

13. Fyziologie rostlin - vodní provoz



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a Státním rozpočtem ČR InoBio – CZ.1.07/2.2.00/28.0018

VODA, VODNÍ PROVOZ

Obsah vody: v % čerstvé, okamžité hmotnosti

zdřevnatělé části max.	50 % (běl)
bylinné stonky, listy	70-80 %
vodní rostliny až	98 %
plody, semena	5-12-15 %

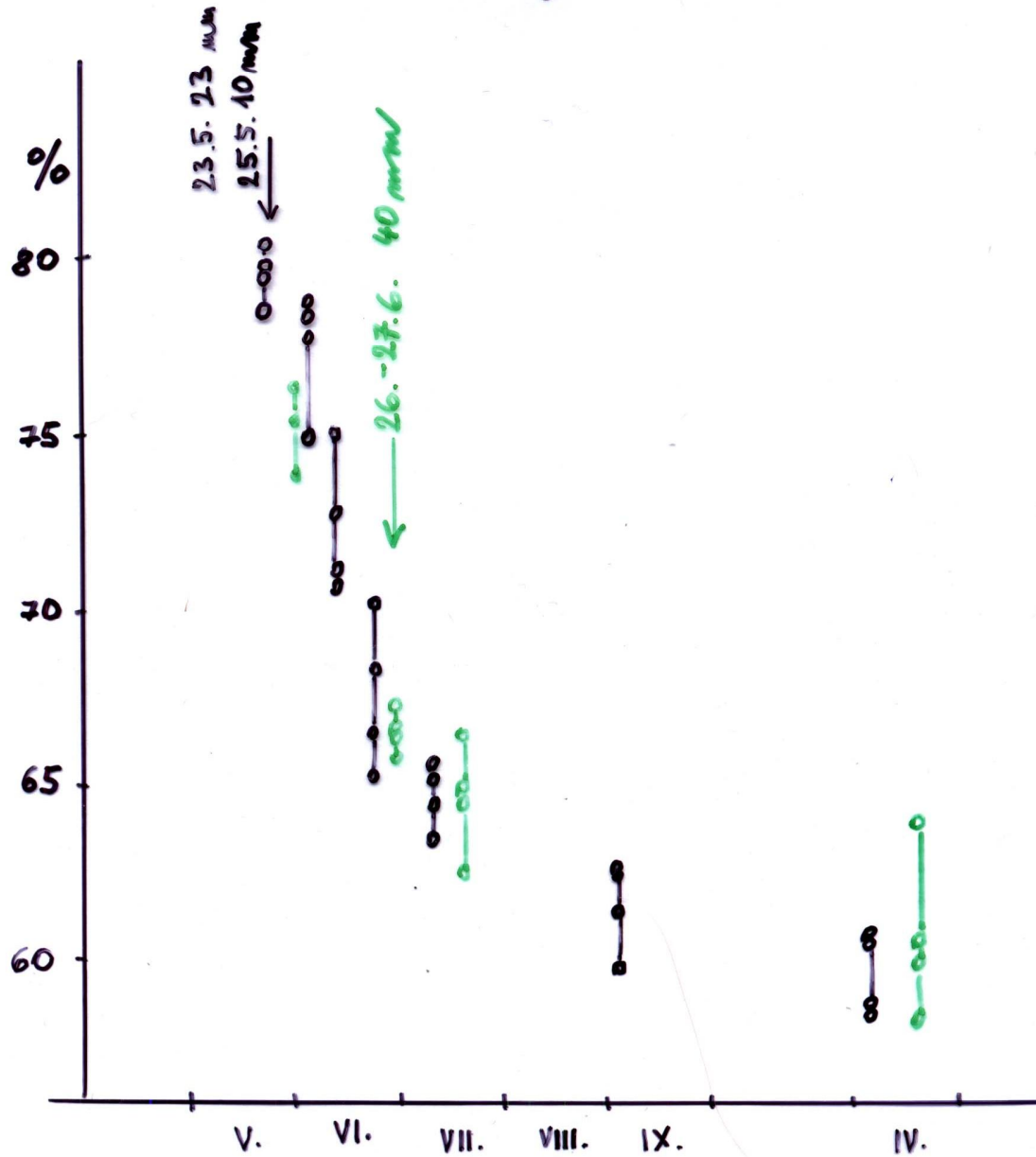
vlhkost: % vody ve vztahu k sušině

± stálá hodnota – rostliny homoiohydrické

výrazné výkyvy – rostliny poikilohydrické – anabióza
(nemají v buňce centrální vakuolu)

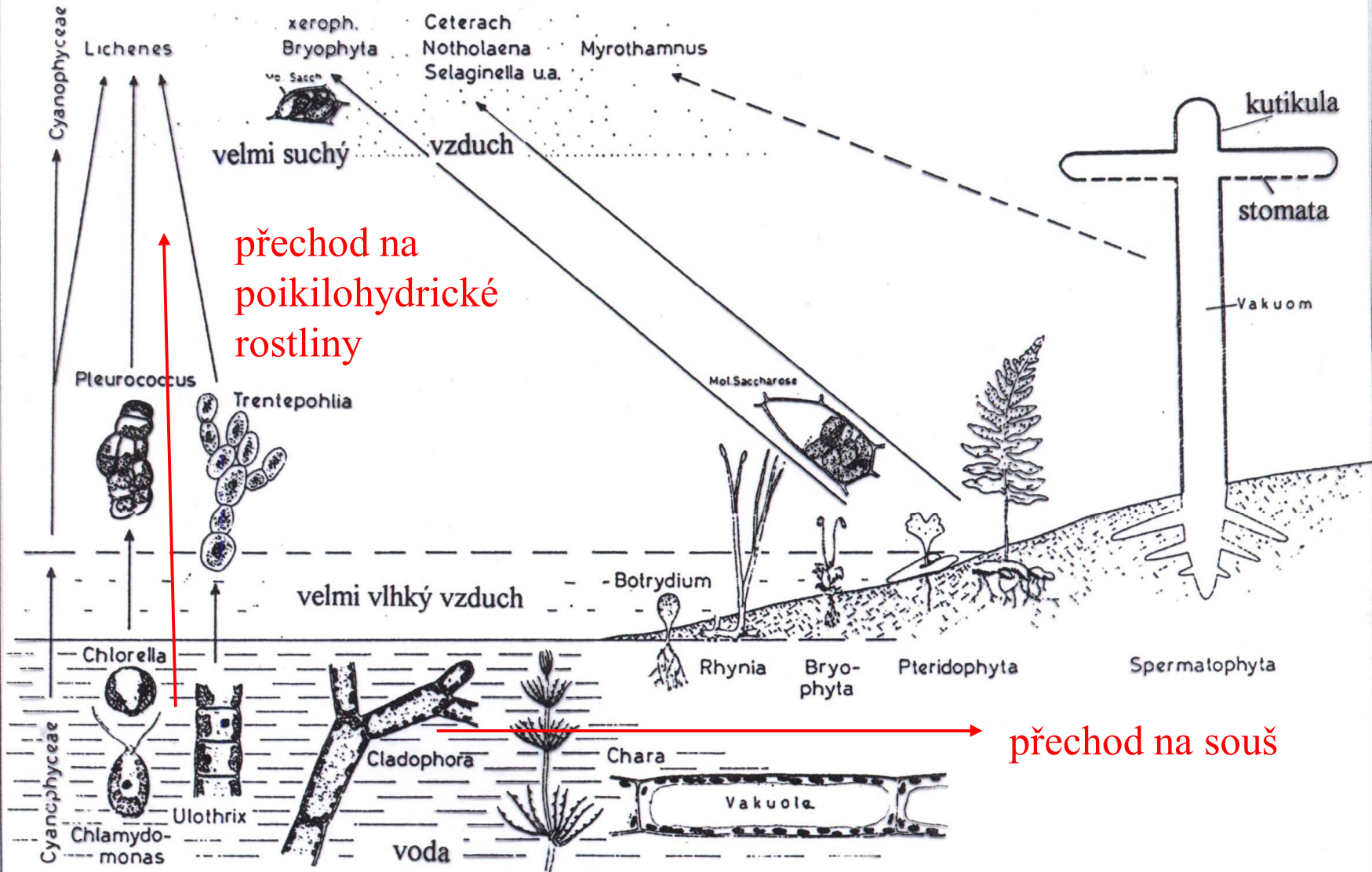
změny v čase – denní, roční, ontogenetické

Změny průměrného RWC[%] prýtků smrktu
během ontogeneze do 1. roku věku



Poikilohydrické rostliny

Homoiohydrické rostliny



Walter 1967

Vodní provoz

voda – transportní médium, reakční prostředí, rozpouštědlo, termoregulátor, zdroj iontů, mech. opora buněk,...

význam díky fyzikálním a chemickým vlastnostem:

-tekutý stav od 0-100°C

-propustnost pro viditelné, ne pro UV záření

-roztoky hydrofilní x hydrofobní

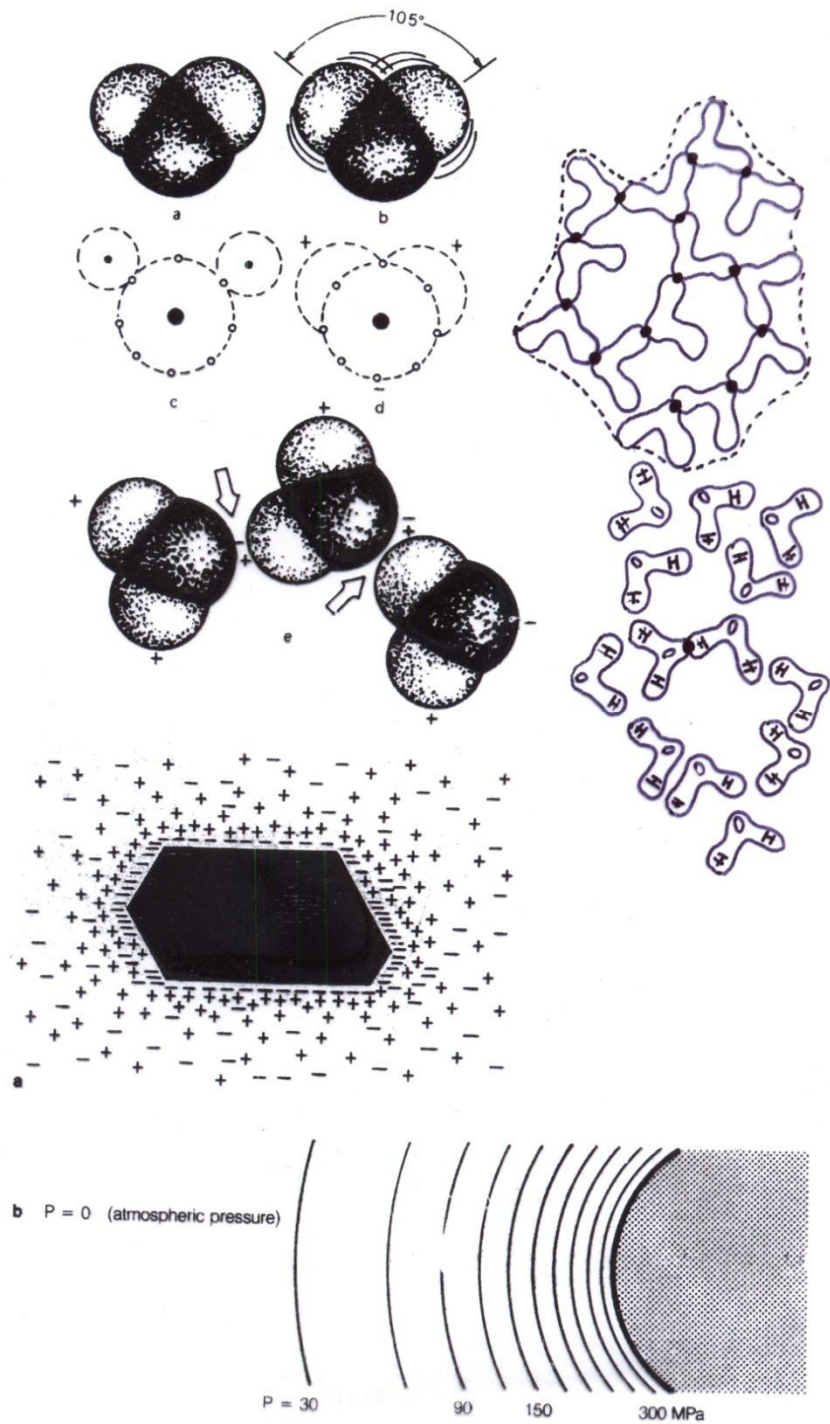
-**koheze**: soudržnost molekul navzájem – tvar koule

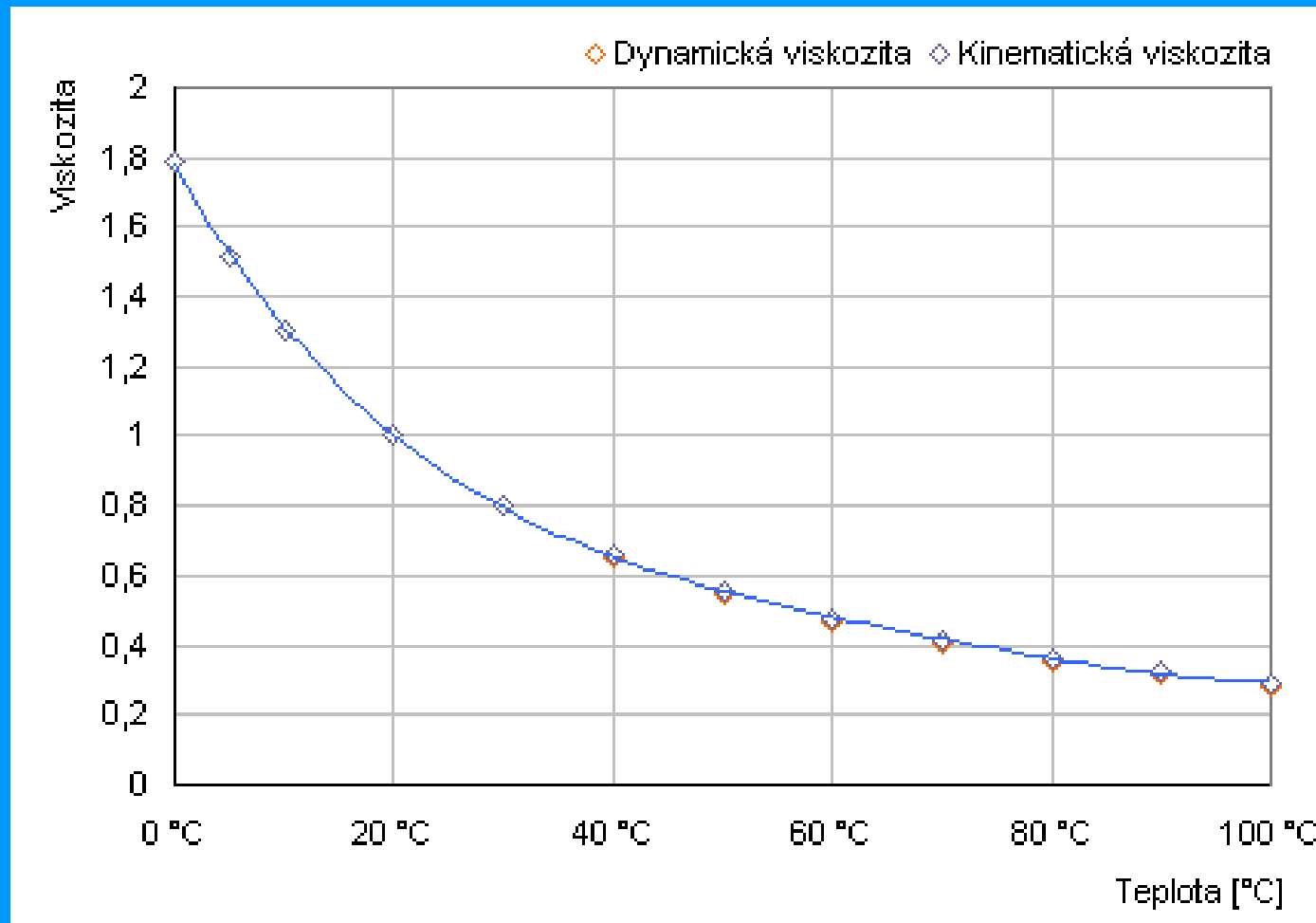
-**adheze**: soudržnost molekul k matrici

⇒ **vodíkové můstky**

-silný dipólový moment, vytváření hydratačních obalů

⇒ **asymetrie molekuly**





zvýšení enzymatické aktivity

poškození

- povrchové napětí (γ): 0,073 J/m²

- kapilarita: $\frac{2\gamma}{r} = h\rho g$

hydrostatický tlak vody

průměr cévy 50 – 100 μm

voda vystoupá do 30 – 60 cm

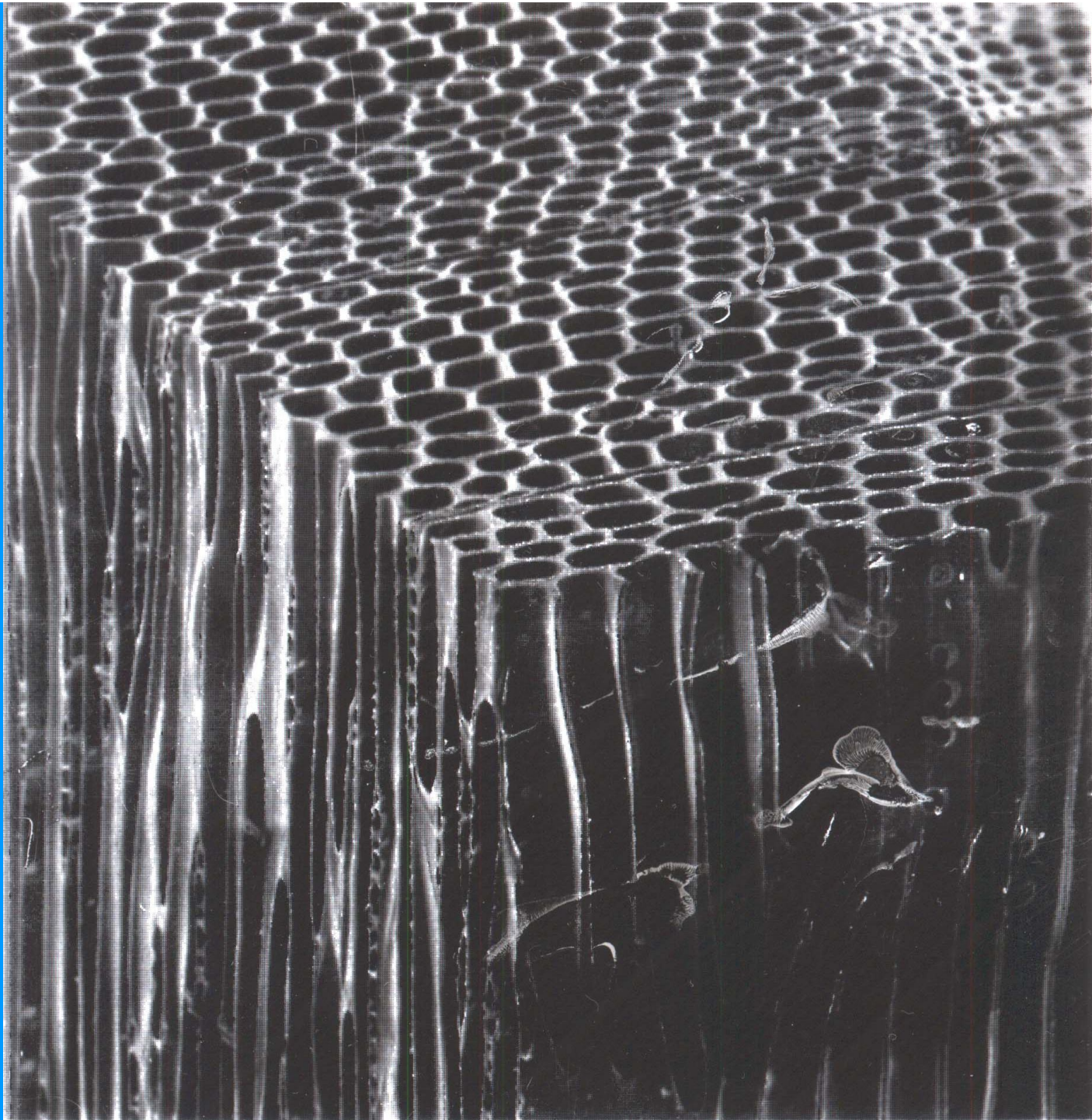
Jak to, že systém zavodněn?

1. celulózní stěny mikrokapiláry o průměru
 10^{-7} až 10^{-8} m

- udržet vodu až několik 1 000 m

2. přetržení sloupce vody – céva vyřazena

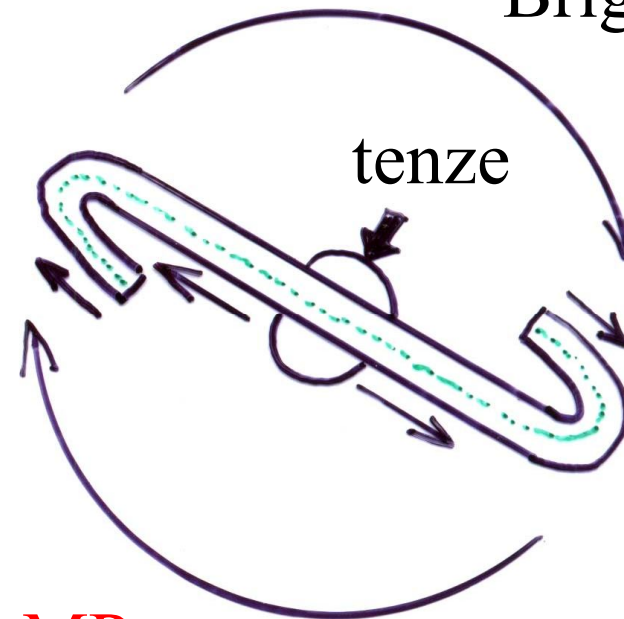
voda nasávána – záporný hydrostatický tlak (většinou)



Koheze – soudržnost molekul vody

Briggs 1955

„z“ kapilára s vodou
v centrifuze



roztržení vody u jemné
kapiláry při **-26,4 MPa**

u kapiláry 0,5 mm při **-2,0 MPa**

snadněji se trhá **led**

➡ **vznik kavitací** (dutin), **narušení hydratace vodivé dráhy**
u velkých cév často **koncem 1. vegetačního období**,
nebo **ireverzibilní kavitace mrazem** (*Castanea*, *Fraxinus*,
Quercus, *Ulmus*); při vadnutí **v řapících listů**; **vznik tyl**
malé cévy – možnost rozpuštění vzduchových bublin

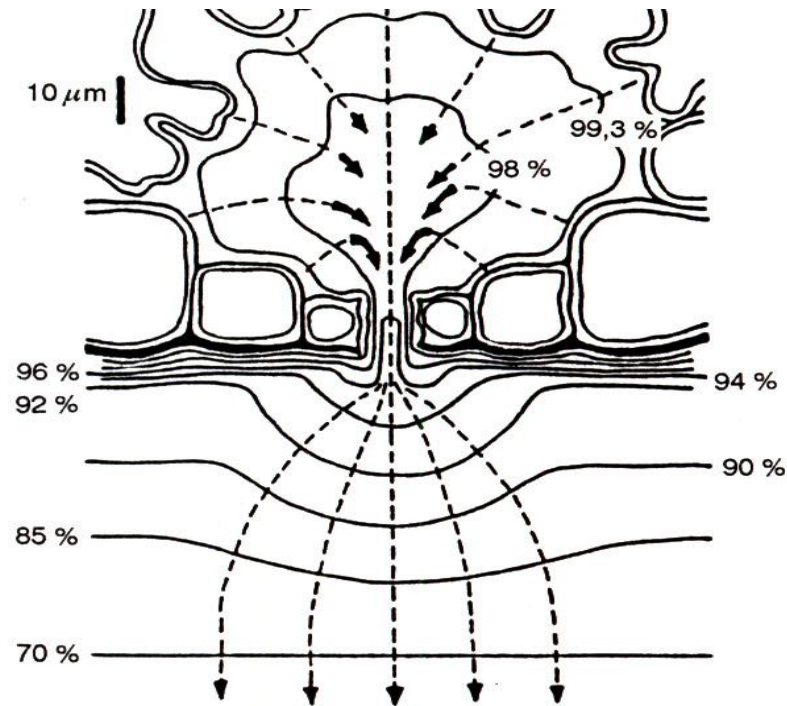
Tepelné vlastnosti vody

- měrné teplo – relativně velké $4,2 \text{ kJ.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$
 - energie spotřebovává na odbourání vodíkových vazeb

- měrné výparné teplo – ze všech kapalin nejvyšší $2,44 \text{ MJ.kg}^{-1}$
 - ochlazování listu

koncentrace (tlak) nasycené vodní páry -

- mezibuněčné prostory téměř nasycen
- rozdíl mezi vnějším a vnitřním prostředím a hnací silou transpirace (difuze)



Obr. 2.26 Izočáry relativní vlhkosti v prostoru podprůduchové dutiny, průduchového póru a hraniční vrstvy vzduchu nad listem (plná čára). Tok vodní páry je naznačen čárkovanou čarou s šípkami jako vektor směřující po spádu gradientu vlhkosti. (Podle Weyerse a Meidnera 1990.)

Difuze

- podél **gradientu koncentrace**
- pohyb molekul na **krátké vzdálenosti** (CO_2 pronikne z vnější atmosféry do listu (1 mm) za 0,024 s; pokud 2 m – 30 min.)

Vodní potenciál – hnací síla transportu vody

V 60. letech navrhli fyziologové R. O. Slatyer a S. A. Taylor pojem – vodní potenciál (Ψ)

Vodní potenciál – charakterizuje různé síly, udává směr pohybu vody

(aktivita vody v buňce závisí na jejím stavu vody - vodní potenciál buňky – udává o kolik je aktivita v buňce nižší než aktivita čisté vody)

vodní potenciál čisté vody – nulový, roztoku - záporný

$$\Psi = \Psi_{\pi} + \Psi_p + \Psi_g = -\pi + \Psi_p + \Psi_g$$

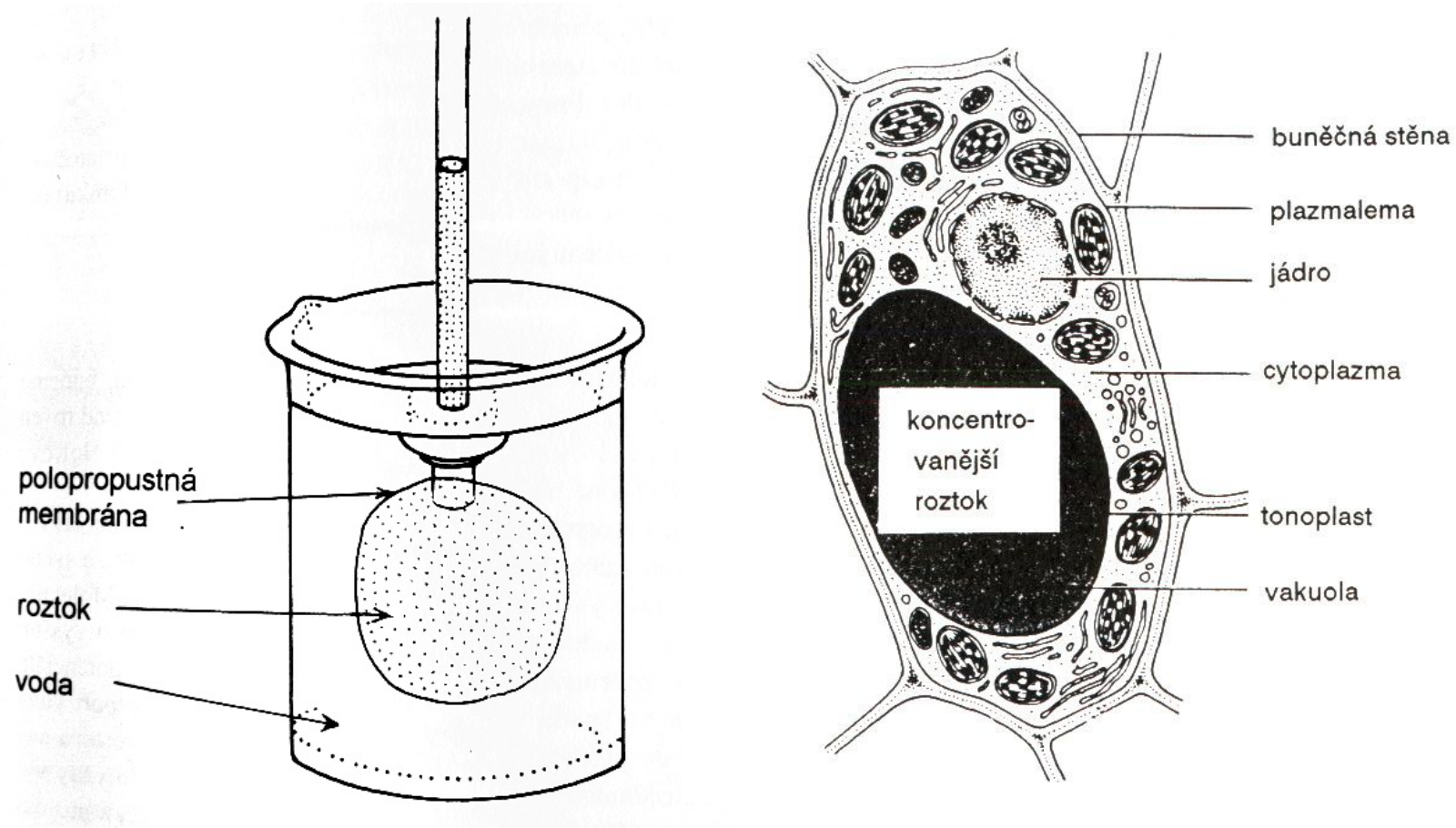
osmotický potenciál / tlakový potenciál / gravitační potenciál

$h \cdot \rho_w \cdot g$

logaritmus koncentrace vody pro zředěné roztoky je rovna záporně vzaté koncentraci osmoticky aktivní látky

ρ_w – hustota vody; g – gravitační konstanta; h – výška vodního sloupce

1. osmóza



hydrostatický tlak číselně roven osmotickému tlaku

Osmotický potenciál – **záporná** hodnota osmotického tlaku (tlak vyrovnávající přítok vody), závisí na množství osmotických látek v buněčné šťávě a na teplotě

Tlakový potenciál – tlak buněčné stěny (**pozitivní tlak-turgorový má** většinou kolem 0,5 MPa)

Gravitační síla -zanedbatelá – asi 0,01 MPa na 1 m výšky

Matriční potenciál – povrchové síly poutající vodu k matrix

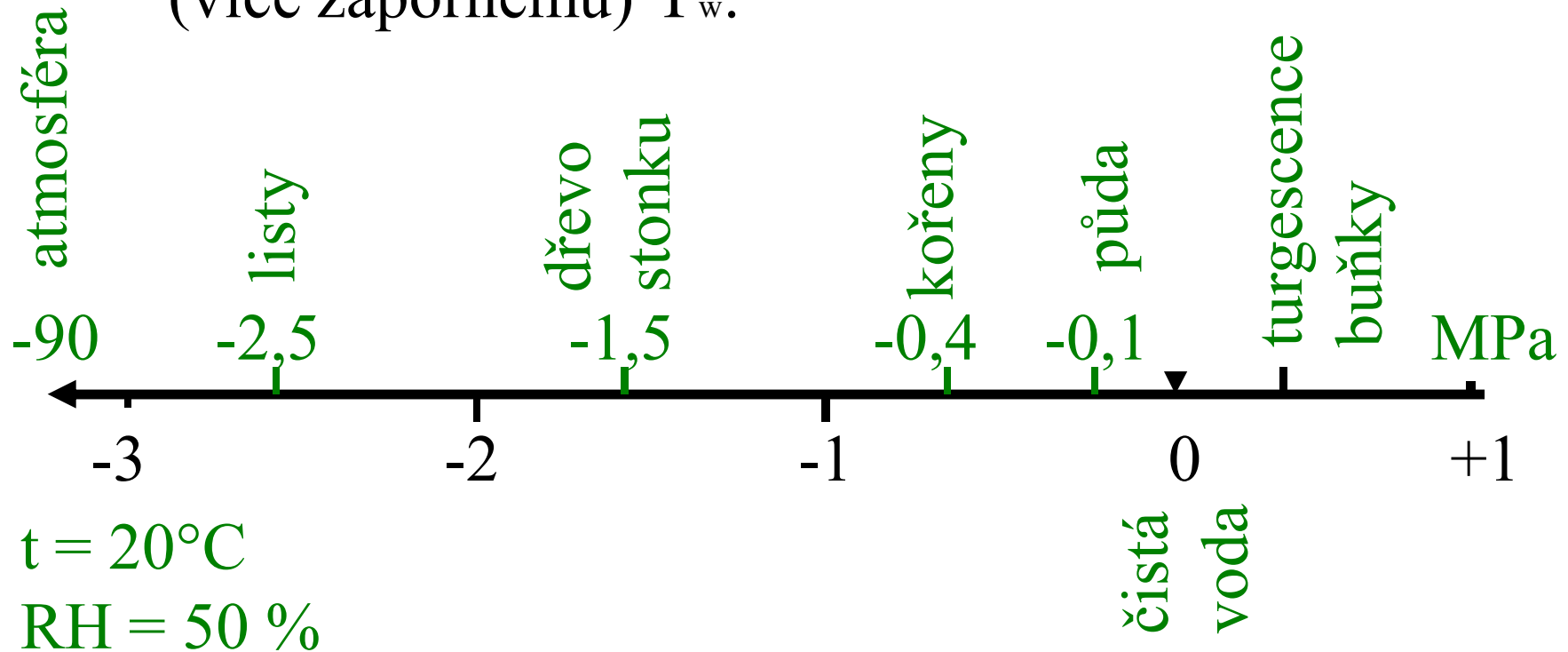
výsledek:
$$\Psi = -\pi + \Psi_p$$

Snížit hodnotu vodního potenciálu může:

- rozpouštění solí
- snížení teploty

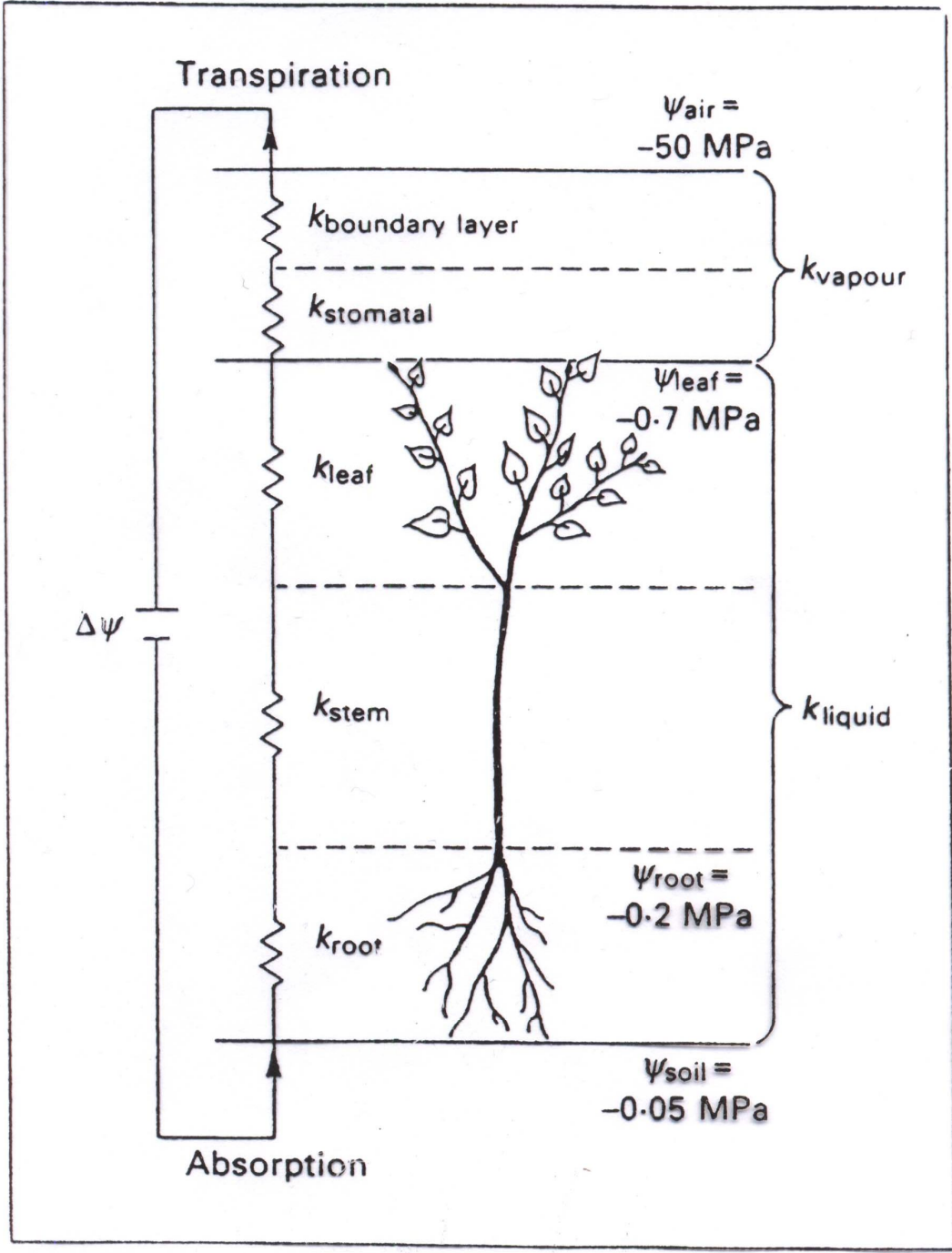
Zvýšit – pozitivní tlak buněčných stěn (turgorový tlak)

pohyb vody od vyššího (blíže k nule) k nižšímu (více zápornému) Ψ_w :

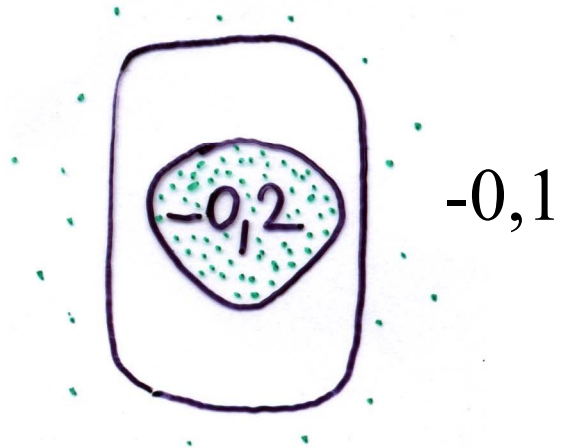


Ve vztahu buňka, prostředí je **směr pohybu vody** dán **rozdílem potenciálů srovnávaných míst**:

$$\Delta\Psi = \Psi_w^i - \Psi_w^o \quad \Psi_w^i - \text{buňka}; \Psi_w^o - \text{vnější prostředí}$$



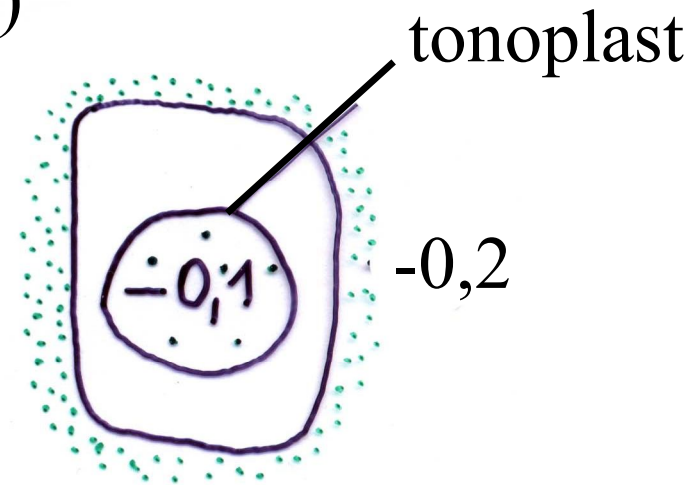
a)



$$\Delta\Psi = -0,2 - (-0,1) = -0,1$$

⇒ voda do buňky

b)

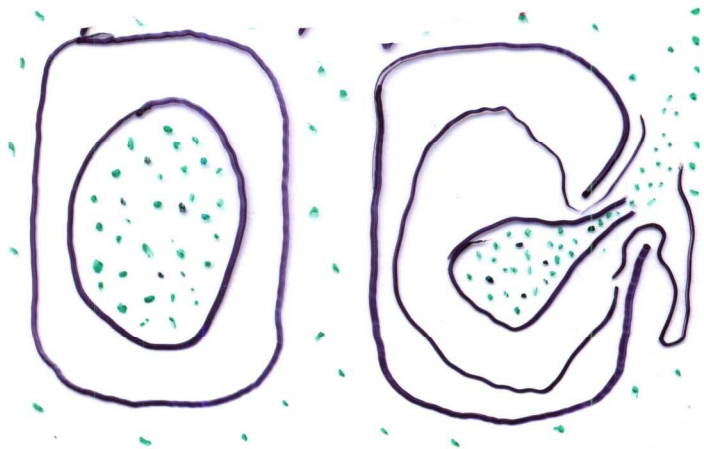


$$\Delta\Psi = -0,1 - (-0,2) = +0,1$$

⇒ voda z buňky ven

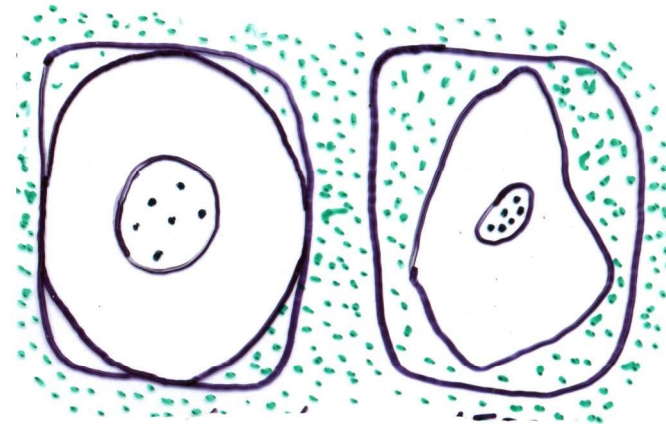
a)

⇒ vakuola se zvětší
protoplast bude plně
turgescenční; pokud
stěna neodolá –
plazmoptýza



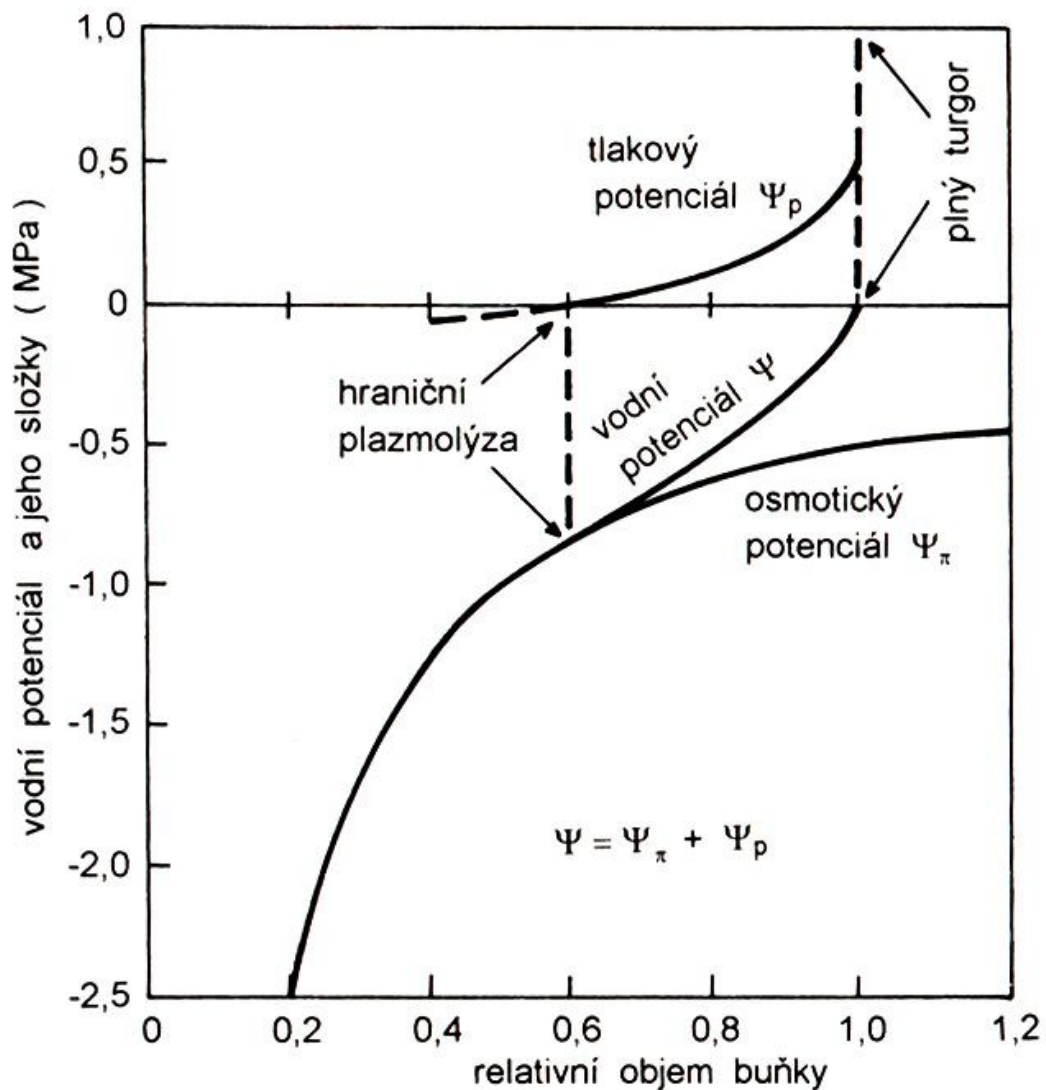
b)

⇒ vakuola se zmenší,
smrští se celý protoplast
a oddálí se od buněčné stěny-
deplazmolýza



deplazmolýza

návrat ve zředěném ☉



Buňka v čisté vodě:

$$\Psi = 0$$

$$-\pi + \Psi_p = 0$$

$$\Psi_p = \pi$$

Buňka v hypertonickém médiu — začínající plazmolýza:

$$P = 0$$

$$\Psi = -\pi$$

Příjem vody – hlavním procesem je transpirace

u vodních a poikilohydrických rostlin **celým povrchem**

u terestrických **kořeny**

pasivní příjem – transpirační sání - nevyžaduje přísun vlastní energie, veden na účet slunečního záření

aktivní příjem – kořenový vztlak – spotřeba energie (**ATP** – nutnost respirace, **O₂** v půdě a vhodné **teploty**) pro aktivní transport osmoticky aktivních látek z obvodu kořene do xylému, což vede k příjmu vody a jejímu vytlačování i proti vodnímu potenciálu

Projev – vytékání mízy (bohatá na cukry)

Období – zjara, kdy opadavé dřeviny nemají listy

Faktory ovlivňující příjem vody

kořeny:

rozsáhlost povrchu absorpčních kořenů, mykorrhiza

půdní vlhkost – optimum 60-70 % půdních pórů
vyplněných vodou

obsah O₂ – hypoxie až anoxie zastavuje příjem (3 %)

teplota příznivá +1 až +5°C do 30°C

koncentrace živin v půdě – fyziologická nepřístupnost
vody, zasolenost

složení a velikost půdních částic – τ , matriční složka Ψ_w
půdy

vedení vody – vzestupný tok (Q)

$$Q = \frac{\Delta\Psi}{R} \quad R - \text{odpor}$$

$$\text{tj. } Q = \frac{\Psi_{\text{w listů}} - \Psi_{\text{w půdy}}}{R_{\text{půdy}} + R_{\text{kořenů}} + R_{\text{stonků}} + R_{\text{listů}}}$$

Podmínky: **hybná síla**
hydratace celé dráhy
koheze

Nejvyšší stromy:

The „Tallest Tree“ *Sequoia sempervirens* – Kalifornie,
v roce 1970 výška **111,6 m**

Pseudotsuga douglasii – Britská Kolumbie, rok 1895
výška **127 m**

Pseudotsuga douglasii – Washington, současnost **95 m**

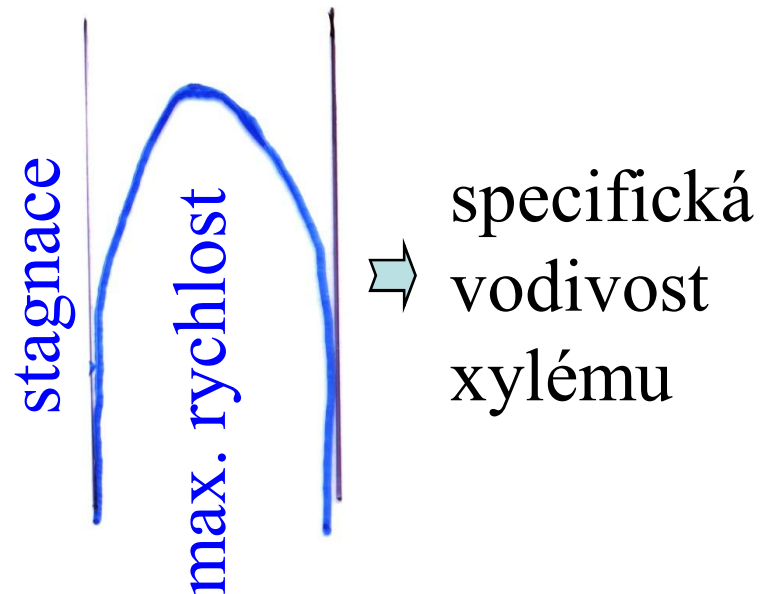
Eucalyptus regnans – Austrálie, v roce 1880 výška **114,4 m**

Rychlost toku – úměrná čtvrté mocnině $2r$ kapiláry:

(r) kapilára	(10)	20 μm	40 μm	80 μm	→ (500)
rel. velikost		1	2	4	
rel. rychlost toku		1	16	256	

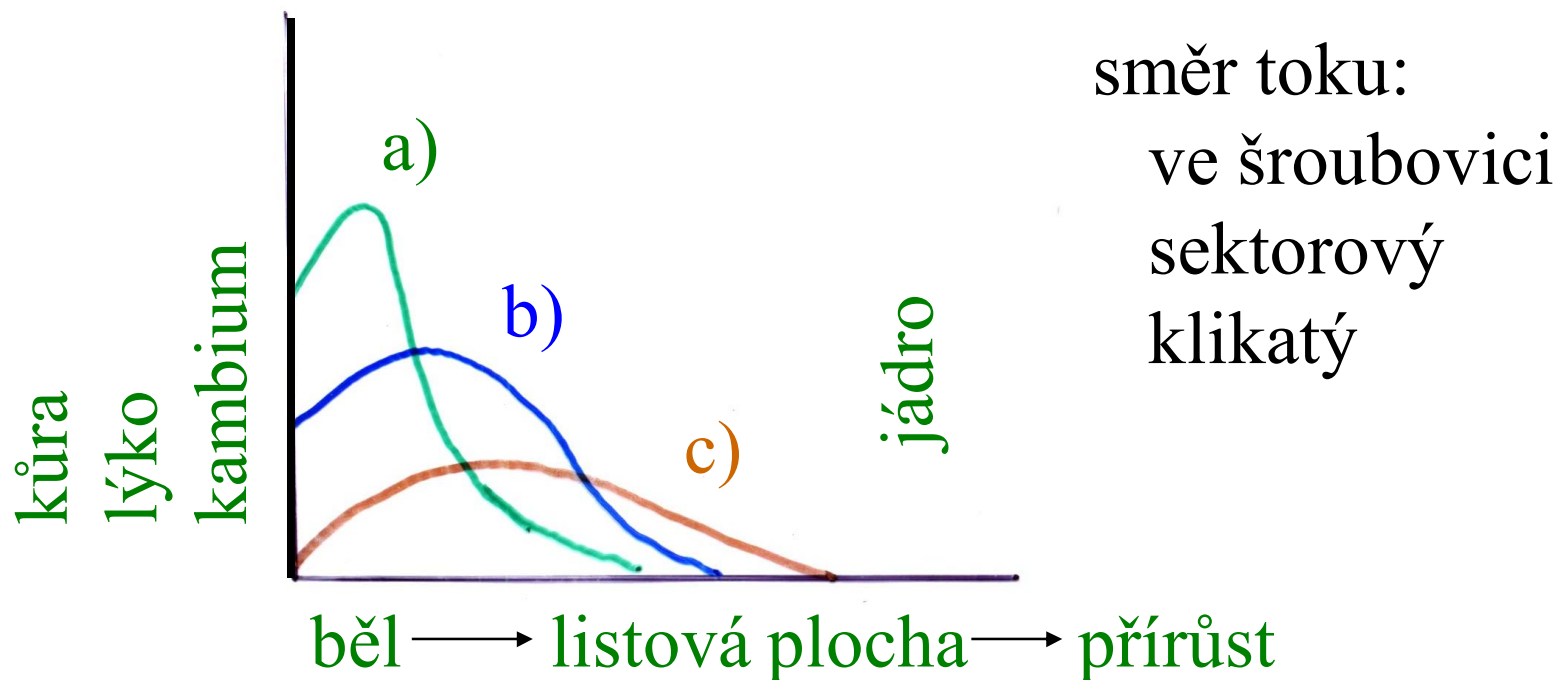
Rychlost toku v kapiláře je redukována **frikcí – třením**
vliv struktury stěn, konvekce

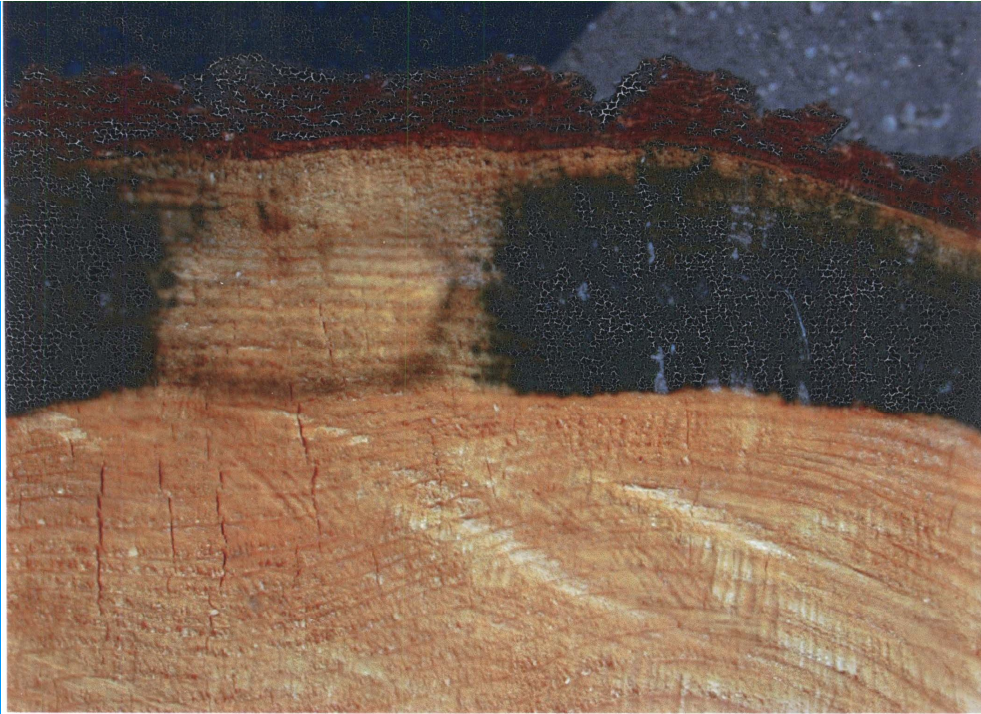
⇒ **vznik kavitací,**
odpory filtrace v příčných
přepážkách



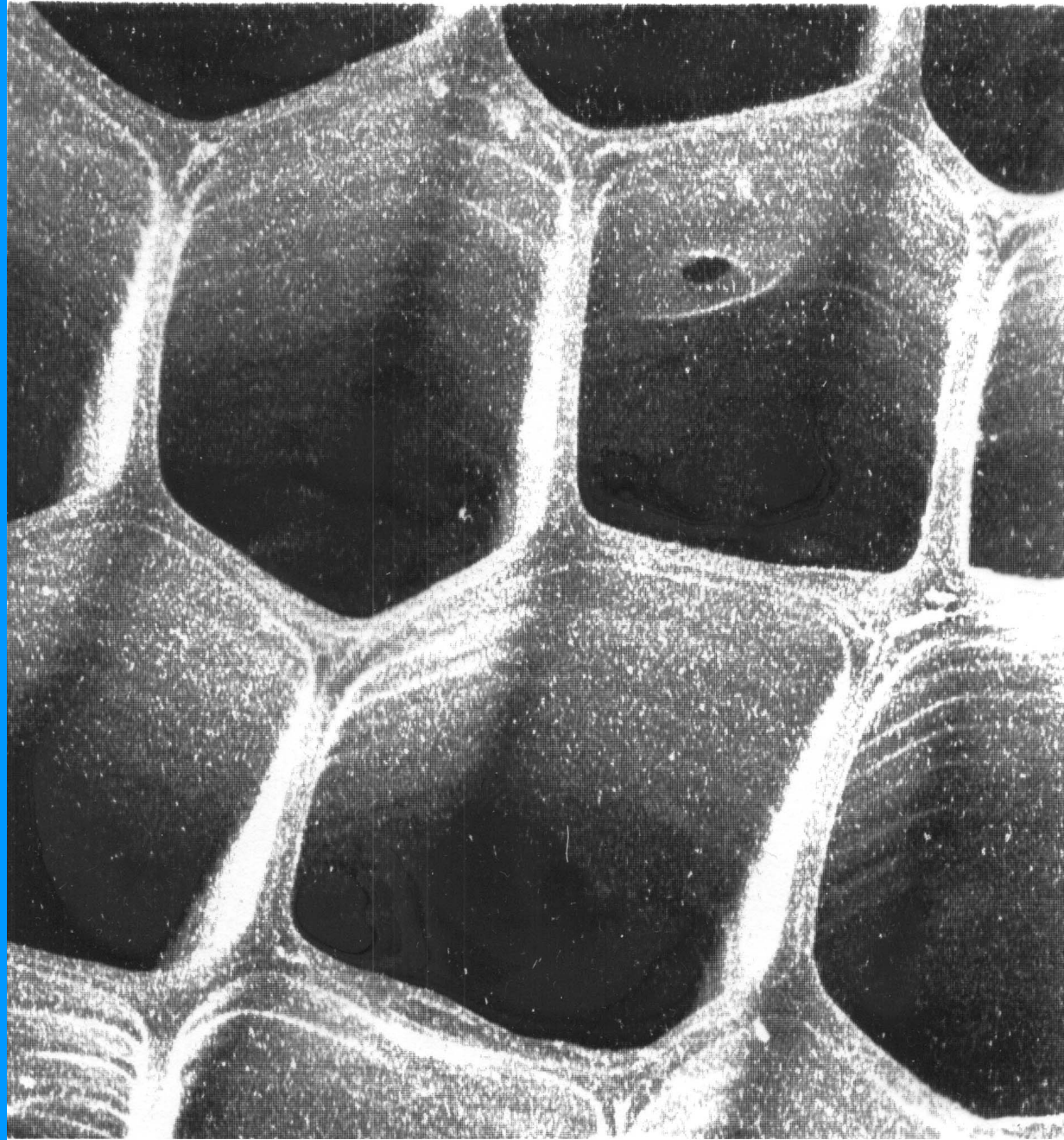
Hodnoty rychlosti vzestupného toku

- a) kruhovitě pórovité dřeviny 50 m.h^{-1}
(velká světlost cév, úzká běl – db 1-2 cm)
- b) roztroušeně pórovité dřeviny 30 m.h^{-1}
- c) jehličnany; funkčních až 30 letokruhů $1-2 \text{ m.h}^{-1}$
- d) liány až 150 m.h^{-1}

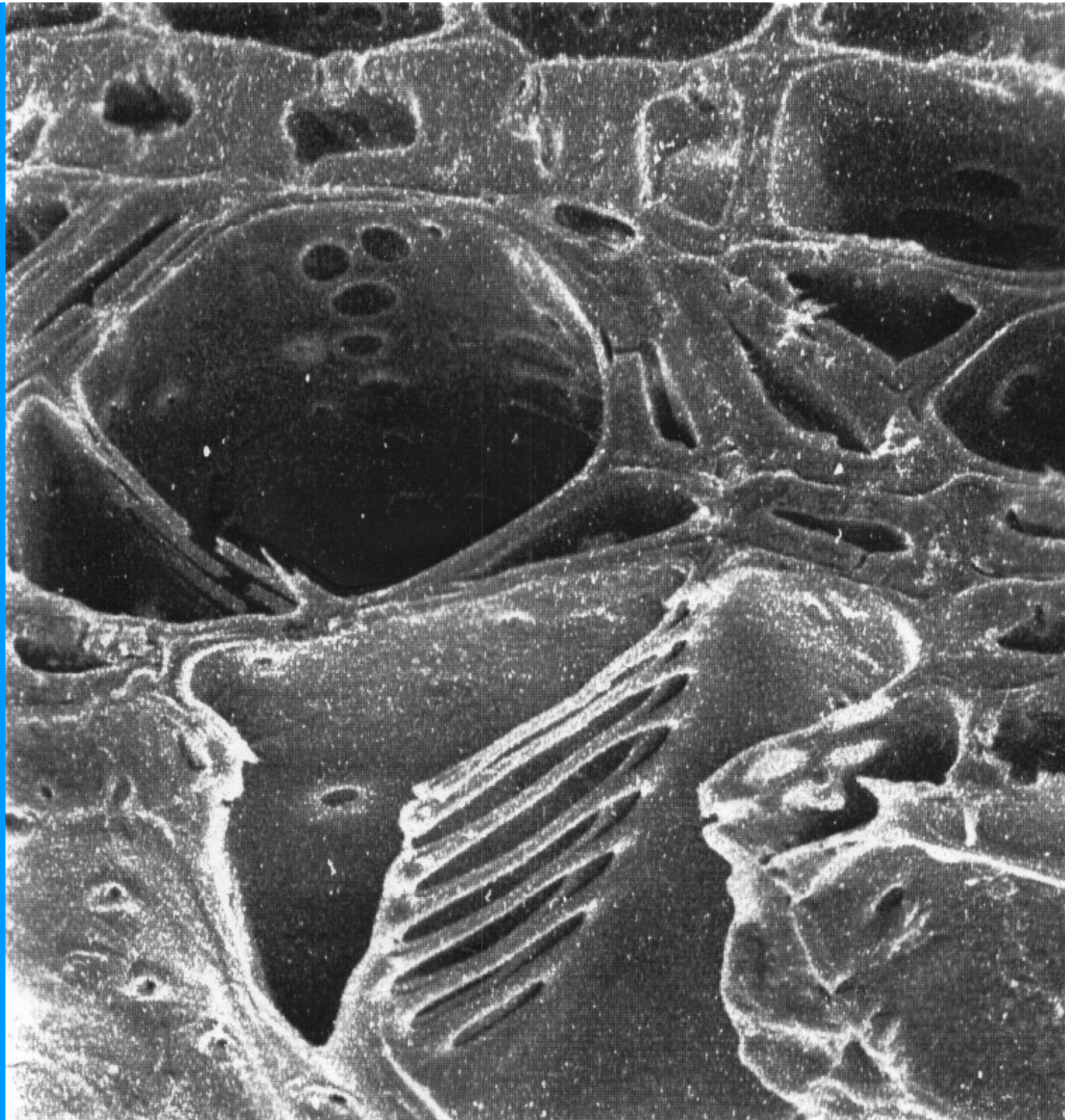


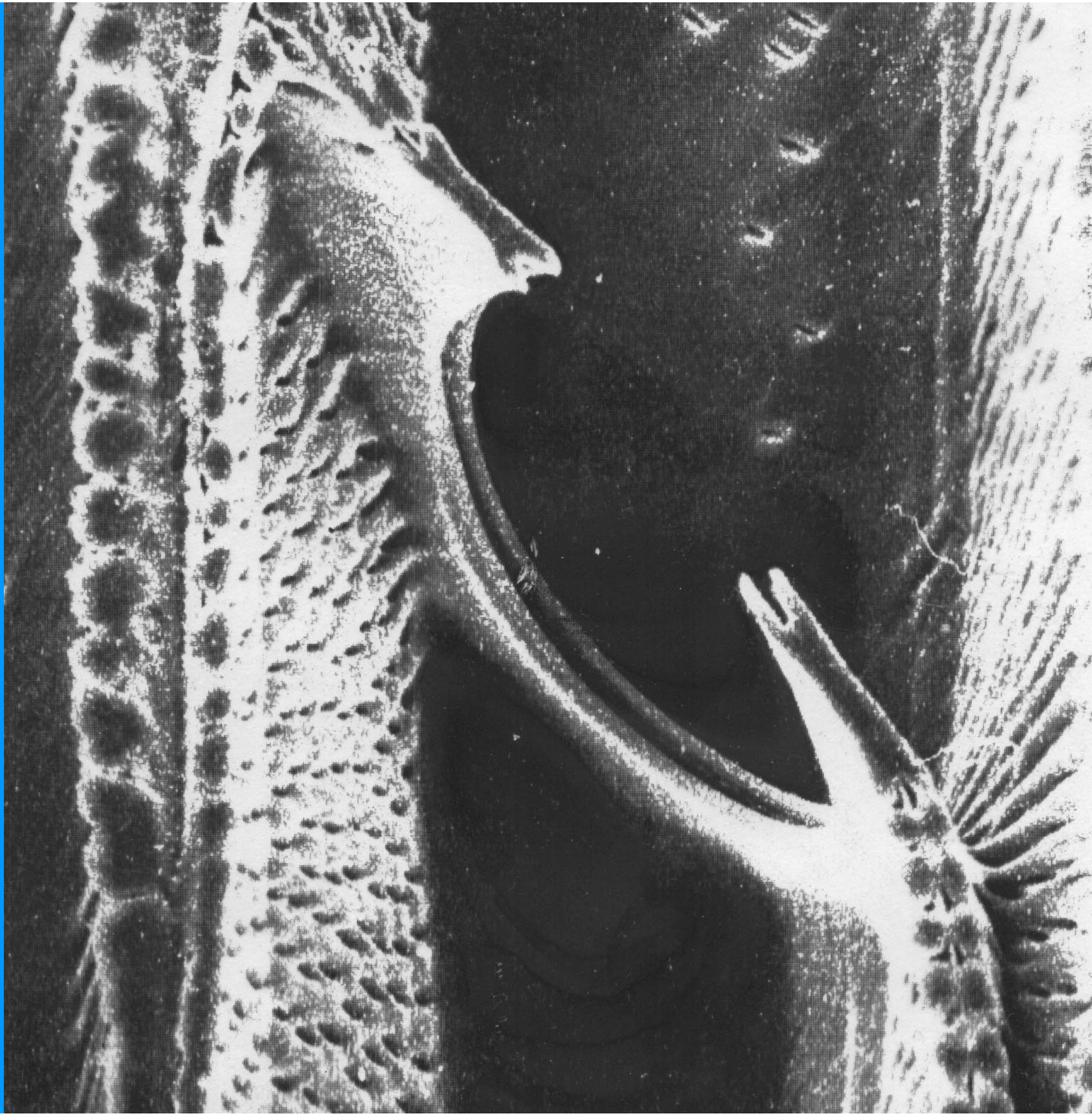






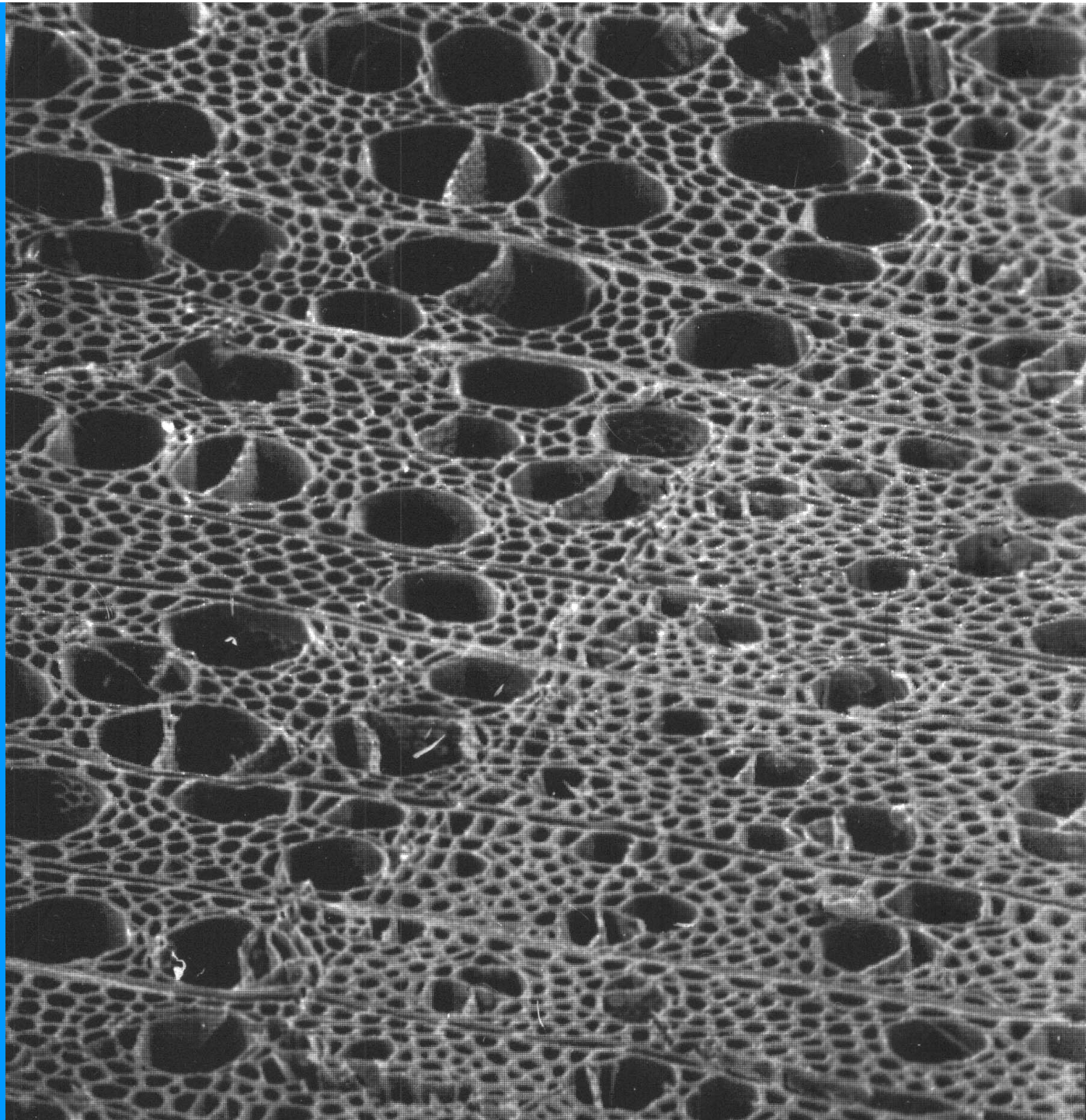
douglaska tisolistá





*Ulmus
glabra*





Výdej vody – vypařováním, **transpirace**
- v kapalně formě, **gutace**

Výpar vody z vlhkých povrchů:

$$u = \frac{\Delta\Psi}{r} = \frac{\Psi_w^i - \Psi_w^o}{r}$$

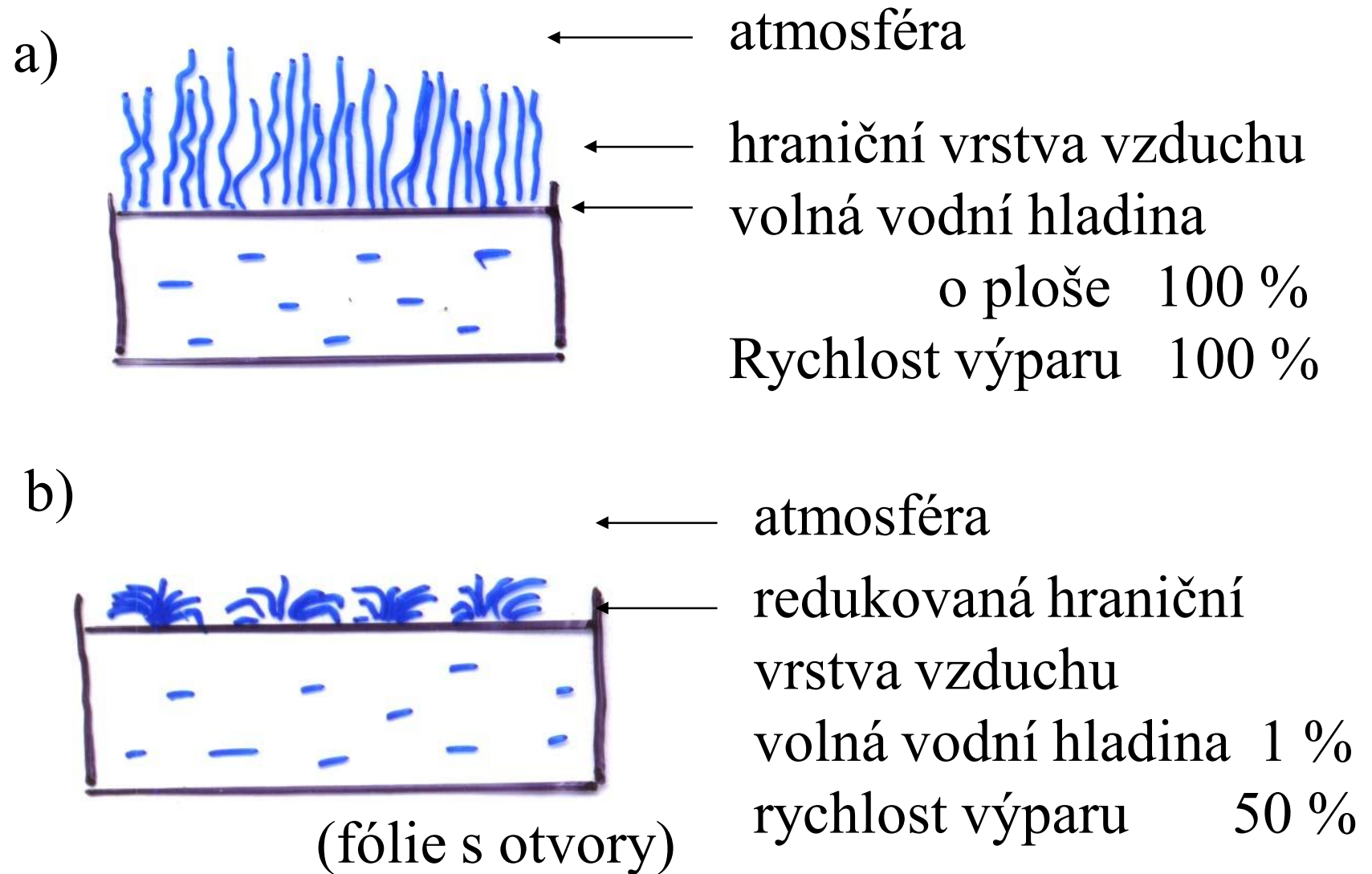
→ gradient hustot vodních par
→ odpory proti pohybu H₂O
- difuze vody v listu a
odpor hraniční vrstvy

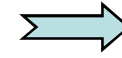
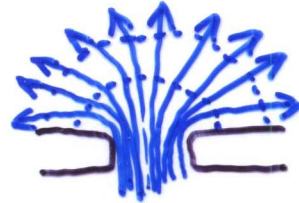
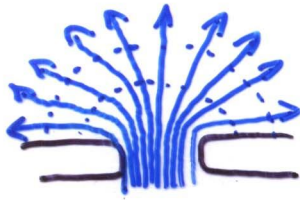
$\Delta\Psi$ závisí:

1. na **vlhkosti vzduchu** (relativní)
2. na **teplotě listu**

Ψ_w^i cca -0,05 až -3,0 MPa

r – význam hraniční vrstvy vzduchu:





snížení tloušťky
hraniční vrstvy
vzduchu

⇒ snížení r ⇒ relativně vysoký výpar

vliv větru

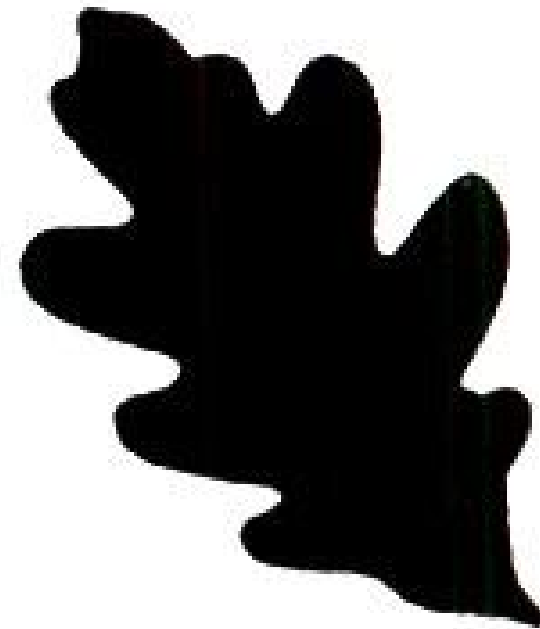
vliv velikosti, tvaru a struktury povrchu listu

bezvětrí {
malé listy – odpor $< 100 \text{ s.m}^{-1}$
(jehlice)
velké listy – odpor $> 300 \text{ s.m}^{-1}$
(banánovník)

$$\left[r = \frac{\text{tloušťka vrstvy}}{\text{difúzní koeficient}} = \frac{\text{cm}}{\text{cm}^2 \cdot \text{s}} = \text{s} \cdot \text{cm}^{-1} \right]$$



osluněná
poloha



stinná
poloha

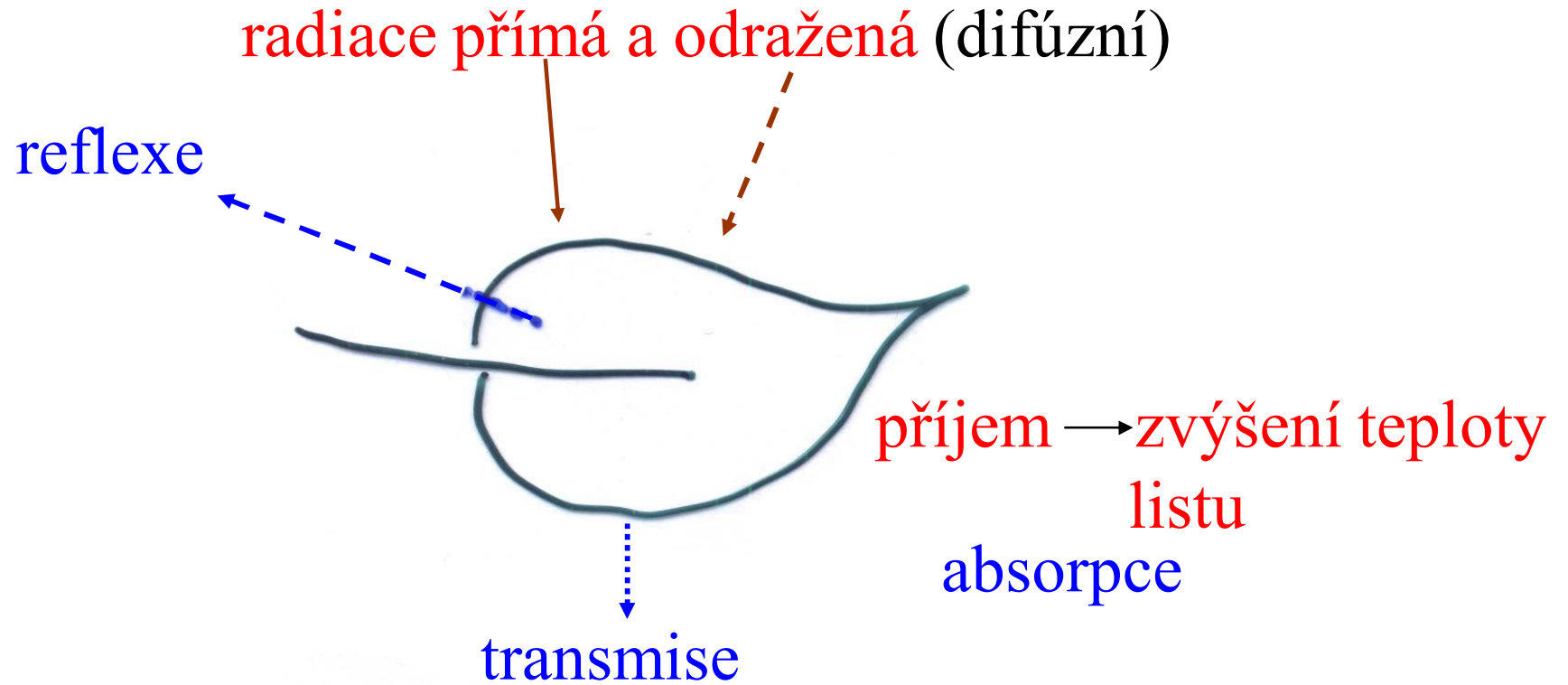


$$\Psi_w^i - \Psi_w^o :$$

podmínky	list	rozdíl	vzduch nad hraniční vrstvou
teplota	20°C	0	20°C
RH	téměř 100%	~ 90%	10%
hustota par	10,9 g.m ⁻³	9,8 g.m ⁻³	1,1 g.m ⁻³
teplota	30°C	10°C	20°C
RH	téměř 100%	téměř 10%	90%
hustota par	20,3 g.m ⁻³	10,5 g.m ⁻³	9,8 g.m ⁻³

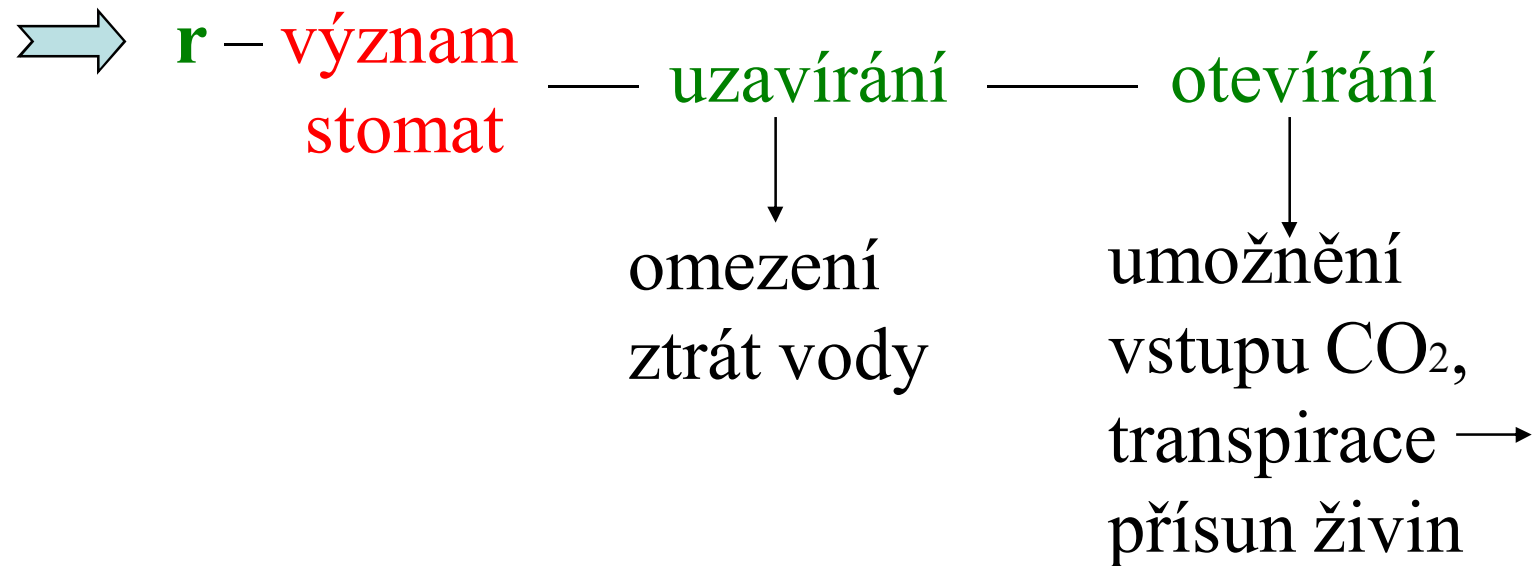
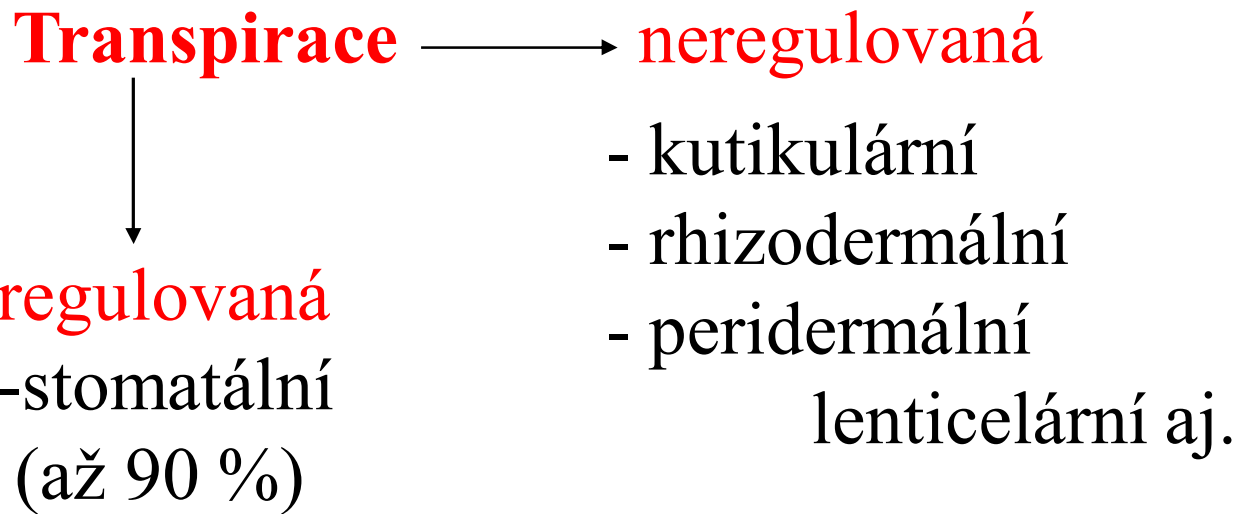
⇒ je-li **list teplejší** než okolní vzduch (oslunění, respirace, fotosyntéza), **probíhá transpirace** i když je RH vzduchu 100%

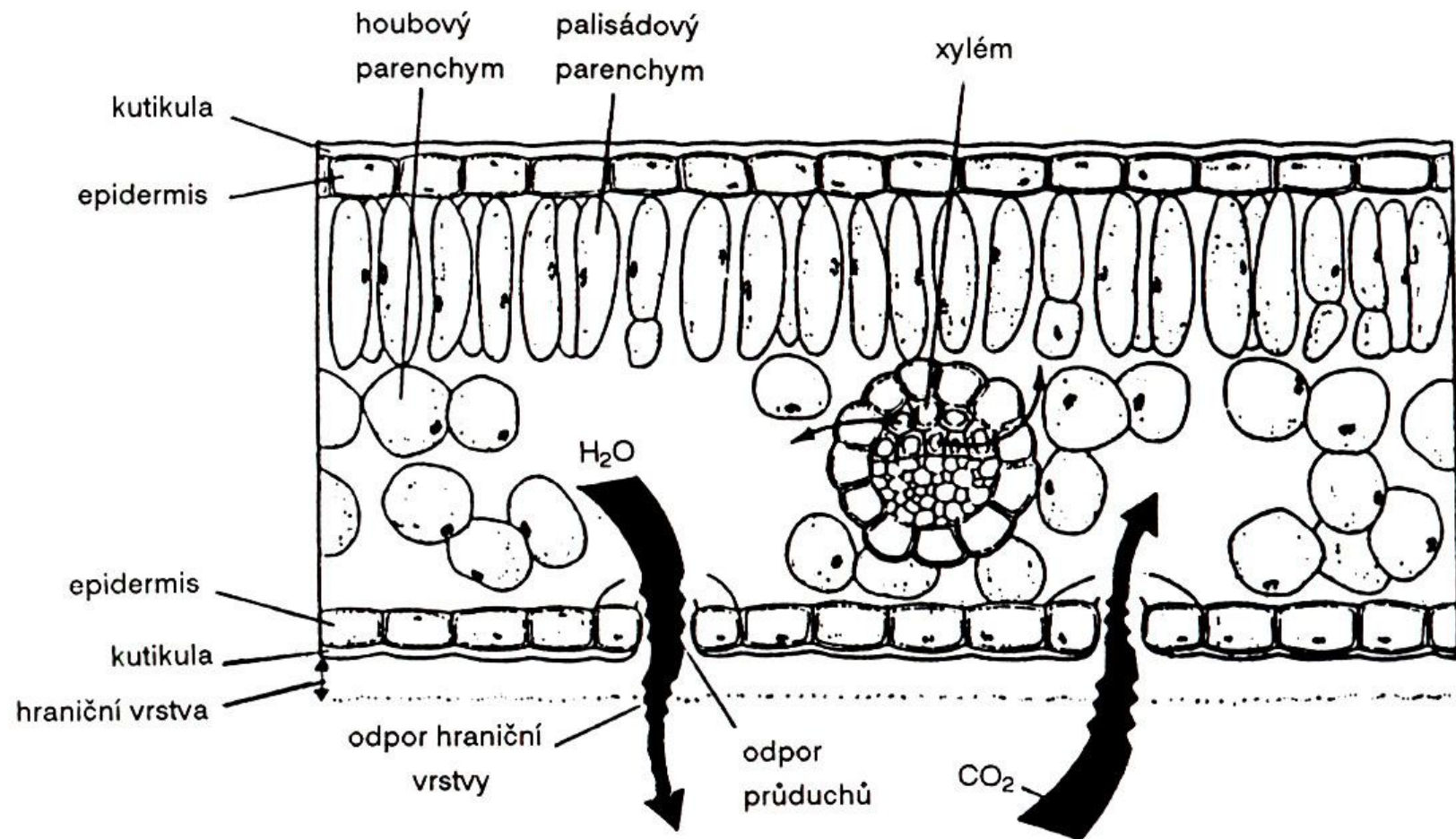
Tepelná bilance listu



příjem → zvýšení teploty listu

transpirace, přenos a spotřeba tepla → snížení teploty listu





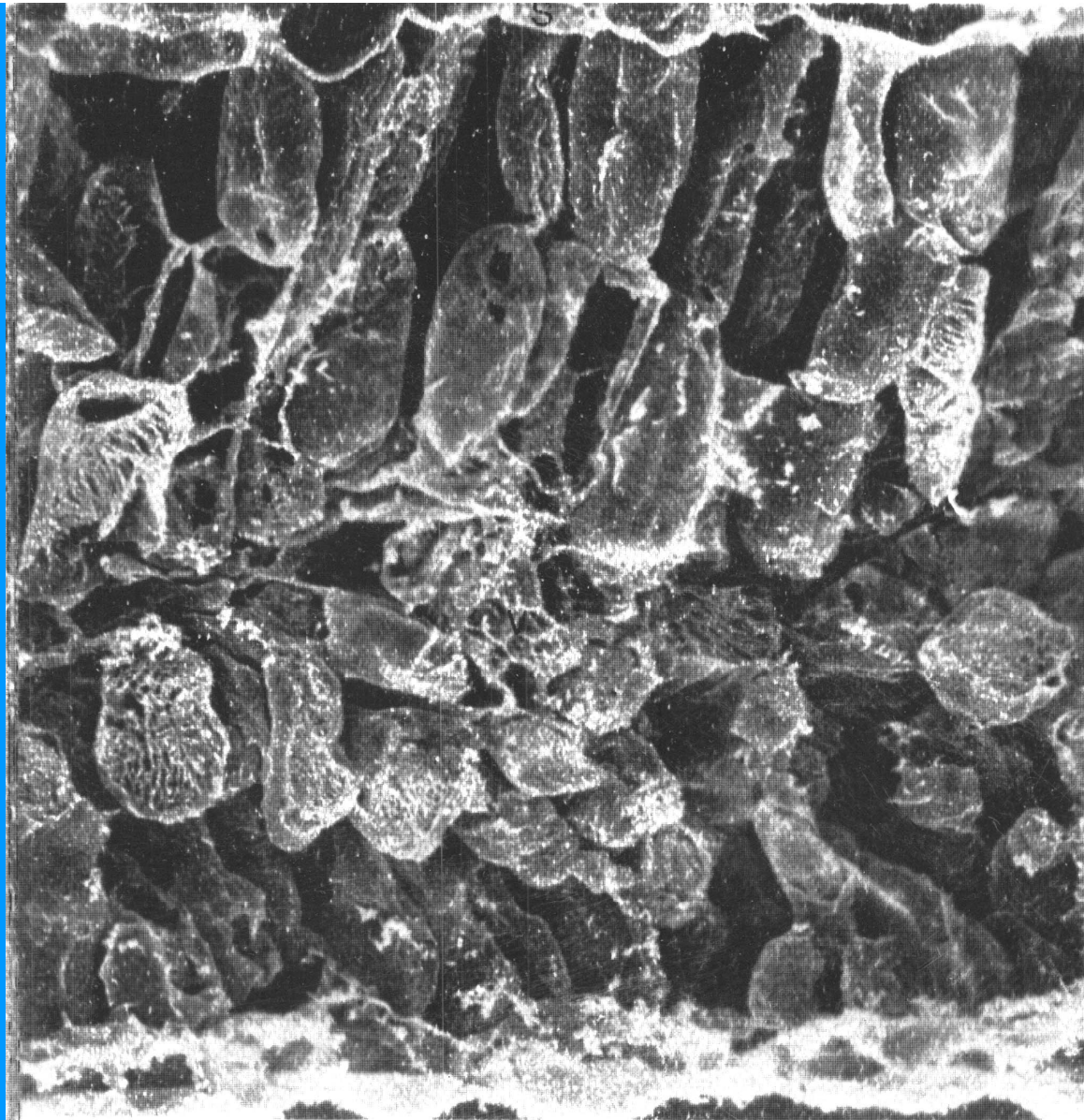
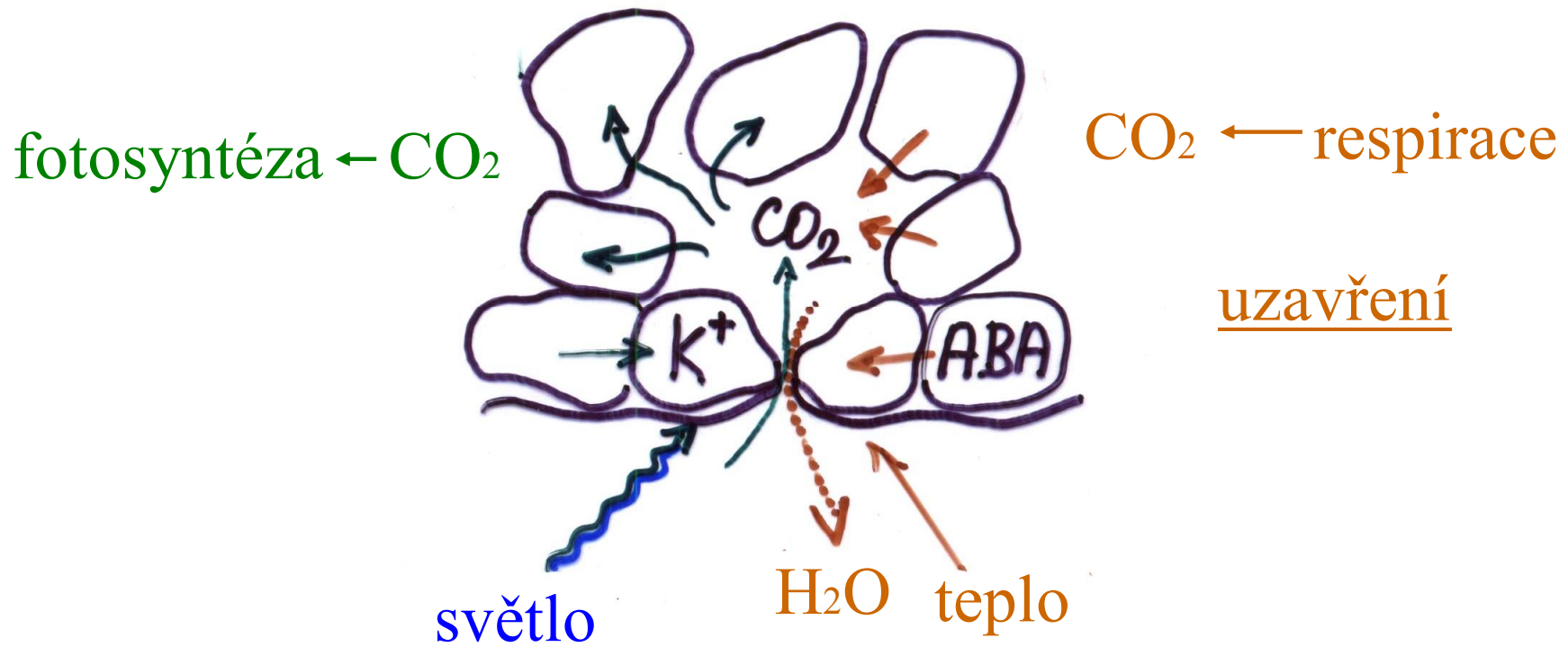


Plate 46 x420

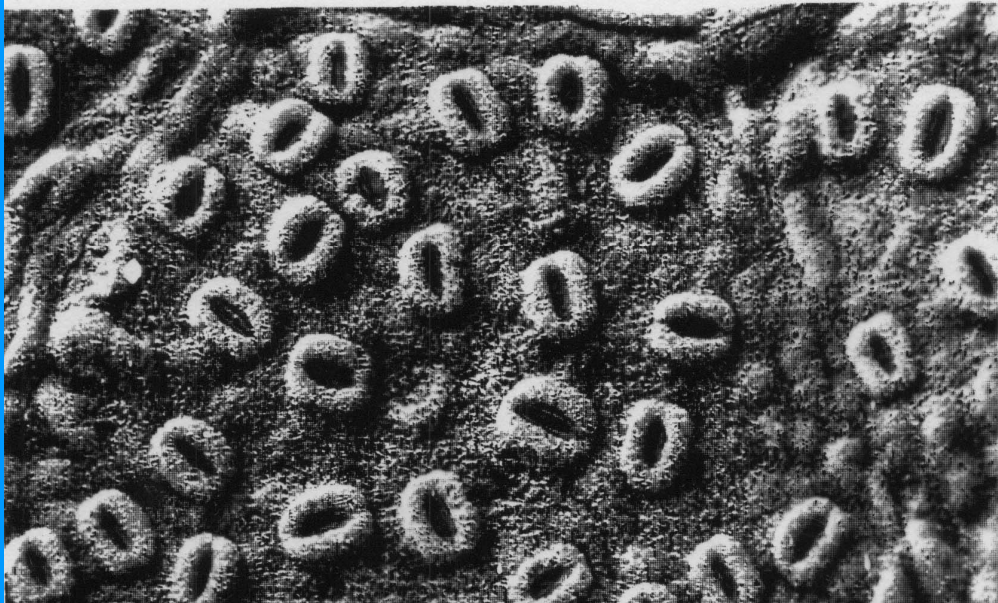
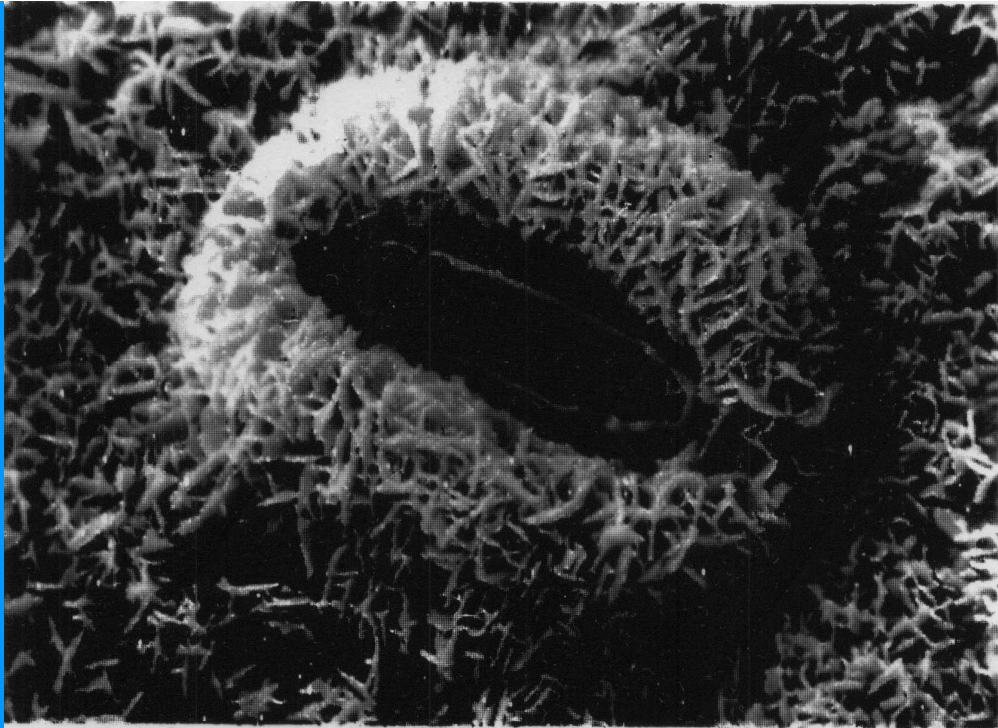
Inside the Leaf

Transverse view of an *Atriplex hastata* leaf. *Atriplex hastata* and *Atriplex spongiosa* are in the same genus, but each species has a different photosynthetic pathway and a different leaf anatomy. This latter feature is shown in the two photographs shown here on opposing pages. In *Atriplex hastata* the palisade and spongy mesophyll layers are present, although not as well developed as in cotton or bean. Note also the stoma (S) and vascular tissue (V). This plant has the Calvin or C₃ type photosynthetic pathway which involves the fixation of the CO₂ in the chloroplasts by the enzyme ribulose-1,5-diphosphate carboxylase and the production of phosphoglyceric acid. At the same time as photosynthesis is occurring, CO₂ is being produced within the cells (photo-respiration) and although some of the CO₂ is refixed, much of it escapes from the leaf.



vnější faktory: světlo (modré), teplota (30°C), vítr,
vlhkost vzduchu, výpar, vlhkost půdy

asimilační proud přetlakový



vnitřní faktory transpirace:

kutikula, trichomy, umístění a funkce stomat

těkavé látky (větší molekuly → vyšší hustota vzduchu

nad listem → zvýšení odporu vůči difuzi vodních par →

nižší transpirace), věk, stádium ontogeneze – schopnost

transpirace

rychlost transpirace [g.m ² h ⁻¹]		kutikulární transpirace [%]	
vodní rostliny	180-400		60-70
jehličnany	45-55		cca 3
listnaté stromy	40-120		10-20
spotřeba vody [l.d ⁻¹]		transpirační koeficient [g.g ⁻¹]	
smrk	100	brambory	400-600
bor na skalách	10	obilniny	500-600
dub, bříza	až 300	listnaté stromy	200-350
vrby, topoly	400	jehličnany	200-300

změny během dne; vegetačního období

Vodní bilance – vztah mezi příjmem a výdejem vody

$$\text{RWD} = \frac{W_{\text{act}}}{W_s} \cdot 100 \quad \text{WSD} = \frac{W_s - W_{\text{act}}}{W_s} \cdot 100$$

relativní obsah vody [%] vodní sytostní deficit [%]

odolnost vůči suchu – závisí na fázi ontogeneze:

zvýšená senzitivita → kritická období rostlin:

klíčení, období rychlého růstu, tvorba
květů, plodů

tolerance, snášenlivost → klidové období,
snížení látkového metabolismu

rezistence, odolnost → strukturální a funkční
zařízení:

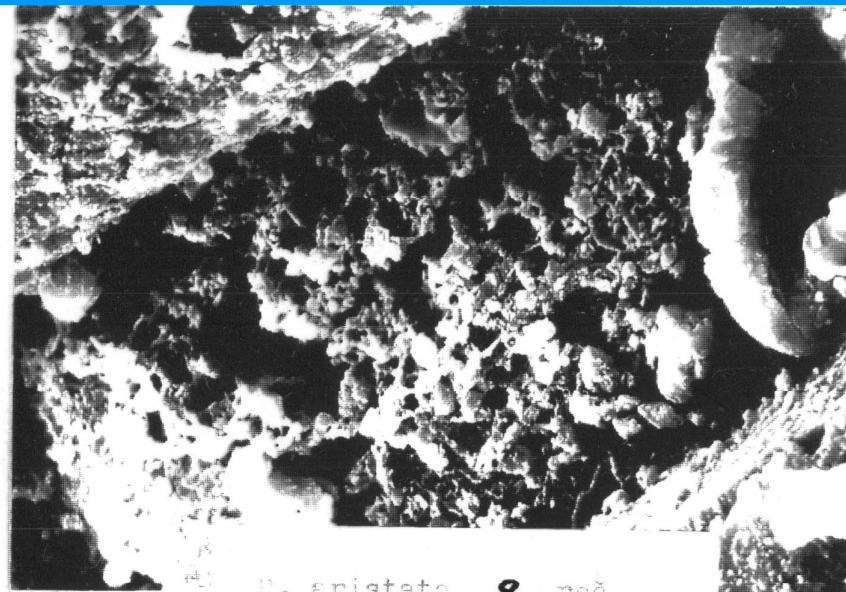
-rozsah a hloubka kořenového systému

-poměr $\frac{NS}{KS}$

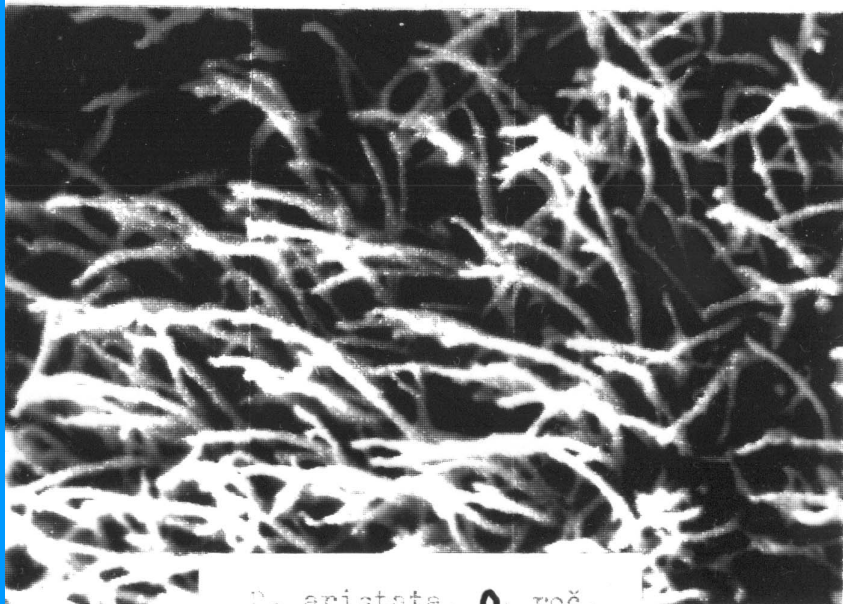
- schopnost vyvinout **velmi nízký Ψ_w**
(halofyty)
- xerofytní stavba** nadzemního systému
- omezení transpirační plochy** (sukulenty),
shazování listů; tvar listů (mikrofyty)
- tvorba **vodních zásobních pletiv** (též kmeny
stromů)
- omezení volné vody, schopnost udržovat
vodu**



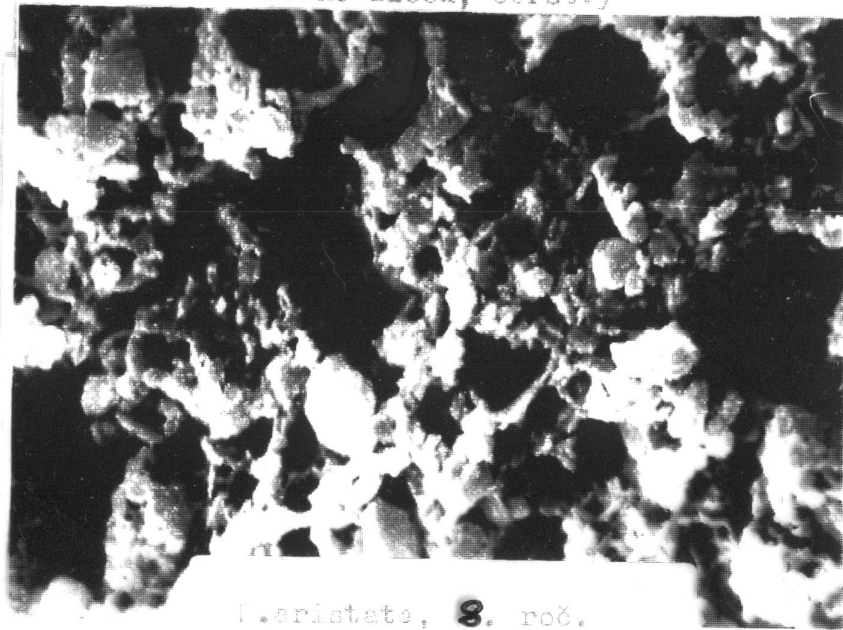
P. aristata, 0. roč.
adax. 2100x, čerstvý



P. aristata, 8. roč.
adax. 2100x, čerstvý

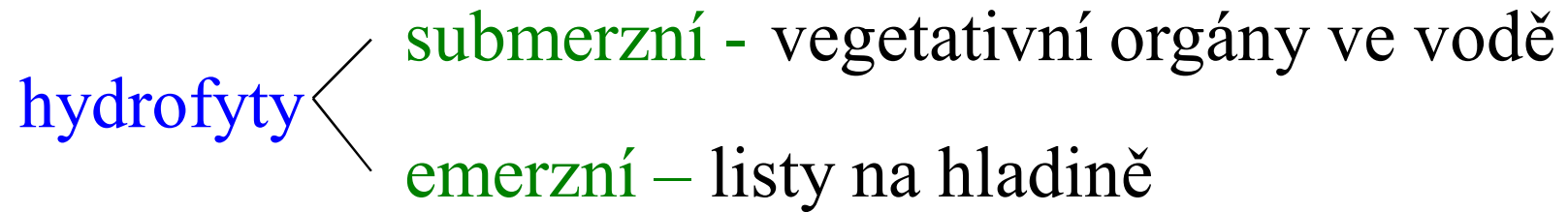


P. aristata, 0. roč.
adax. 6000x, čerstvý



P. aristata, 8. roč.
adax. 6000x, čerstvý

Fyziologicko-ekologické typy rostlin ve vztahu
k vodnímu provozu:

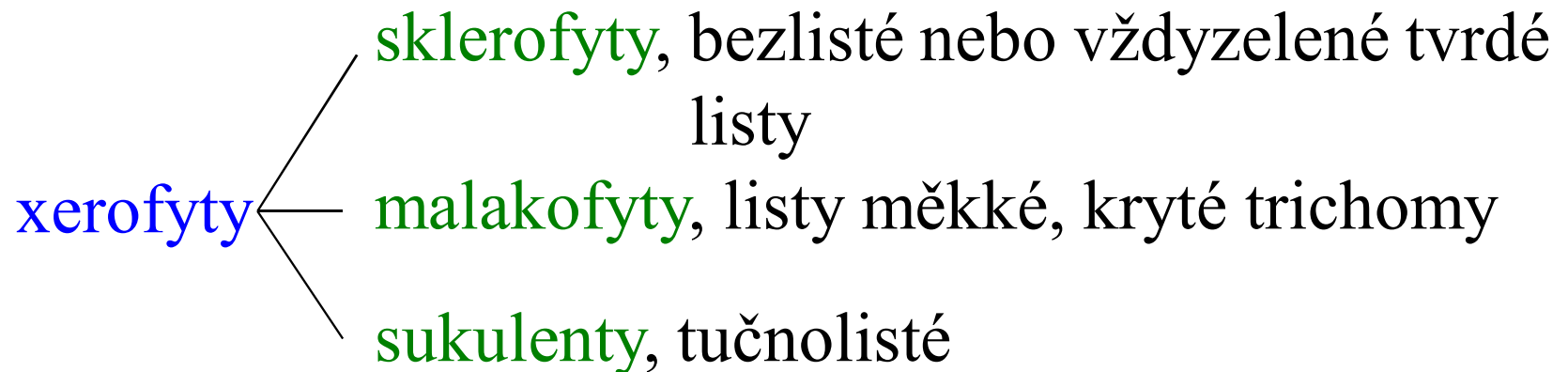
hydrofyty  **submerzní** - vegetativní orgány ve vodě
emerzní – listy na hladině

helofyty – bahenní, často **amfifyty**, obojživelné

halofyty – slanobytné

hygrofyty – vlhkobytné

mezofyty – nevyhraněné

xerofyty  **sklerofyty**, bezlisté nebo vždyzelené tvrdé listy
malakofyty, listy měkké, kryté trichomy
sukulenty, tučnolisté

Modifikace v rámci jedince – tvorba **slunných až stinných** listů

