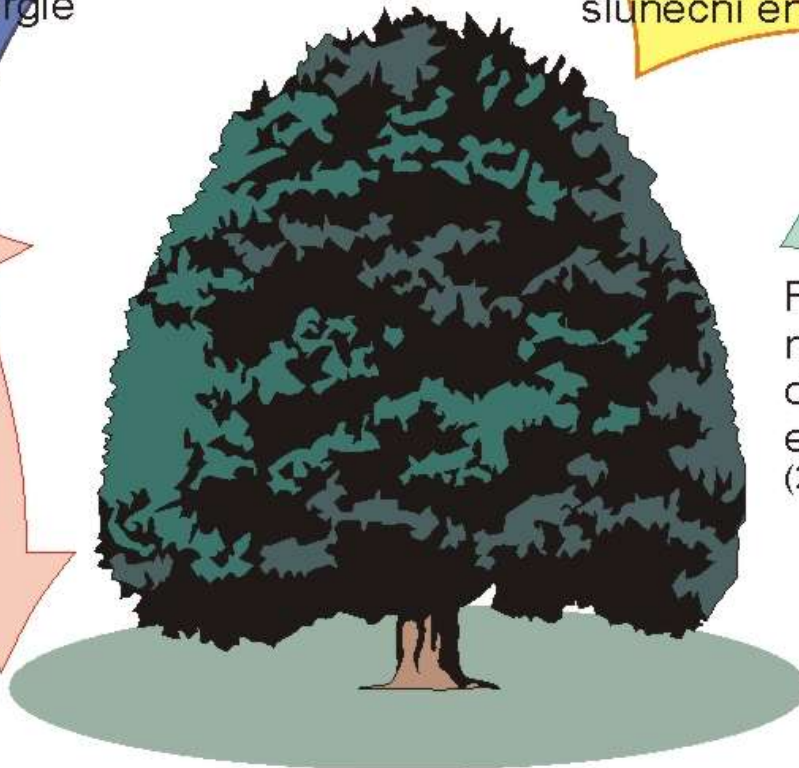
Na 1 m² dopadne za den 4-6 kWh.

Na průmět koruny stromu 80 m² dopadne za den 450 kWh sluneční energie

Odrazem, přeměnou na teplo a tokem tepla do půdy se spotřebuje okolo 30% (160 kWh)



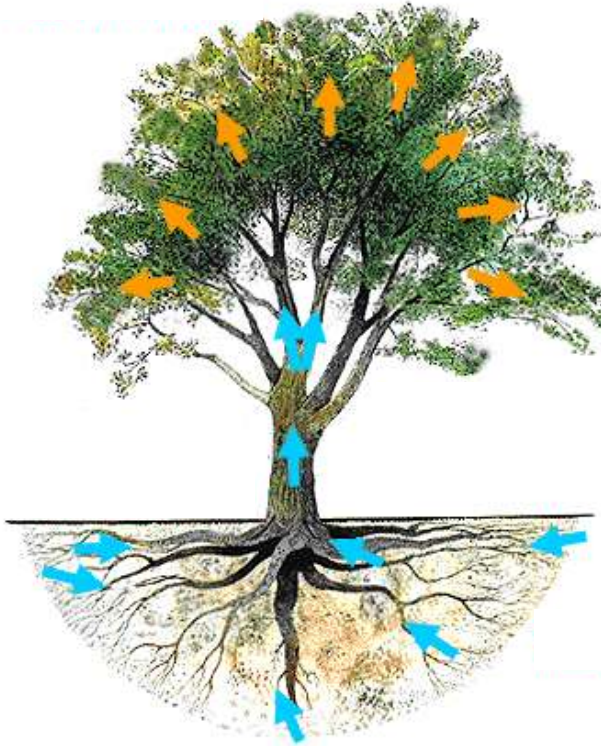
Fotosyntézou se váže méně než 1% dopadající sluneční energie (2 - 4 kWh)



Jediný velký strom dostatečně zásobený vodou v létě chladí výkonem 20-30 kW.

5) Úloha evapotranspirace v tvorbě klimatu: úroveň porostu

Rostlina, voda a energie: 1 strom



Jeden velký strom může vypustit do atmosféry až 400 litrů vody denně!

Ochlazovací účinek jednoho stromu:

Výpar (Evaporace):

- 1 L vody.... energie 0.7 kWh

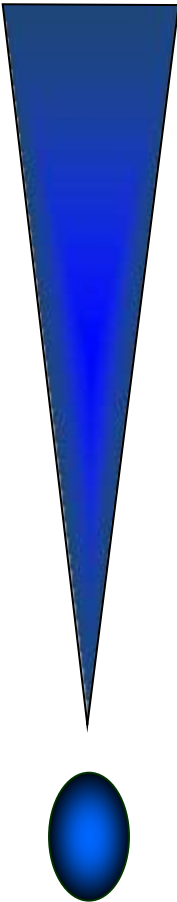
- 400 L $400 \times 0.7 = 280$ kWh

To znamená:

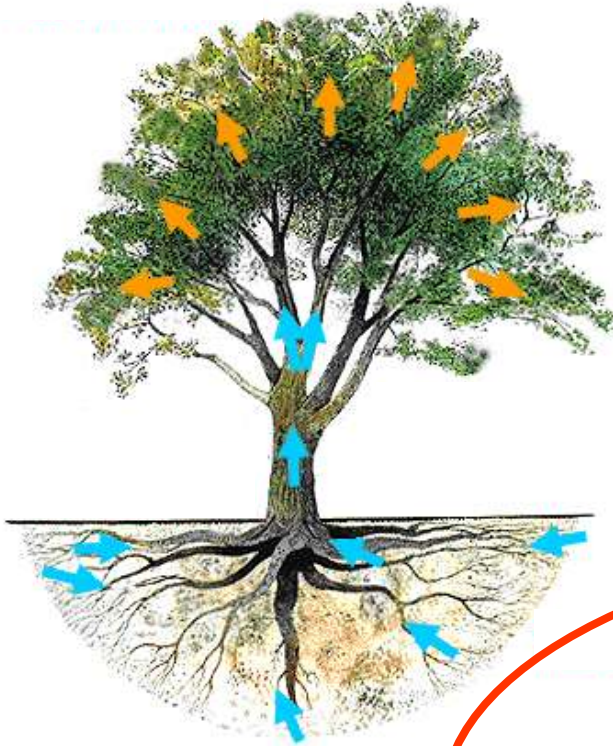
Ochlazovací kapacita stromu během 12 hodinového dne odpovídá $280/12 = 23$ kW:

= Kapacita 46 chladniček (s příkonem 500 W)

= Kapacita 10 klimatizačních zařízení



Rostlina, voda a energie

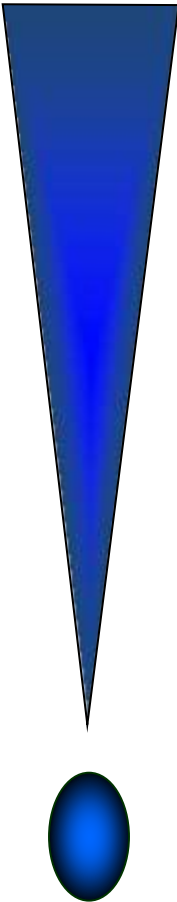


Ochlazovací kapacita lesa v
krajině prostřednictvím
evapotranspirace

1 m² 4 litry vody za jeden den

50 km² 200 milionů litrů

= přibližně stejné
množství energie jako
je vyprodukováno za 1 den
ve všech elektrárnách v ČR



5) Úloha evapotranspirace v tvorbě klimatu: úroveň porostu

Rostlina, voda a energie: 1 strom

Kravčík a kol. 2007

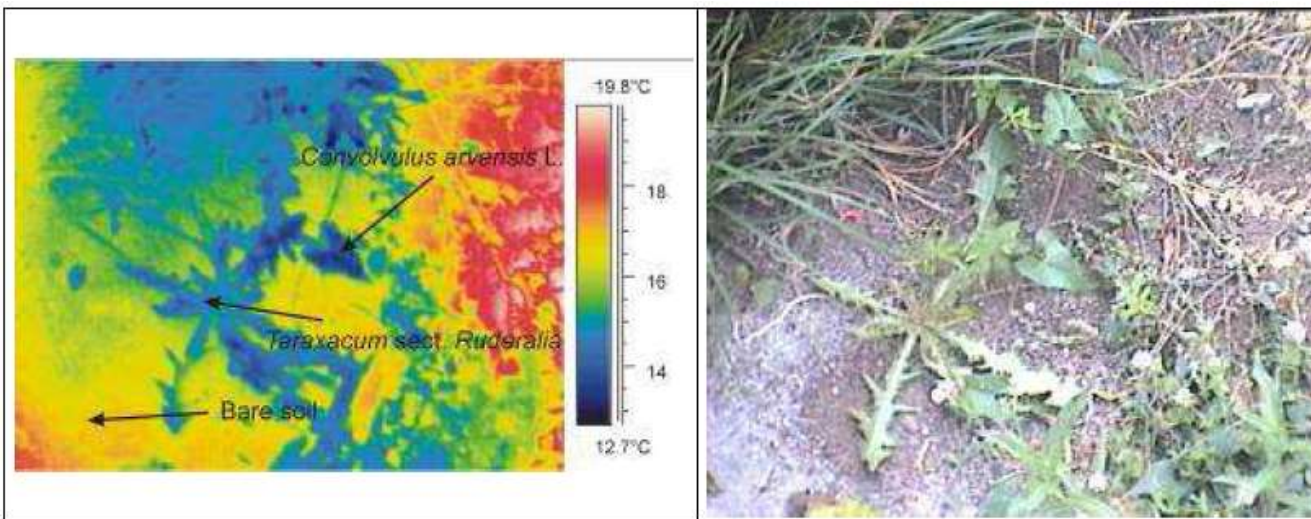
„...Strom je pritom „poháňaný“ iba slnečnou energiou, je z recyklovateľných materiálov, vyžaduje si minimálnu údržbu a výdaj vodnej pary regulujú milióny prieduchov, ktoré reagujú na teplotu a vlhkosť v okolí...“

Nejlepší a nejúčinnější klimatizace !!!



„...V porovnaní s chladničkou alebo klimatizačným zariadením strom pracuje úplne nehlučne, naopak, hluk a prach pohlcuje a viaže CO₂...“

5) Úloha evapotranspirace v tvorbě klimatu:



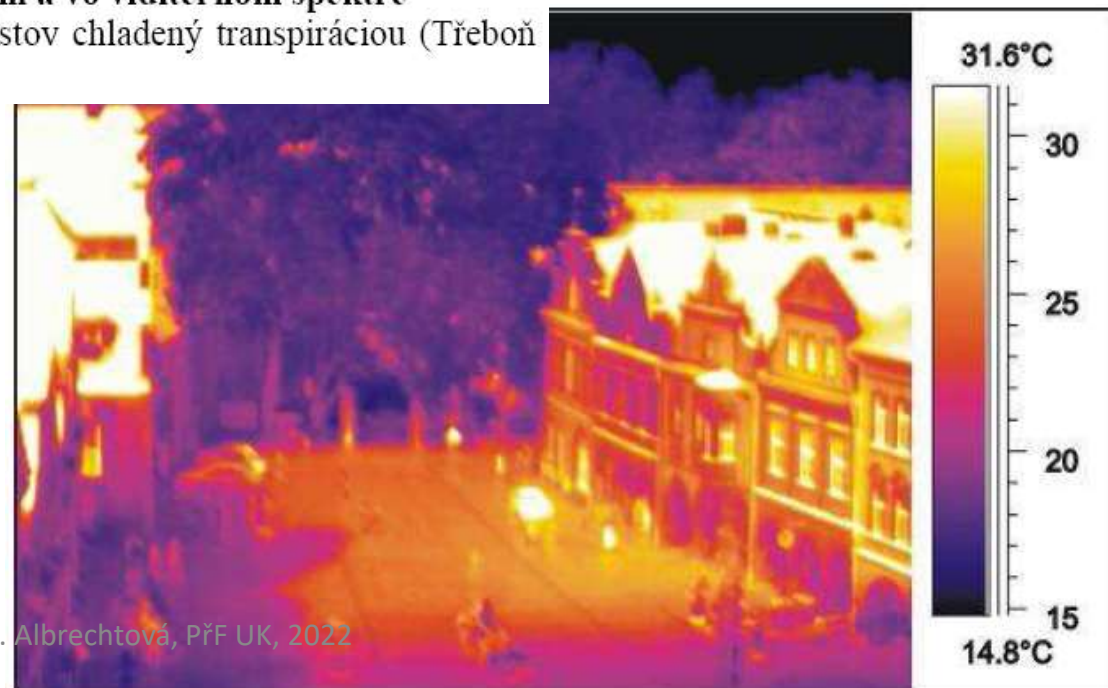
Ochlazovací účinek
vegetace skrze
evapotranspiraci

Obr. 7 Fotografie riedkej vegetácie v infračervenom a vo viditeľnom spektre
Holý povrch pôdy je zreteľne teplejší než povrch listov chladený transpiráciou (Třeboň
12. 7. 2002, 10:00 h).

Fotografie náměstí a přilehlého parku
Třeboni zhotovená termovizní
kamerou

**Rozdíly teplot mezi vegetací, fasádami
a střechami !!!**

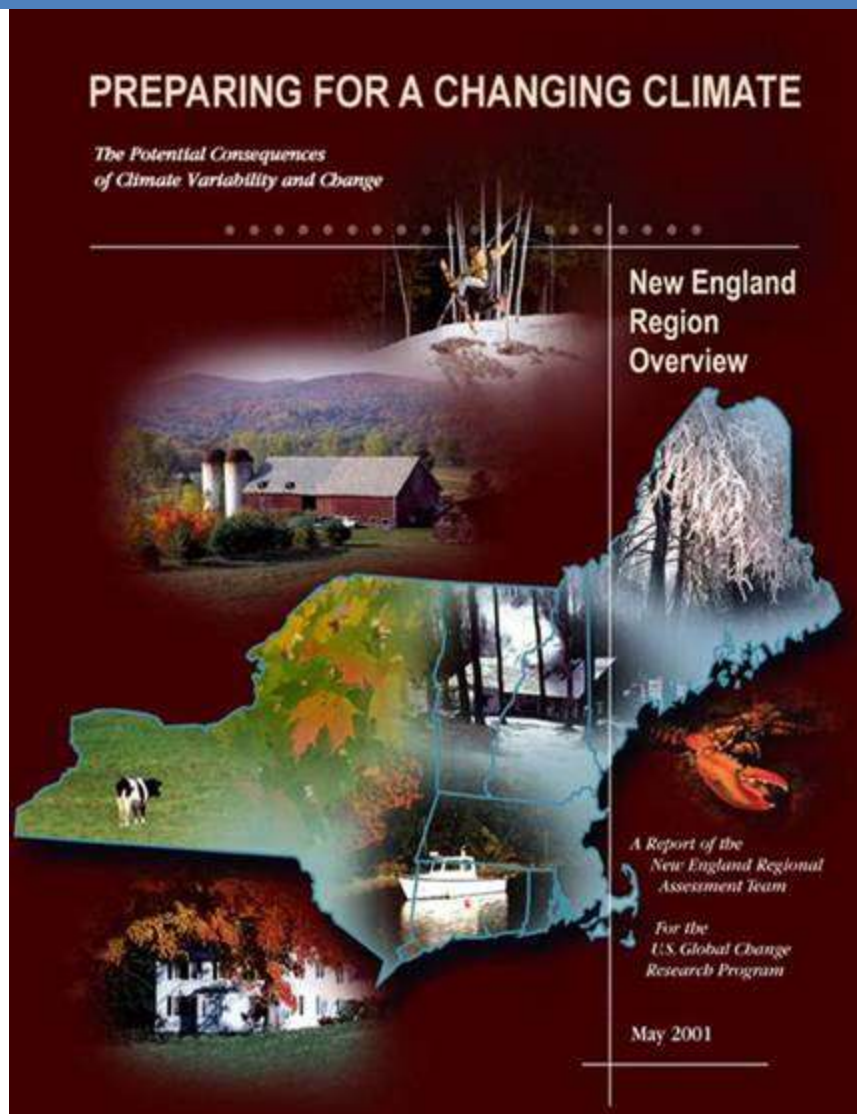
Kravčík a kol. 2007



J. Albrechtová, PŘF UK, 2022

5) Úloha evapotranspirace v tvorbě klimatu

Regionální odhad dopadů globálního oteplení v New England, USA



Volně ke stažení na: <http://www.necci.sr.unh.edu/>



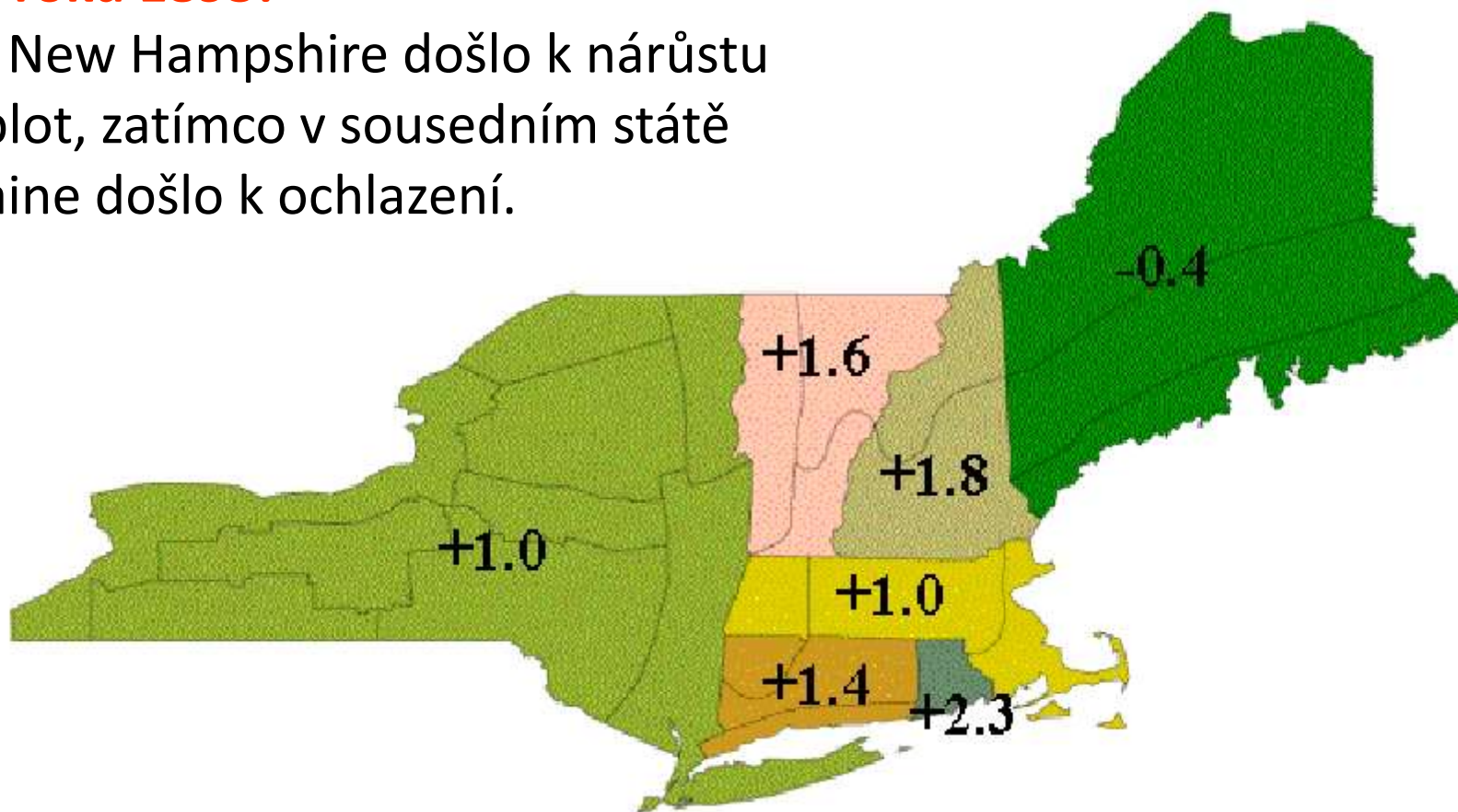
5) Úloha evapotranspirace v tvorbě klimatu

Regionální odhad dopadů globálního oteplení v New England, USA

Vážený průměr změn ročních teplot + 0.74 °F

Od roku 1895:

- V New Hampshire došlo k nárůstu teplot, zatímco v sousedním státě Maine došlo k ochlazení.



Volně ke stažení na: <http://www.necci.sr.unh.edu/>



5) Úloha evapotranspirace v tvorbě klimatu

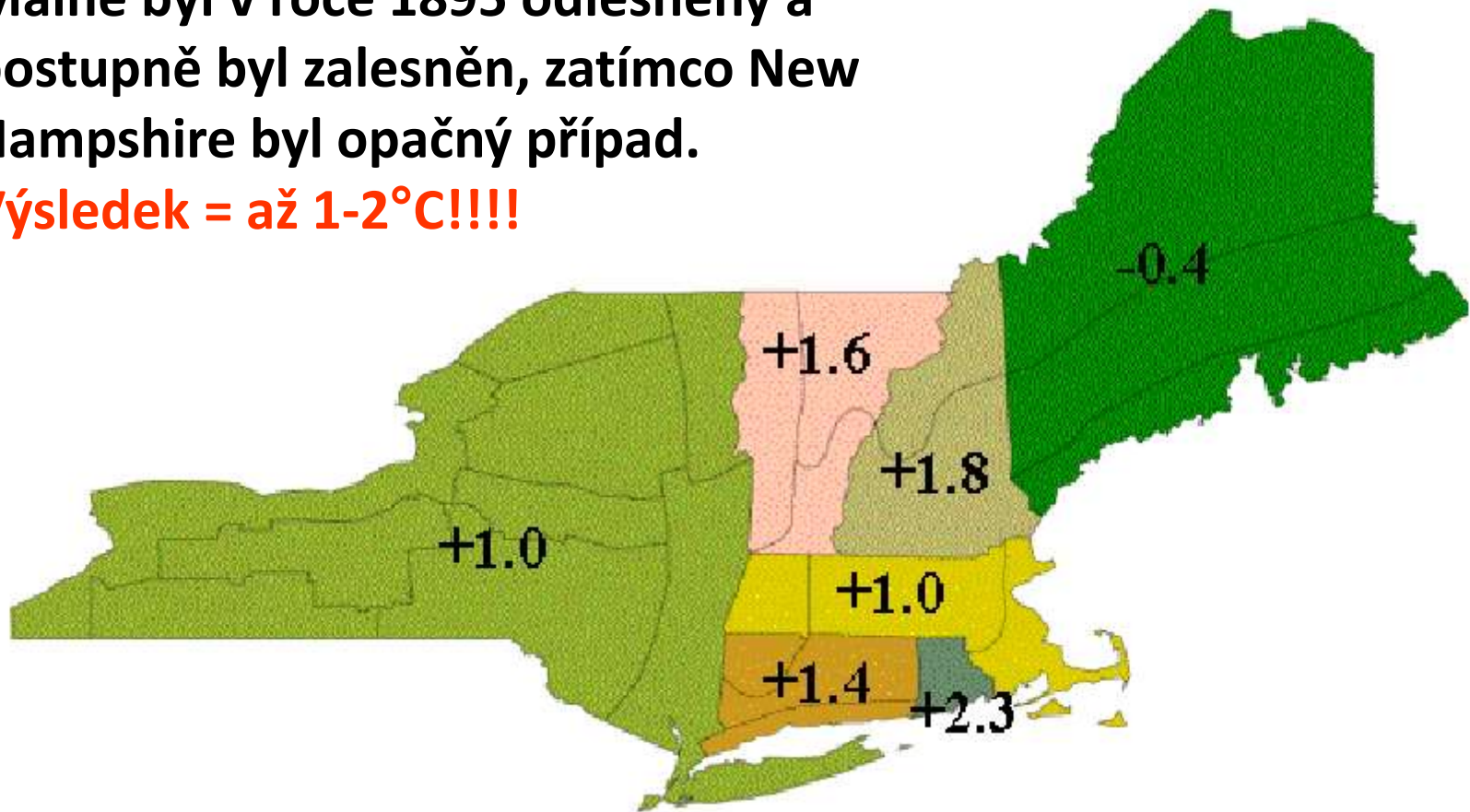
Regionální odhad dopadů globálního oteplení v New England, USA

Vážený průměr změn ročních teplot + 0.74 °F

Proč?

Maine byl v roce 1895 odlesněný a postupně byl zalesněn, zatímco New Hampshire byl opačný případ.

Výsledek = až 1-2°C!!!!



Volně ke stažení na: <http://www.necci.sr.unh.edu/>

Význam evapotranspirace jako klimatického prvku:

Lesy:

- ochlazují v létě,
- Vyrovnávají rozdíly mezi denními a nočními teplotami
- Vyrovnávají teplotu v krajině dlouhodobě

Funkce rostlin v ekosystému

Rostliny a redistribuce vody v ekosystému

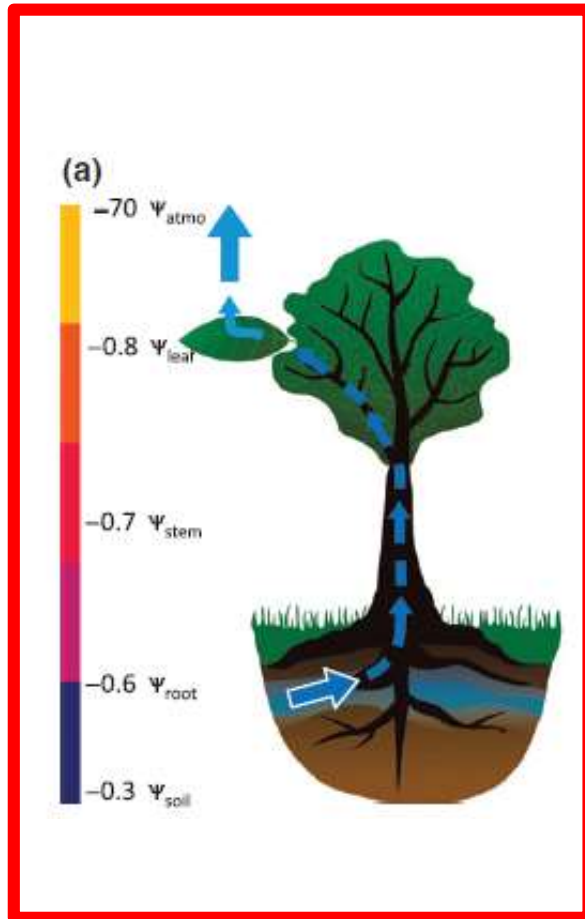
Kontinuum půda-voda-rostlina „naruby“

Bude-li čas 😊

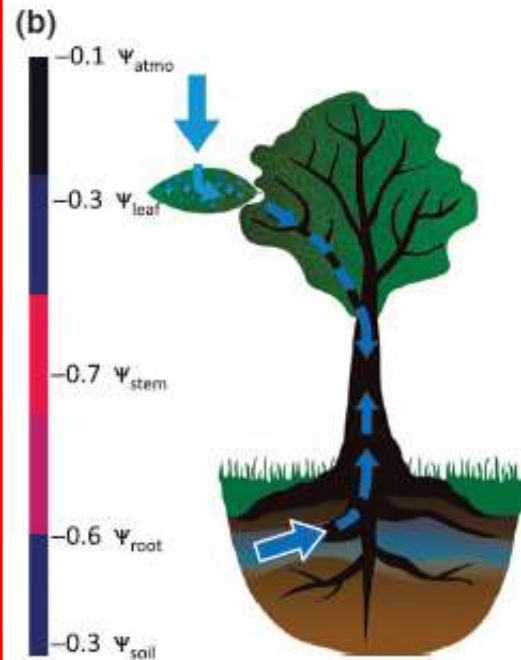
vodní potenciál: kontinuum Půda-Rostlina-Atmosféra „naruby“

3 potenciální scénáře pohybu vody v rostlinách na základě gradientu ve ψ

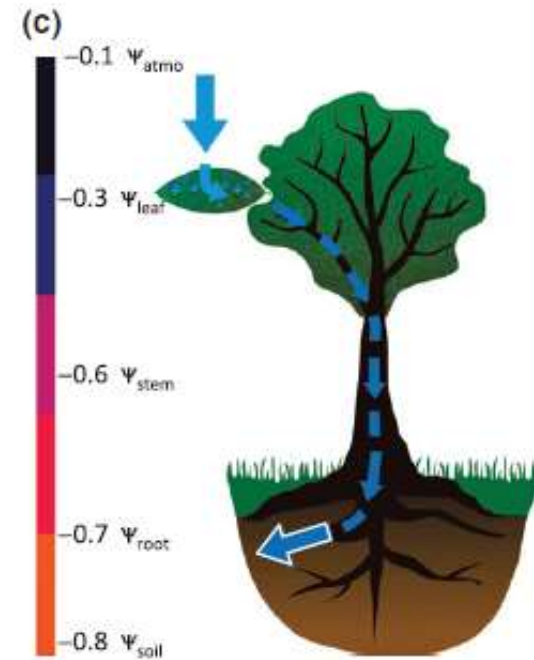
Ale!!!



nejběžnější situace
- Tu jsme si popsali 😊



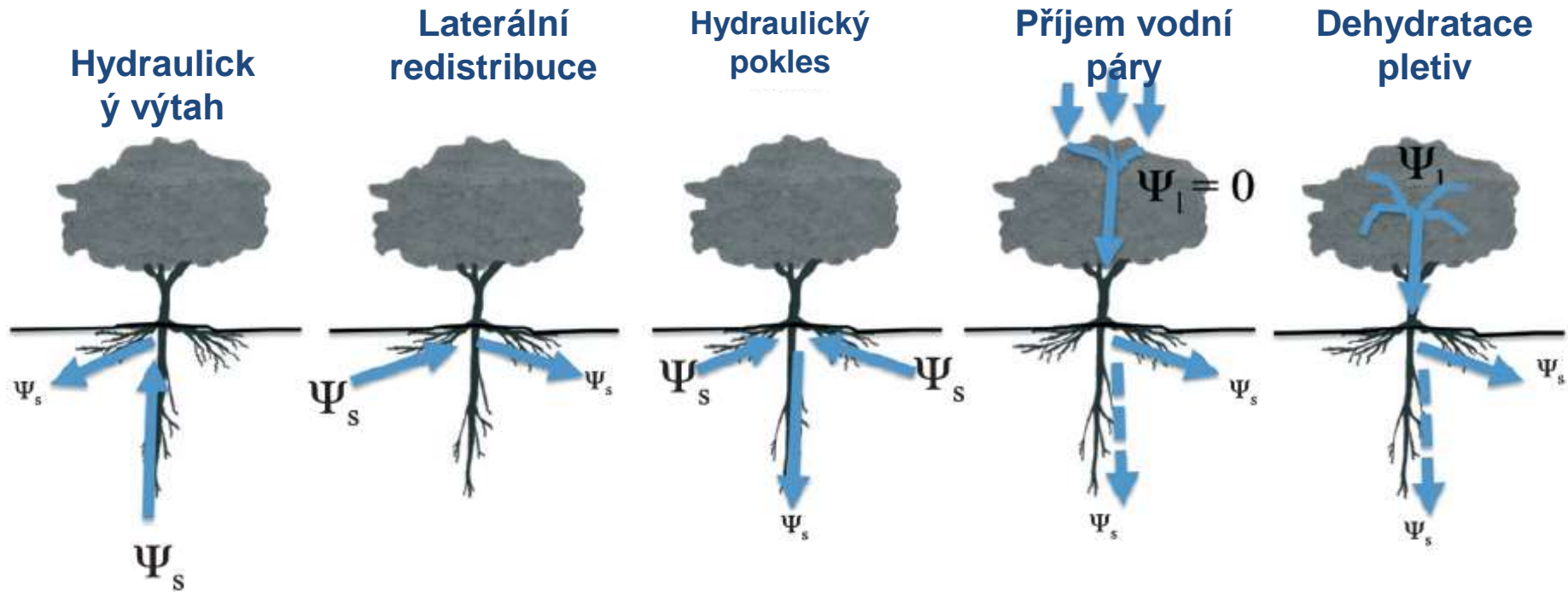
Při vysoké vzdušné vlhkosti
a dostatku vody v půdě



Při vysoké vzdušné vlhkosti
a nedostatku vody v půdě –
voda proudí i opačným
směrem!

Hydraulická redistribuce: kontinuum Půda-Rostlina-Atmosféra

redistribuce vody v porostu – „Hydraulic redistribution“



pasivní pohyb vody intaktními kořeny rostlin z vlhčích do sušších regionů půdy může zlepšovat podmínky pro transpiraci poskytováním vody a její redistribucí

pasivní proces na základě rozdílů vodního potenciálu

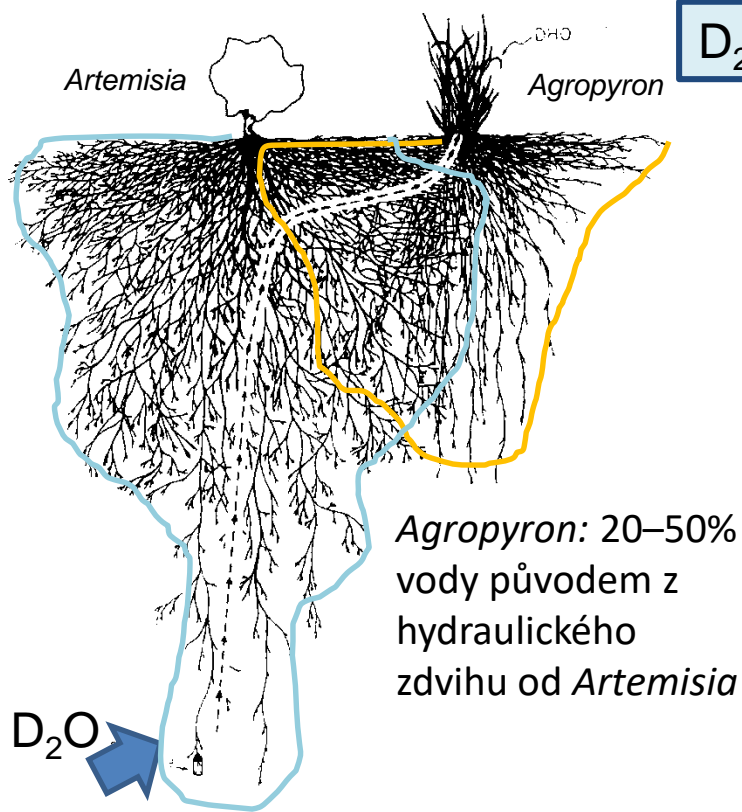
„from an ecophysiological curiosity to an ecologically significant process ranging from molecular to global scales“

J. Albrechtová, PŘF UK, 2022

Prieto et al.; Tansley Review; New Phytologist (2012) 193: 830–
doi: 10.1111/j.1469-8137.2011.04039.x

Hydraulická redistribuce: Příklad savany

Hydraulický zdvih – redistribuce vody v půdě / ekosystému



jako „pumpy“ většinou fungují stromy nebo keře v sušších ekosystémech s nízkou hladinou podzemní vody

Amboseli National Park, Keňa



Důkaz – experiment:

deuteriem značená voda D_2O – přijatá hlubokými kořeny pelyňku *Artemisia tridentata* detekována v biomase sousední trávy *Agropyron desentorium*

Závěry:

- při přechodu na souš – ochrana proti desikaci a způsob vedení vody od kořenů k listům - kolonizace veškerých terestrických stanovišť
- Voda je nepostradatelnou součástí rostlin. Ale Pouze <1% vody na povrchu Země je sladká voda potenciálně dostupná pro rostliny
- Při přechodu na souši si rostliny vyvinuly mnohobuněčnost, specializaci v diferenciaci pletiv – pletiva krycí, vodivá, základní.
- Voda je přijímána difúzí
- Voda se pohybuje v rostlině po spádu vodního potenciálu
- Vedení vody v rostlině podmiňují dva procesy: kořenový vztlak a transpirační sání.
- Strom – nejúčinnější klimatizační zařízení na světě!
- Evapotranspirace: ochlazuje, lokálně i regionálně.