

EKOFYZIOLOGIE LESNÍCH DŘEVIN

Část II.

Michal V. Marek



Ústav systémové biologie
a ekologie

AKADEMIE VĚD
ČESKÉ REPUBLIKY

Rostliny jsou poikilothermní organismy

To znamená, že jejich teplota se
VYROVNÁVÁ s teplotou okolí
je to případ tzv. vynucené temperace.

Ovšem toto vyrovnávání teploty obecně **NENÍ** moc dokonalé
ale **ROSTLINY**
mají k dispozici **MECHANISMUS, JAK SVOU TEPLOTU**
REGULOVAT.

Vše je podřízeno **VÝMĚNĚ ENERGIE MEZI ROSTLINOU**
a **JEJÍM OKOLÍM**

Radiační bilance - zdroj tepelné energie

Tepelná radiace obsazuje dlouhovlnný interval (3-100000nm) je silně absorbována dipólními molekulami jako je např. CO_2 , vodní pára apod. Výsledkem je oteplování vzdušných atmosférických mas (klasický skleníkový efekt)

Skleníkový efekt

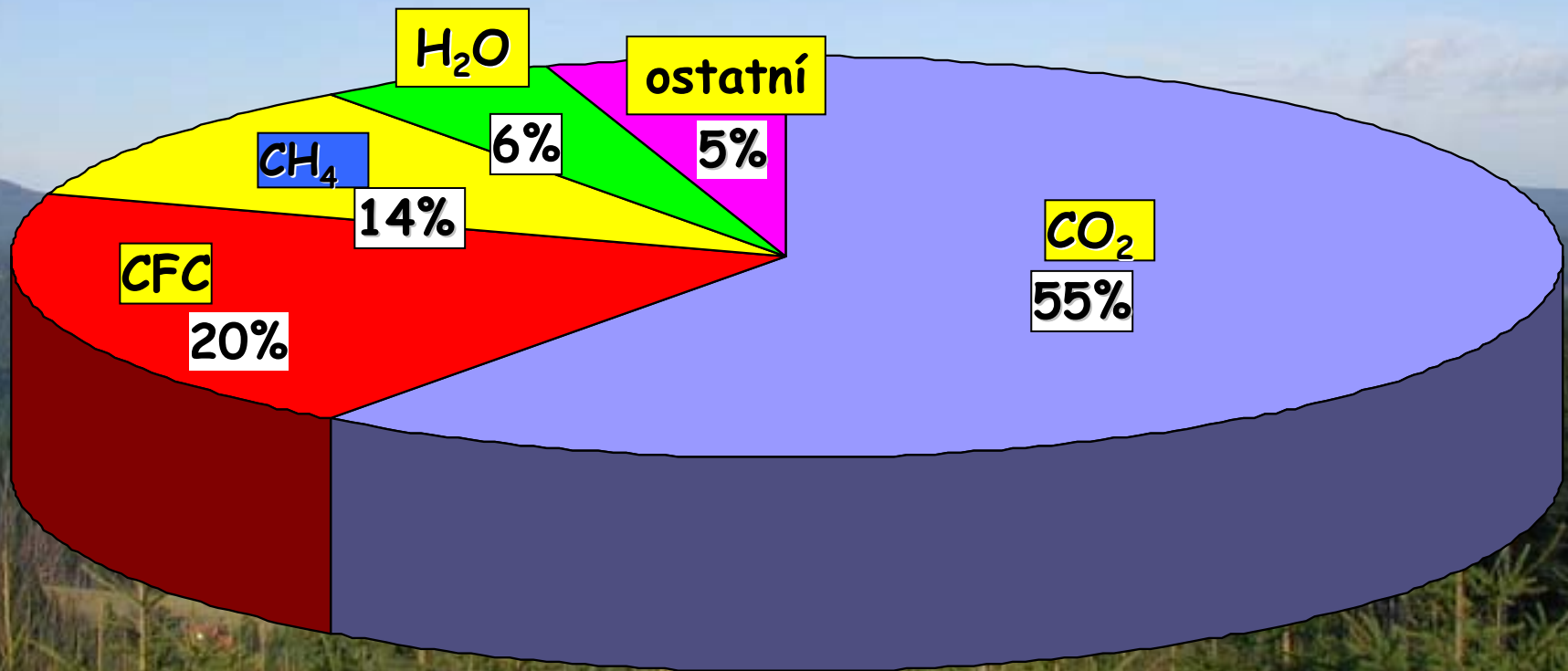
krátkovlnná radiace

dlouhovlnná radiace



skleníkové
plyny:
vodní pára,
 CO_2 , CH_4 ,
 N_2O ,
CFC, HFC

Podíl radiačně aktivních plynů na zesílení skleníkového efektu



OBECNĚ platí:

KRÁTKOVLNNÁ RADIACE přijatá zemským povrchem je
ENERGETICKÝ ZISK

DLOUHOVLNNÁ TEPELNÁ RADIACE odrážená je obecně
ENERGETICKOU ZTRÁTOU

TAKŽE: celková radiační bilance je **POZITIVNÍ**, když
převládá příkon krátkovlnné radiace
NEGATIVNÍ je v noci a za podmínek, kdy převládá jí
radiační ztrátu dlouhovlnné radiace

NET RADIČNÍ BILANCE Q_I

pro daný povrch je stanovena:

$$Q_I = I_s + I_l$$

tedy součtem krátkovlnné a dlouhovlnné složky radiace

$$I_s = I_b + I_D - I_R$$

$$I_l = I_{at} - I_{gt}$$

kde: I_b - přímá DOPADAJÍCÍ

I_D - DOPADAJÍCÍ difuzní

I_R - ODRAŽENÁ krátkovlnná

I_{at} - DOPADAJÍCÍ tepelná

I_{gt} - ODRAŽENÁ tepelná

TEPLOTNÍ BILANCE ROSTLINNÉHO POVRCHU

JE SLOŽENA ZE ZÁKLADNÍCH
KOMPONENT:

Q_I - net radiace

Q_M - energetický obrat metabolických
procesů

Q_P - tepelné storage biomasy

Q_S - tepelný storage půdy

Q_H - zjevné teplo

Q_λ - latentní teplo

Tedy:

$$Q_I + Q_M + Q_P + Q_S + Q_H + Q_\lambda = 0$$

Q_M - energetický obrat metabolických procesů

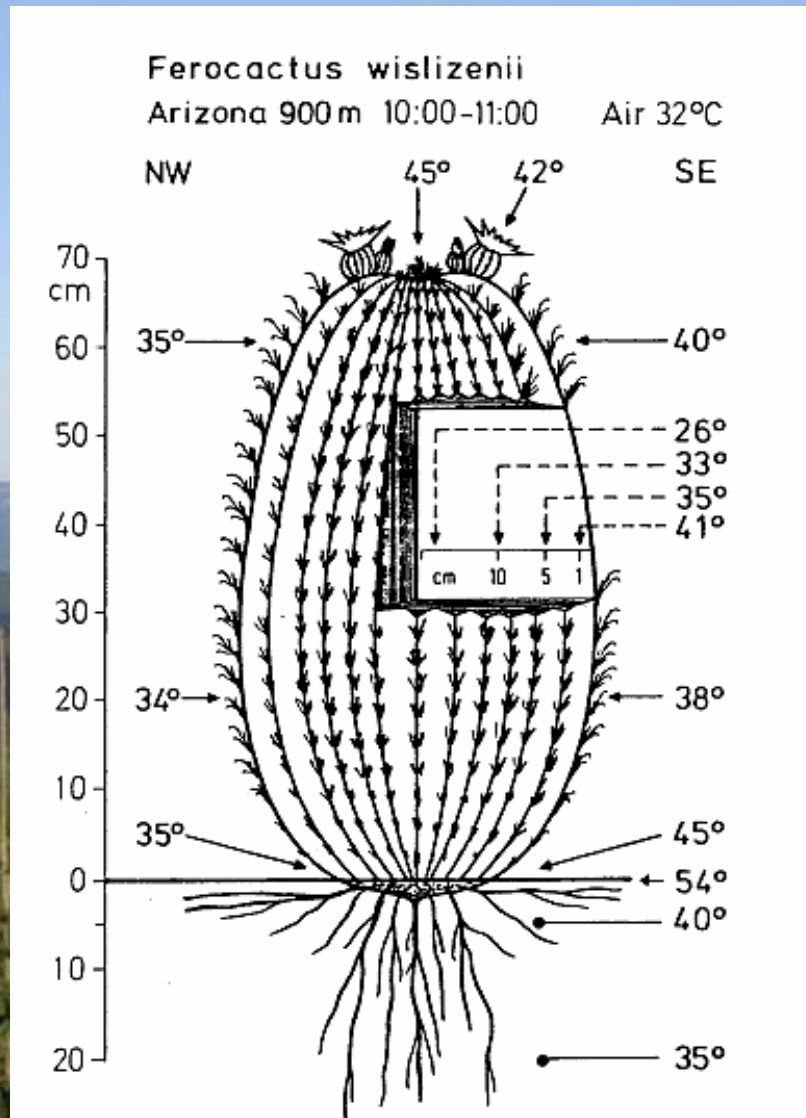
Při ozáření především převládá energie, která je spojena s fotosyntetickou asimilací. V ostatních pletivech je to energie spojená s respirací.

Q_i činí tak 1-2% energetické bilance

Q_S - tepelný storage půdy

Zachycená energie je dočasně uložena jako oteplení půdy, to je v závislosti na barvě půdy, obsahu vlhkosti expozici apod. Teplota v půdě má zřetelnou vertikální diferenciaci a denní chod.

Q_p - tepelné storage biomasy Zachycená energie je dočasně uložena jako oteplení biomasy. To se především děje za situací, kdy je velká ozářenost a malá výměna tepla.



Složky reprezentující VÝMĚNU ENERGIE S OKOLÍM

Q_H - zjevné teplo

Q_λ - latentní teplo

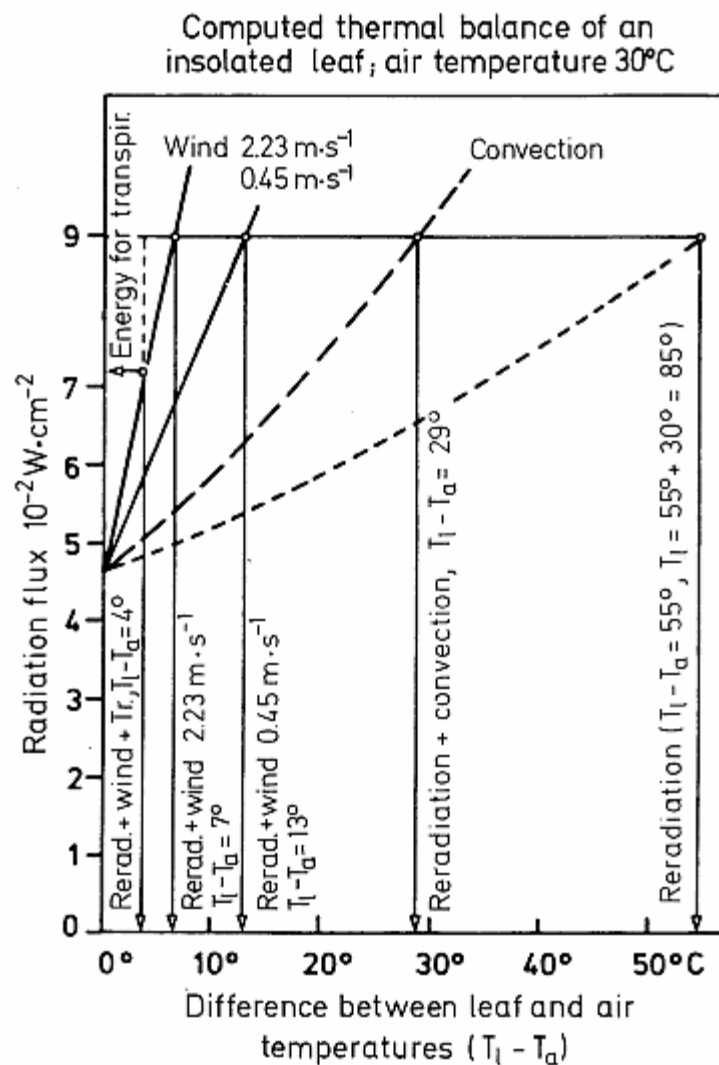
Zde se kombinují jak fyzikální determinanty (vodní potenciál) a fyziologická regulace (průduchy)

Q_λ - NEGATIVNÍ rostlina transpiruje

Q_i - POZITIVNÍ voda na rostlině kondenzuje

Q_H - zjevné teplo

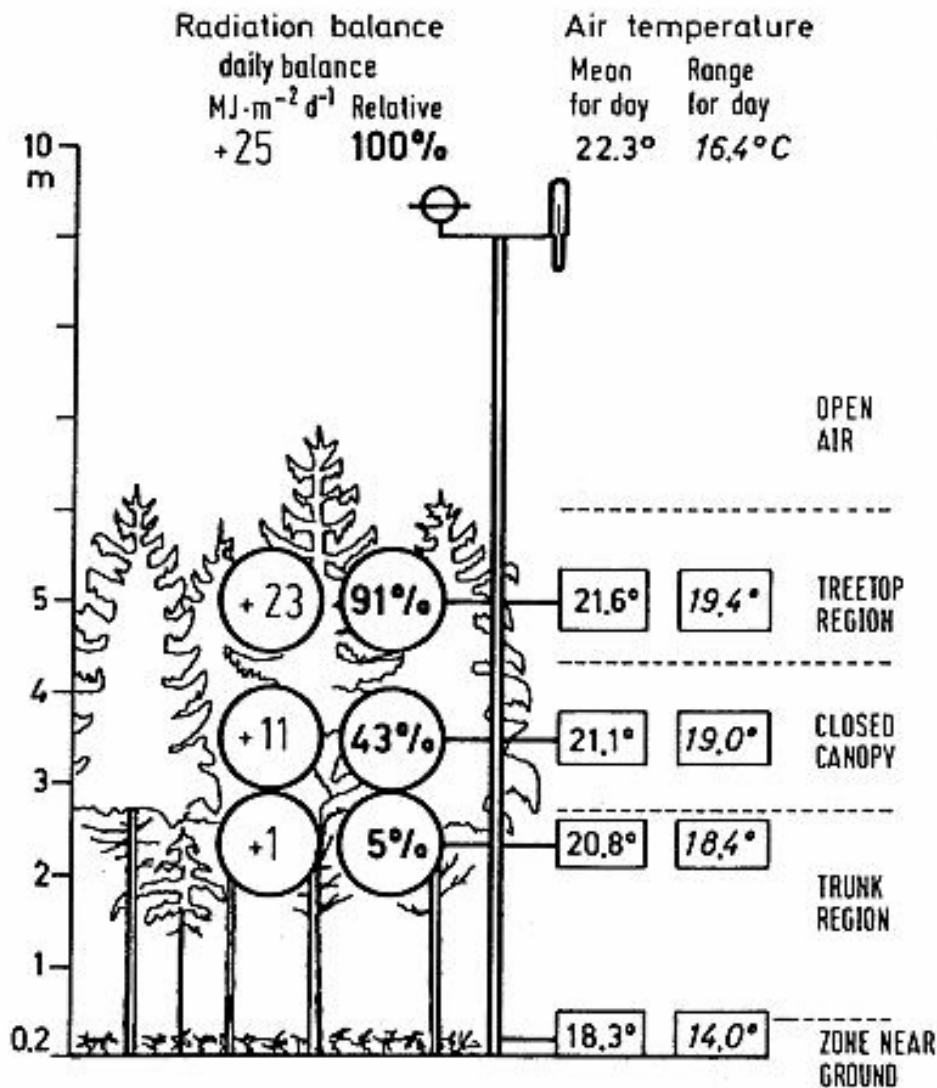
Za podmínek pozitivní radiační bilance, je směr konvekce tepla od povrchu rostlin (Q_H - negativní hodnoty) za situace, kdy je povrch rostlin chladnější pak Q_H - pozitivní). Teplotní výměna je výrazně ovlivněna POHYBEM vzduchu



Rozdíly v teplotě povrchu listu a teplotou vzduchu chladičí efekt transpirace

	Heat exchange by convection and wind			
	Very low		Very high	
	$T_{\text{leaf}} - T_{\text{air}}$	Cooling by transpiration	$T_{\text{leaf}} - T_{\text{air}}$	Cooling by transpiration
Day				
(Radiation balance: +70 W · m ⁻²)				
Tropical day 35° C, 90% RH	+26.4° C	-3.0° C	+1.9° C	-0.4° C
Steppe day 40° C, 7% RH	+20.9° C	-4.8° C	-1.1° C	-3.0° C
Temperate day 22° C, 61% RH	+15.9° C	-1.3° C	+0.7° C	-0.5° C
Night				
Tropical night (Radiation balance: -35 W · m ⁻²) 30° C, -94% RH Dew point: 29.0° C	-1.5° C	+0.9° C ^a	-0.2° C	-0.1° C
Steppe night (Radiation balance: -56 W · m ⁻²) 20° C, 23% RH Dew point: -1.9° C	-4.3° C	-0.1° C	-0.5° C	-0.2° C
Temperate night (Radiation balance: -49 W · m ⁻²) 14° C, 95% RH Dew point: 13.2° C	-2.4° C	+1.3° C ^a	-0.3° C	0

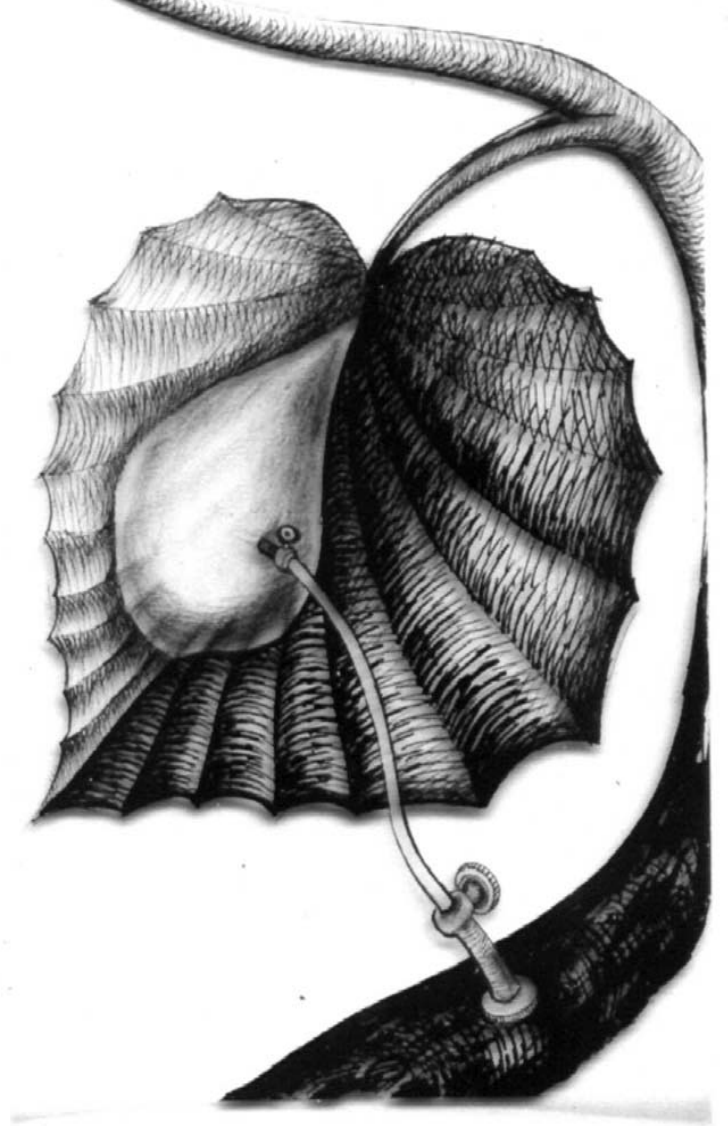
Radiační bilance a teplota vzduchu v hustém porostu



Q_{λ} - latentní teplo
úzce souvisí s vodním provozem rostlin

- vodní provoz rostliny je v úzké návaznosti na její energetickou bilanci

- vodní provoz zajišťuje:
 - tepelnou úroveň rostliny
 - příjem vody
 - transport rozpuštěných minerálů



• Studium vodního
provozu
souvisí s aplikací
fyzikálních přístupů

• Vodní provoz lze
kvantifikovat
a analyzovat v jeho
částech



Fyzikální a chemické vlastnosti vody

jsou ideální pro plnění mnoha funkcí:

Voda je výhodným médiem pro difúzi rozpuštěných látek

Voda je nestlačitelná a tudíž příjem vody způsobuje expanzi buňky podmiňující hydrostatický tlak, který pomáhá k mechanické podpoře rostliny

Voda je vhodné médium pro *tepelnou regulaci rostlin*, neboť má vysoké teplo nutné k evaporaci, má vysokou tepelnou kapacitu na jednotku hmoty a má vysokou tepelnou vodivost.

Voda je rovněž *obecným rozpouštědlem*. Její polární charakter jí dovoluje být vhodným rozpouštědlem pro polární částice, což je obzvláště důležité při minerální výživě

Voda je dobře *propustná pro viditelné světlo*, což pak umožňuje penetraci zářivé energie k chloroplastům jinak obklopeným vodním prostředím uvnitř buňky.

Voda je *zdrojem kyslíku a vodíku pro fotosyntézu*. Tvorba ATP zahrnuje extrakci vody z ADP. Tvorba ATP je tedy dehydratační proces uskutečňující se ve vodním prostředí za biologických podmínek

FYZIKÁLNÍ VLASTNOSTI VODY

Vodíkové vazby

Voda je dipól, kyslík je elektronegativní a vodíkové atomy jsou pozitivní. V důsledku toho má molekula zjevnou polaritu náboje.

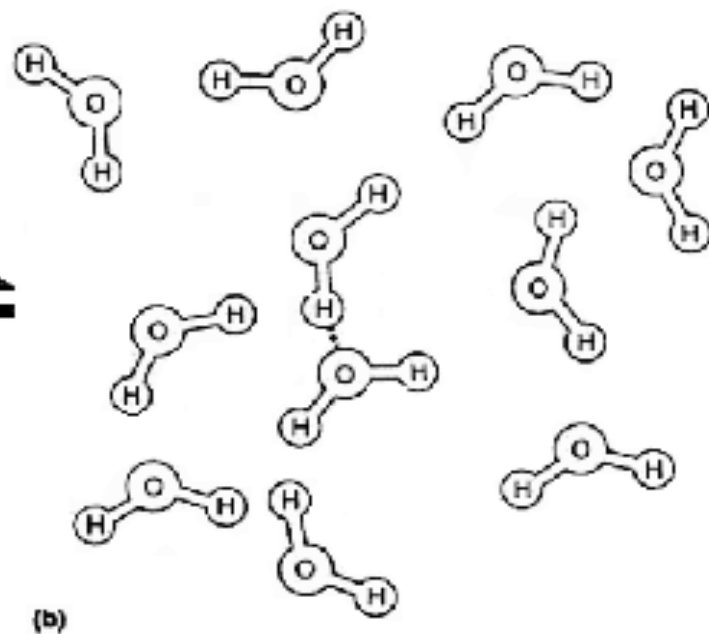
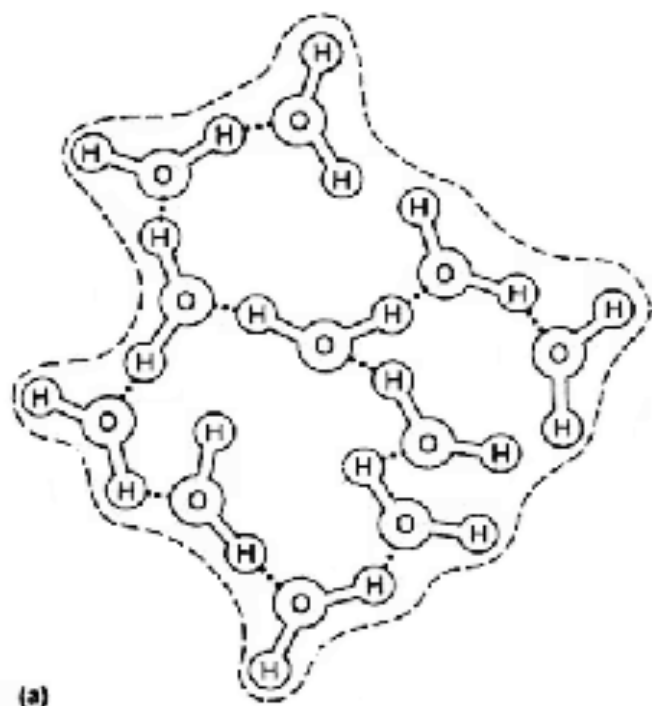
Kladné vodíky jsou elektrostatickými silami vázány ke kyslíkům dalších molekul, a tak vznikají vodíkové vazby s vazebnou energií kolem **20ti kJ mol⁻¹**.

Led je vlastně struktura vody, ve které jsou všechny molekuly k sobě vázány vodíkovými vazbami.

*Energie nutná k oddělení molekuly vody z roztoku a jejímu přechodu do plynné fáze se nazývá **výparným teplem**.*

Hodnota tohoto tepla je nejvyšší pro všechna známá rozpouštědla. **Při 20 °C výpar gramu VODY VYŽADUJE ENERGII 2.45 kJ.** To znamená, že vaporace vody má důsledek ve ztrátě tepla a v efektivní disipaci tepla dodaného rostlině zářivou radiací Slunce

Princip vodíkové vazby



Kapilarita

Mezimolekulární síly vody jsou příčinou **koheze**.

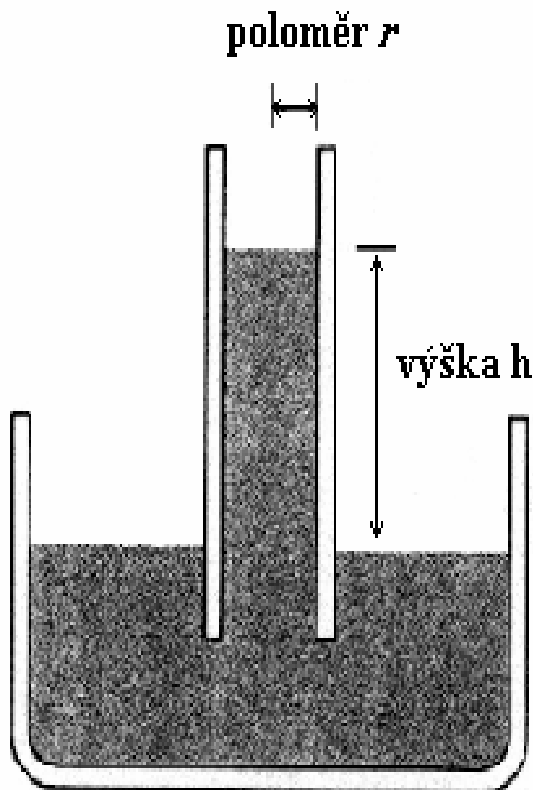
Reakce mezi roztokem a pevnou fází stěn kapilár se nazývají **adheze**.

Stěny vodivých elementů rostliny jsou tvořeny hlavně celulórou, která se vyznačuje velice vhodnou smáčivostí.

Je-li kapilára o malém poloměru vnořena do roztoku vody, tak v důsledku kohezních sil vniká do kapiláry vodní sloupec.

Kapilární elevace vodního sloupce. Ten má samozřejmě v důsledku gravitace tendenci z kapiláry odtéct. Je vidět pokles hladiny konce vodního sloupce v kapiláře. V důsledku dobré smáčivosti celulózních stěn a silné adheze vody k těmto stěnám jsou kraje tohoto sloupce vyzdviženy. Vzniká typický **meniskus**

Schéma kapilarity



$$\text{UNÁŠECÍ SÍLY} = \text{povrchový meniskus} \times \text{povrchová tense} \\ = 2\pi r \times 0,0728 \text{ Nm}^{-1}$$

$$\text{SÍLY PŮSOBÍCÍ SMĚREM DOLŮ} = \text{výška} \times \text{plocha} \times \text{hustota} \times \text{gravitační zrychlení} \\ = h \times 2\pi r^2 \times 998 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3} \times 9,8 \text{ ms}^{-2}$$

při rovnováze: UNÁŠECÍ SÍLY = SÍLY PŮSOBÍCÍ SMĚREM DOLŮ

$$\text{řešení pro výšku: } h = \frac{1,49 \times 10^{-5} \text{ m}^2}{r \text{ (v metrech)}}$$

příklady: poloměr kapiláry (μm)	výška elevace (m)
1	1,49
10	0,149
100	0,0149
1000	0,00149
typická céva ($75\mu\text{m}$)	0,02

Výška sloupce vody v kapiláře

Výšku vodního sloupce v kapiláře označme jako h a kontaktní úhel, který vznikl mezi meniskem a stěnou α

Velikost α závisí na poměru mezi silami adheze a koheze:
adheze = $(1 + \cos \alpha/2)$ koheze

Při úvaze o velikosti kapilární elevace se musí brát v úvahu balance dvou sil:
1/ *tendence gravitace směrem dolů*
2/ *povrchové napětí menisku vedoucí k silám směrem vzhůru v kapilár*

Výška vodního sloupce pak je:

$$h = \frac{2 \sigma \cos \alpha}{\rho r g},$$

kde σ je povrchové napětí, ρ hustota roztoku, r poloměr kapiláry a g je gravitační zrychlení

Výška vzestupu vodního sloupce v kapiláře tedy závisí především na poloměru kapiláry!!!

V praktické situaci kapilár vodivého systému rostlin, je kontaktní úhel menisku blízký nule a jeho cosinus je roven jedné. Hustota vody při 20 °C je 998 kg m⁻³. Povrchové napětí vody pro tuto teplotu činí 0.0728 N m⁻¹. Vzestup vody v kapiláře lze zjednodušeně vyjádřit jako:

$$h = 1.49 \times 10^{-5} \text{ m}^2/r$$

Uvažujeme-li r pro **xylémové cévy 20 μm**, pak vzestup vodního sloupce v cévě způsobený kapilární elevací činí **0.75m**. To stačí po dosažení vhodné transportní výšky u bylin.

U dřevin pro dosažení výšky např. 30ti metrů potřebujeme poloměr cévice 0.5 μm, aby bylo možné pouze na základě kapilární elevace dosáhnout této výšky. Takovéto poloměry cév však nejsou reálné. To znamená, že kapilární elevace nemůže být hlavní příčinou vzestupu vodního sloupce v odivého systému do požadovaných výšek. Mimoto vodivé elementy rostlin nejsou na konci otevřeny volnému prostoru jako je tomu u klasického pokusu s kapilárou.

Buněčné stěny buněk tvořících vodivý systém jsou protkány sítí **malých kanálků**. Jsou to prostory vzniklé v celulózové matrix mezi jednotlivými vlákny. Tyto kanálky mají poloměr okolo **5-10nm!** Mohou tedy zvednout vodní sloupec až do **výšky 3 kilometrů**, což přesahuje potřeby jakékoliv rostliny. Buněčná stěna tedy funguje jako velice **efektivní knot**, který způsobuje značný vzestup vody.

ELEKTRICKÉ VLASTNOSTI VODY

Extrémně vysoká hodnota dielektrické konstanty vody je další významnou fyzikální vlastností. Vysoká dielektrická konstanta roztoku totiž značně snižuje hodnoty elektrických sil mezi nabitými rozpuštěnými látkami. To umožňuje vyšší koncentraci iontů v roztoku a je to velice výhodné pro transport a akumulaci nabitých částic v buňce

Energetické vazby mezi vodou a nepolárními molekulami jsou slabé v porovnání se silami vodíkových vazeb.

To znamená, že nepolární látky se tedy ve vodě moc *dobře nerozpouštějí*.

Ve vodném prostředí mohou látky jako jsou proteiny, fosfolipidy, tedy látky, které jsou jak nepolární, tak mají polární oblasti svých molekul, agregovat a tvořit micely. V micelách jsou nepolární oblasti v centru a nabitě části jsou vně a reagují s vodou.

PODMÍNKY POHYBU VODY V ROSTLINĚ

rostliny - přemostění vodních potenciálů
mezi půdou a atmosférou

Chemický potenciál

Pro popis energetického stavu jakéhokoliv chemického systému
je zaveden pojem **chemický potenciál**

Chemický potenciál je dán vztahem:

$$\mu_j = \mu_0 + R.T.\ln a_j + p.V_j + F.E.z_j + g.h.m_j$$

μ_0 - standardní potenciál,

$R.T.\ln a_j$ - koncentrační člen, kde R je plynová konstanta. $8.134 \text{ J.mol}^{-1}\text{K}^{-1}$,

$p.V_j$ - tlakový člen,

$F.E.z_j$ - elektrický člen, kde F je Farradayova konstanta. $9.648 \text{ } 10^4 \text{ C.mol}^{-1}$,

$g.h.m_j$ - gravitační člen

Vodní potenciál

Speciální situace chemického potenciálu nastává u vody, která je složena z elektricky neutrálních molekul. To znamená, že ve výrazu pro potenciál **chybí elektrický člen**.

Ve vodě rozpuštěné částičky se nazývají osmotikem a jejich efektivní koncentrace se nazývá osmolalitou.

Základem pro pohyb vody jsou pouze a jen rozdíly v hodnotě vodního potenciálu

Vzhledem k tomu, že u rostlin nejsou známy jakékoli **aktivní vodní pumpy**, musí existovat mechanismus, který je příčinou toku vody do rostliny a pohybu vody v rostlině. Důležitou úlohu zde mají polopropustné biomembrány, které jsou příčinou toho, že všechny složky vodního potenciálu se mohou podílet na pohybu vody

vodní potenciál je dán:

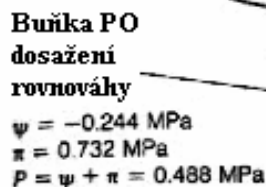
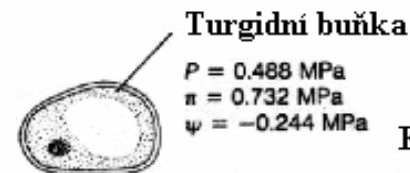
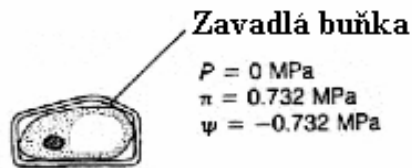
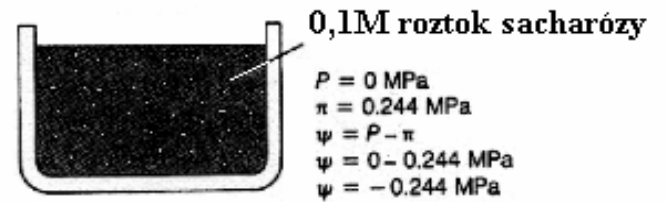
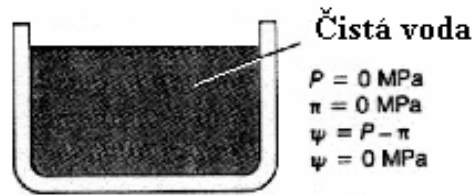
tlakovou složkou neboli turgorem

koncentrační neboli osmotickou složkou

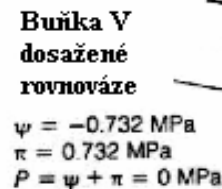
matričním potenciálem.

matriční potenciál je dán tím, že se v buňce, ve stěně a membránách, nacházejí koloidní struktury, které jsou osmoticky aktivní.

Poznámky k vodnímu potenciálu

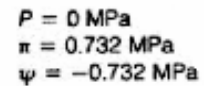


0.1 M Sucrose

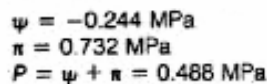


Koncentrace sacharózy roste

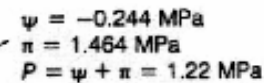
0.3 M Sucrose



Aplikovaný tlak
vytlačuje vodu z buňky



0,1M roztok sacharózy



VODNÍ PROVOZ BUŇKY

voda se v rostlinné buňce **vyskytuje ve více formách**

chemicky vázána v různých složkách protoplazmy

voda hydratační je spojena s ionty a je rozpouštědlem

pro mnohé organické molekuly a makromolekuly. Vyplňuje prostory v buněčné stěně. Je ukládána do zásoby ve vakuolách. V neposlední řadě voda slouží jako transportní médium mezi buňkami.

Hydratační voda tvoří asi 5-10% obsahu vody v buňkách, ale je nezbytně důležitá pro život buňky. Jakkoliv malé změny v obsahu hydratační vody jsou spojeny s dalekosáhlými změnami protoplazmatické struktury. Značná část této vody je vázána v buněčné stěně, kde je vázána kapilárními silami. V buněčných stěnách je voda držena silou 15-150 barů v závislosti na hustotě, s kterou jsou celulózové fibrily stěny k sobě shromážděny. *Povrchové síly zadržující* vodu ke strukturálním elementům buněčné stěny, plazmatických koloidů jsou vyjadřovány **termínem matriční potenciál**.



Objemový tok

Druhý typ transportu - *objemový tok* je přenosem skupin molekul v závislosti na gradientu tlaku. Tento transport vyjadřuje Poiseuilova rovnice:

$$J_m = \frac{pr^4}{8h} \frac{DP}{Dx},$$

kde h je viskozita roztoku.

Objemový tok, je hlavním typem transportu na dlouhé vzdálenosti



PŘÍJEM VODY ROSTLINAMI

Transpirace, tedy výdej vody rostlinami, příjem vody a její vedení v rostlině z kořenů k listům jsou spojené procesy tvořící vodní bilanci rostliny. Vodní deficit vzduchu (saturační obsah vody pro danou teplotu minus aktuální obsah vody) je hlavní silou pro evaporaci.

Rostliny umí absorbovat vodu svým povrchem, ale hlavní část vody přichází z půdy

Obsah vody v půdě, která je vodou saturována po průchodu vody gravitační se nazývá polní kapacita.

Hlavní část vody, která v půdě zůstává po translokaci gravitační vody je voda kapilární. Část vody je vázána na půdní koloidy a může být vázána i osmotickými silami.

Když půda není vodou plně saturována, vodní potenciál půdy se stává více negativní. **Hlavní složkou vodního potenciálu v půdě je potenciál matriční.**

Rostlina získává vodu z půdy jedině tehdy, když vodní potenciál jemných kořenů je více negativní než je potenciál v půdě a v půdním roztoku. Rychlost absorpce vody je rychlejší čím větší je absorpční povrch.

Koncentrace buněčného roztoku uvnitř kořenových buněk je dostatečně silná na to, aby vodní potenciál byl dost negativní vzhledem k situaci v půdě, takže voda teče do kořenů. Polní plodiny dosahují potenciálu hodnot kolem -10-20 barů, lesní dřeviny asi -30 barů.

CESTA VODY K ROSTLINĚ

Uvnitř rostliny se voda pohybuje podél gradientu vodního potenciálu prostřednictvím difúze (transport na krátké vzdálenosti) a prostřednictvím kondukce a objemového toku v xylému (transport na dlouhé vzdálenosti).

Rostlina v podstatě přemostuje gradient vodního potenciálu mezi půdou a vzduchem.

Protože listy a stonky jsou vystaveny vodnímu deficitu vzduchu t.j. o nízkém vodním potenciálu, je tento transport z termodynamického hlediska možný.

Tok vody je dán: $J = \Delta Y / \Sigma r$,

kde ΔY je rozdíl potenciálů v systému půda-rostlina-vzduch a Σr , je součet všech transportních odporů.

LOKALIZACE

Okolní vzduch
(relativní vlhkost
vzduchu 50%)

Prostor uvnitř listu

Buněčné stěny
mezofylových buněk

Vakuoly v
mezofylových buňkách

Listový xylem

Kořenový systém v
blízkosti povrchu půdy

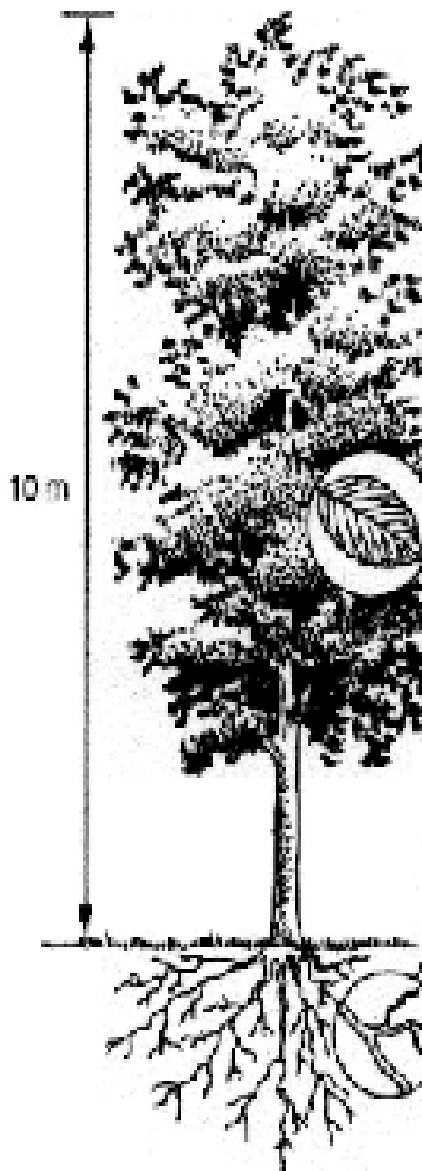
Vakuola v kořenné
buňce

Půda v okolí kořenů

Půda vzdálená od
kořenů

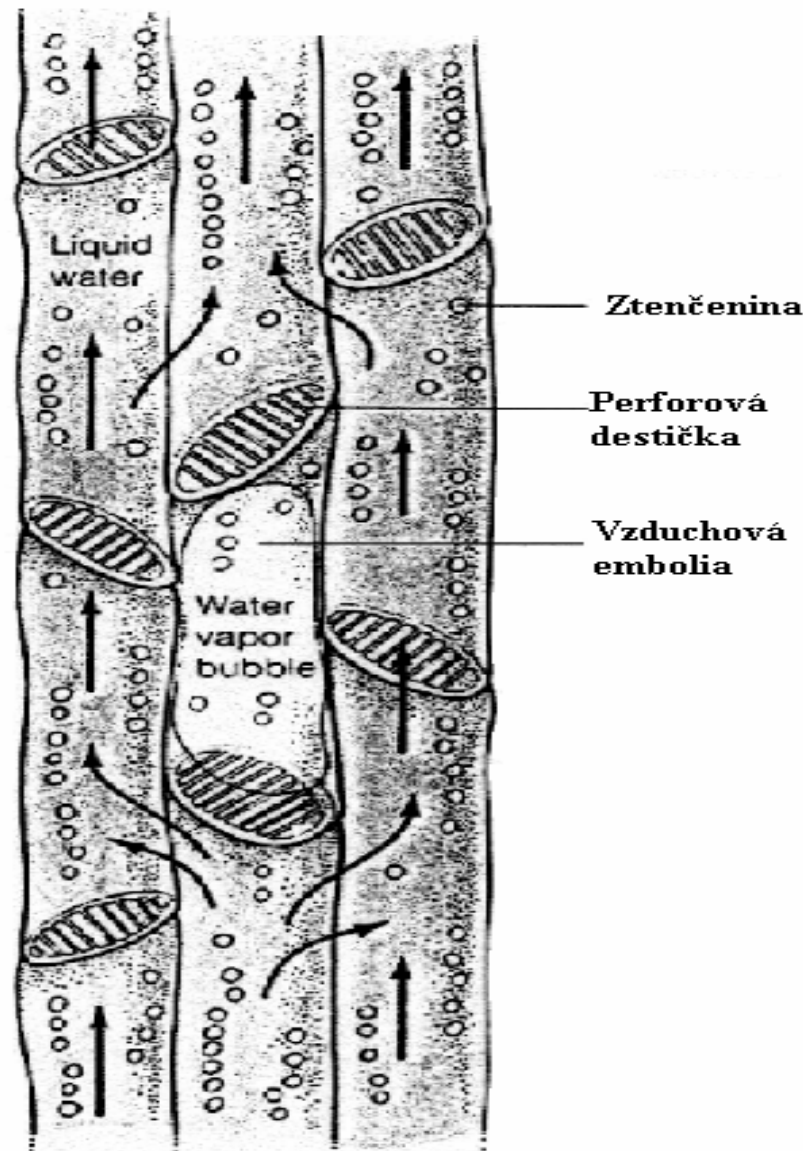
Vodní potenciál a jeho složky (v MPa)

ψ	ρ	$-\pi$	$\rho_w g h$	$\frac{RT}{V_w} \ln(RH)$
<u>-95,1</u>			0,1	-95,2
-0,8			0,1	-0,9
-0,8	-0,7	-0,3	0,1	
-0,8	0,2	-1,1	0,1	
-0,8	-0,8	-0,1	0,1	
-0,6	-0,5	-0,1	0,0	
-0,6	0,5	-1,1	0,0	
-0,5	-0,4	-0,1	0,0	
<u>-0,3</u>	-0,2	-0,1	0,0	



TRANSPORT VODY V ROSTLINĚ

Dálkový transport vody v rostlině vodivými elementy, které mají vše tvořen hlavně kohezními silami mol barů. Víme, že pro kapilární eleva rozměry kapiláry, tedy jejich polo v intervalu 20-200 μ m

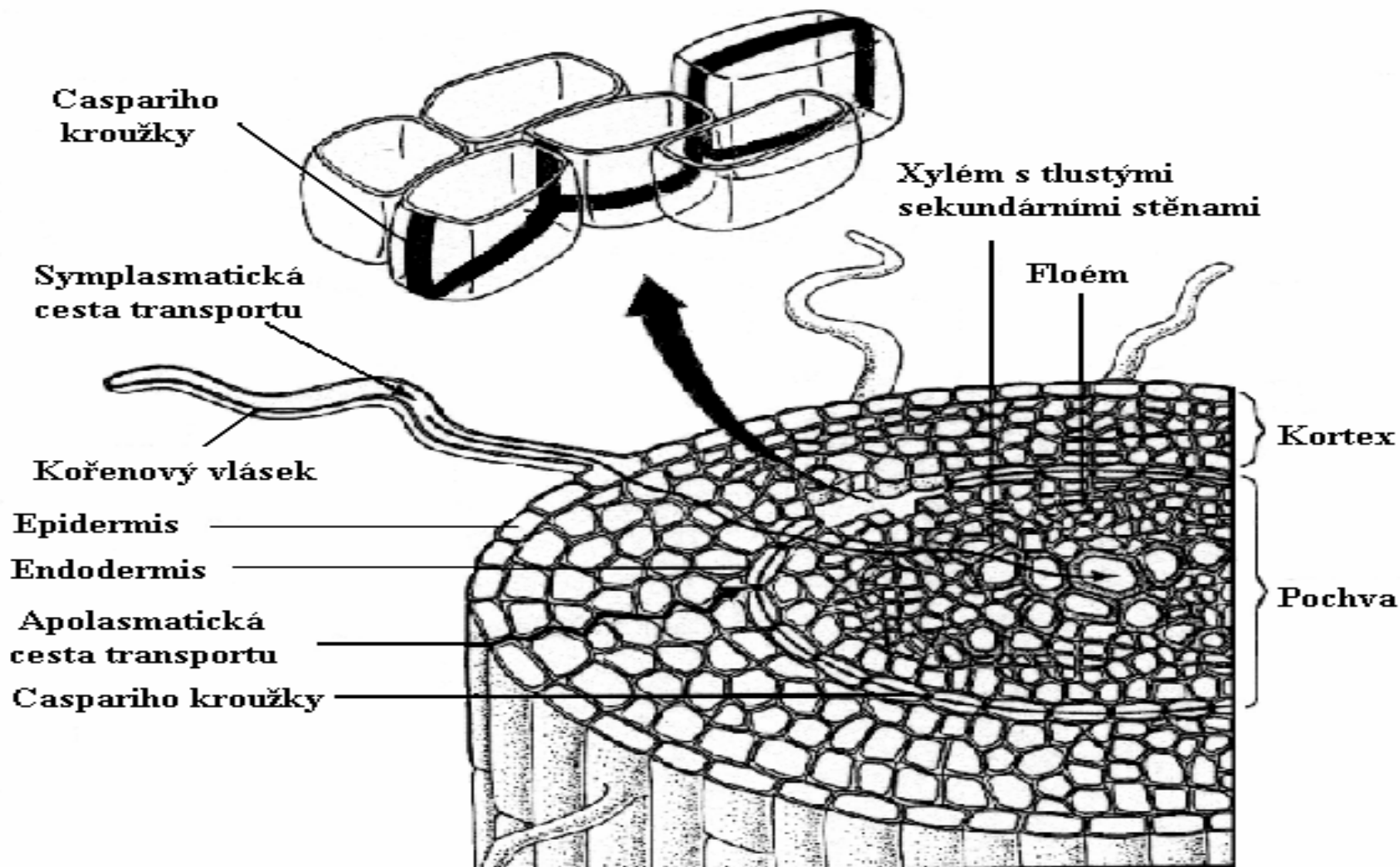


ilil

Transport vody v xylému



Příjem vody kořene. Bariéra Caspariho kroužků je přechodem mezi apolasmatickou a symplastickou cestou.



Výdej vody rostlinami - transpirace

Rychlost transpirace:

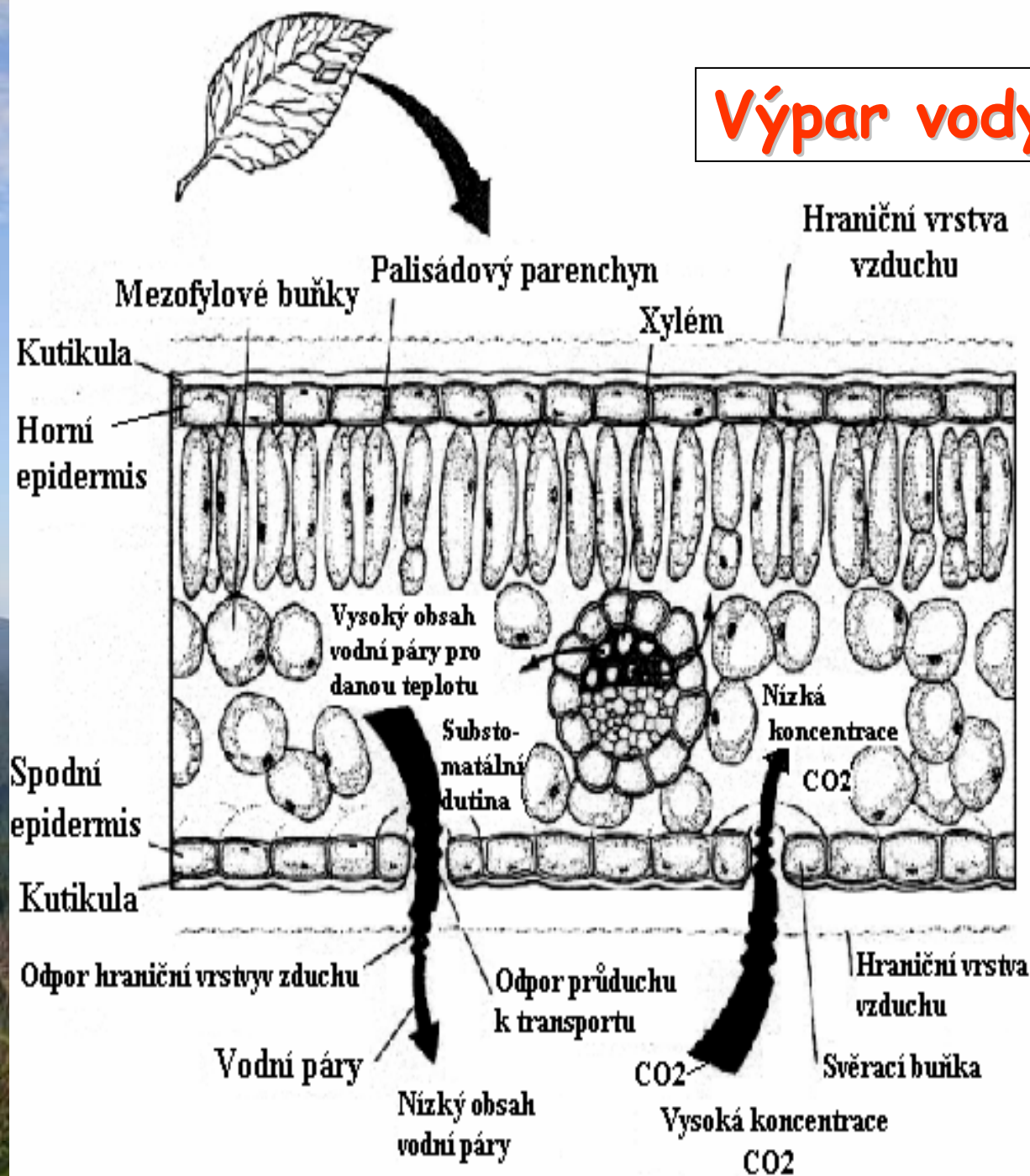
$$E = F/\Delta r \cdot (w_i - w_a)$$

kde F množství listové plochy Δr je suma všech transportních odporů na cestě z listu ven w_i, w_a je množství vodní páry uvnitř a vně listu.

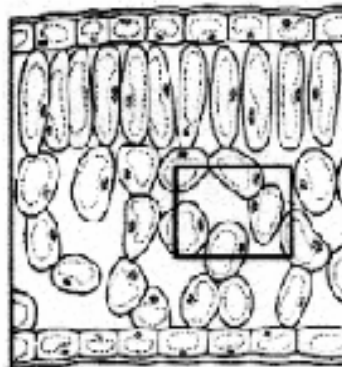
Transport vody, lépe řečeno roztoku vody a v ní rozpuštěných látek, od kořenů k místům výparu v průduchových dutinách v listech je značně ovlivňován sérií filtračních odporů při překonávání jednotlivých buněčných stěn, odporů souvisejících s interakcemi uvnitř vodivých elementů. To jsou síly typu adheze. Rovněž sama viskozita sapu přispívá k těmto odporům.

Suma těchto odporů tvoří celkový hydraulický odpor nebo univerzálně hydraulickou vodivost.

Výpar vody v mezofylu



Detail výparu vody z listu

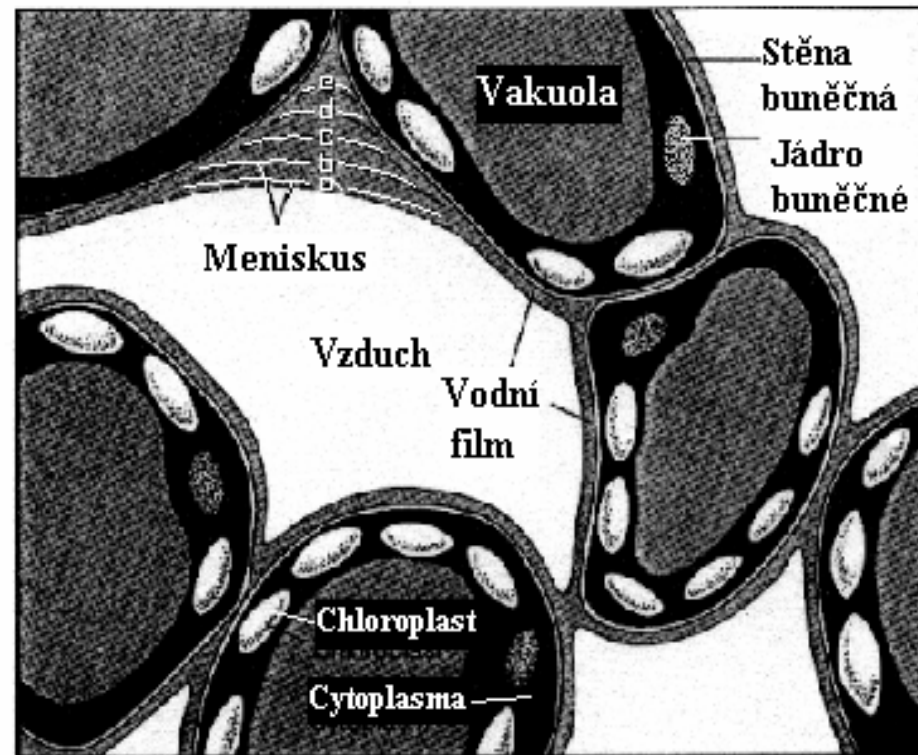


Poloměr
zakřivení

- (a) 5.0
- (b) 0.5
- (c) 0.05
- (c) 0.01
- (e) 0.005

Hydrostatický
tlak (MPa)

- 0.03
- 0.3
- 3
- 15
- 30



Tok vodní páry difundující z povrchu listu při transpiraci

$$J = H_{\text{vap}} D_v (c_i - c_a) / x_{\text{total}}$$

kde H latentní teplo nutné k vaporaci jednotkového množství vody, D difúzní koeficient pro vodní páru, c koncentrace vodní páry uvnitř a vně listu, x odpor k transportu

Efektivnost ztráty tepla výparem vody je značná.

Např. typická hodnota J rovna $4 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ vede k výdeji tepla 180 W m^{-2} . Zbytek tepelné energie je odváděn kondukcí přes hraniční vrstvu a pak konvektivně pryč.

Jak již bylo řečeno, výpar z listu je tím větší čím je větší gradient vodního potenciálu. Toho je dosaženo tím, že evaporizující povrch je nasycen vodou a je teplejší než vzduch v okolí. Silná iradiace slunečními paprsky vede k oteplování listů, a tak vzniká ostřejší gradient v obsahu vody. Toto je základem pro transpiraci v tropických pralesech, kde je obecně obsah vody ve vzduchu značně vysoký a tak jsou podmínky pro vytvoření potenciálového gradientu špatné.

Transpirace za podmínek nelimitovaného dodávání vody se nazývá transpirací potenciální. .

hydrofyta	5.5 mg H ₂ O m ⁻² s ⁻¹
jehličnany	13.8
listnáče slunné	27

Základním místem výparu vody z listu je bezprostřední okolí stomatální dutiny. U cévnatých rostlin je tak hlavní složkou transpirace **stomatální transpirace**.

To je značná výhoda, neboť se jedná o transpiraci jistým způsobem fyziologicky regulovanou.

Mimo této složky se vyskytuje **transpirace kutikulární a peridermální**.

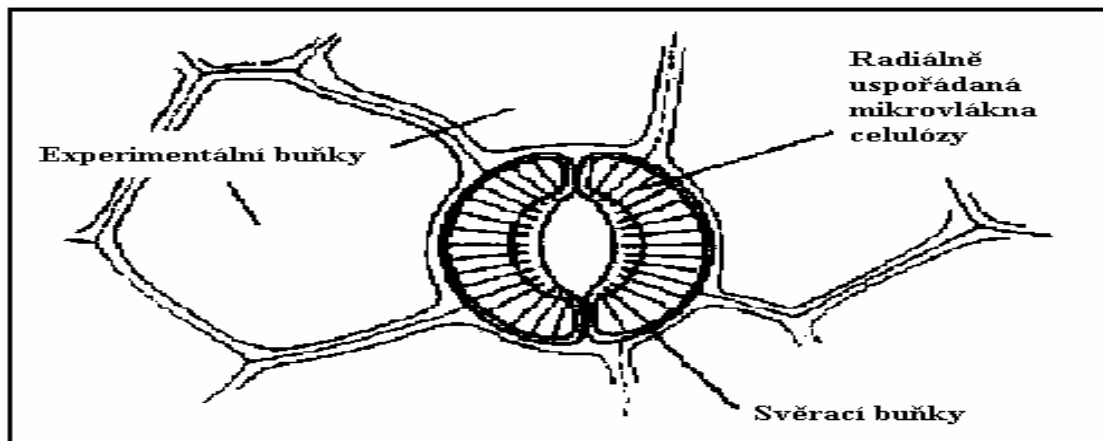
Tyto složky nejsou fyziologicky regulovatelné a jsou v podstatě závislé pouze na příkonu tepelné radiace.

Hodnoty - hraniční vrstva 50 s m^{-1} , stomata $200-1000 \text{ s m}^{-1}$, interceluláry 100 sm^{-1}

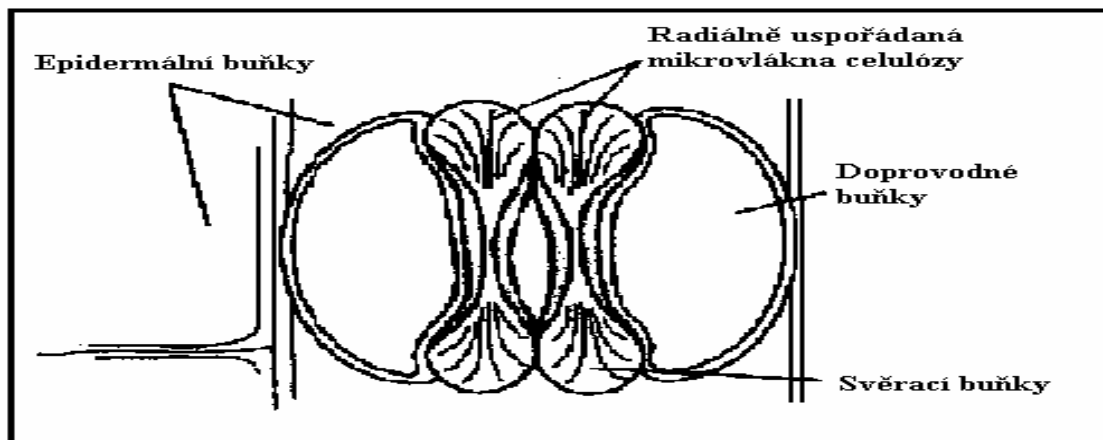
Základním regulačním místem transpirace jsou průduchy. Míra jejich otevřenosti se udává hodnotou odporů průduchů či inverzně hodnotami průduchové vodivosti

Průduchy a jejich typy

a) amarylis



b) gramineae



Regulace průduchové vodivosti v korunovém prostoru lesního porostu

Na rozhraní „porost-přízemní vrstva atmosféry“ vznikají výrazné turbulentní jevy.

Toto intenzivní promíchávání vzduchu spolu s malými rozměry (délkovými či tloušťkovými) listů (jehlic) je příčinou tenké hraniční vrstvy vzduchu při povrchu listoví. Z těchto důvodů jsou listy (jehlice, letorosty) dřevin v porostech **velice silně spřaženy**, ovlivňovány, svázány („coupled“) s atmosférou, která obklopuje listy.

Dokonalé spřažení vede k absolutní výměně výše uvedených složek, t.j. teploty a vlhkosti vzduchu, vodního sytostního deficitu a koncentrace CO_2 mezi povrchem listu a okolní atmosférou. To znamená, že podmínky na povrchu listu jsou naprosto shodné se stavem vzduchu v bezprostředním okolí listu. Tohoto stavu je dosaženo pouze tehdy, je-li list velmi dobře ventilován (vysoká aerodynamická drsnost porostu) a má-li velice tenkou hraniční vrstvu vzduchu na svém povrchu.

Naproti tomu list, který je izolován od proudícího vzduchu, má silnou hraniční vrstvu. Protože teplo a vodní pára jsou neustále dodávány do vzduchu v okolí izolovaného listu a CO_2 je z tohoto vzduchu odebírán procesy fotosyntézy, musí teplota a vlhkost této vzduchové vrstvy stoupat.



Stupeň spřažení je vyjádřen pomocí tzv. „**omega faktoru**“ - Ω

Rychlost transpirace listu (výhonu) E_l je možno vyjádřit:

$$E_l = \frac{[gS \cdot D_l]}{P}$$

D_l je saturační deficit na povrchu listu, P - atmosférický tlak.

Pro list absolutně spřažený s atmosférou v okolí listu je hodnota D_l vzduchu, který obklopuje list **vnucena povrchu listu**. Proto se rychlost transpirace za této situace nazývá

transpirací vnucenou - E_{imp} .

Vynučení je dáno vlastnostmi (D, T, CO_2) okolního vzduchu, se kterým je list spřažen a tenkou hraniční vrstvou listu.

$$E_{Limp.} = \frac{[g_s \cdot D_{limp}]}{P}$$

de D_{limp} je hodnota vnuceného (vnucený vlastnostmi list obklopujícího vzduchu saturačního deficitu.

Naopak u **absolutně izolovaného listu** je rychlost transpirace určena pouze zachytem sluneční radiace. Jedná se o **transpiraci rovnovážnou**

- E_{leq} :

$$E_{leq} = \frac{[I_a \cdot D]}{[e + 2] \cdot D}$$

de D - změna tepla latentního v závislosti na teplotu zjevném L - latentní teplota

vyjádření rychlosti transpirace listu E_l v termínech vnucené $E_{l_{imp}}$ a rovnovážné transpirace $E_{l_{eq}}$ pak je:

$$E_l = [\Omega \cdot E_{l_{eq}}] + \{ [1 - \Omega] / \cdot E_{l_{imp}} \},$$

- tzv. koeficient spřaženosti neboli Omega faktor je bezrozměrné číslo ležící intervalu 0-1.

Hodnota Omega faktoru:

rovna jedné, znamená, že list je absolutně izolovaný. Transpirace listu je v rovnováze pouze s dodanou sluneční radiací a síla regulace stomatální vodivosti je slabší.

rovna nule znamená, že list je absolutně spřažený s okolní atmosférou transpirace listu pak závisí především na D_a okolního vzduchu a vodivosti průduchů.

Omega faktor

[D+1]

$$\Omega = \frac{\text{-----}}{\text{-----}}$$

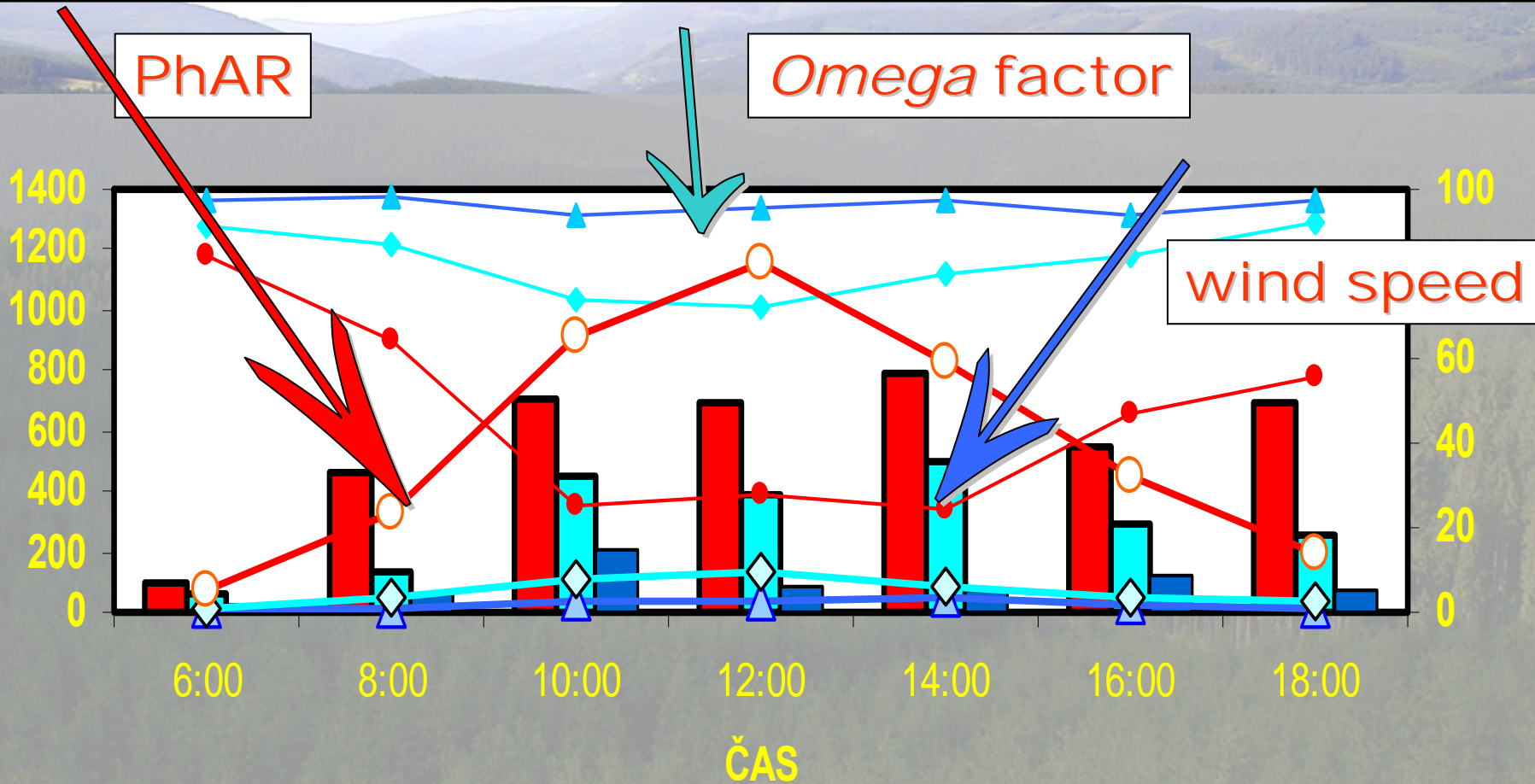
D + 1 + [g_b/g_s]

^b je vodivost hraniční vrstvy vzduchu na povrchu listu.

Hodnoty Omega faktoru jsou silně závislé na rychlosti větru. Omega faktor kolísá v rozmezí od 0.97 (list dubu při rychlosti větru 0.2 m.s⁻¹) až po hodnotu 0.01 (jehlice smrku sitky při rychlosti větru 5.0 m.s.⁻¹).

vedený koncept Omega faktoru vyjadřuje závažné skutečnosti, které souvisejí s regulací transpirace (nebo asimilace CO₂) a podílem stomatální vodivosti na této regulaci ve vertikálním profilu korunové vrstvy. Ve směru k bázi koruny klesá rychlost větru a listy jsou tudíž méně spřažené s okolní atmosférou, Transpirace a fotosyntéza jehlic spodních korunových zón je tedy řízena naprosto jiným mechanismem než transpirace a fotosyntéza svrchní korunové zóny.

Hodnoty rychlosti větru, FAR a Omega faktoru ve třech korunových zónách Sm porostu



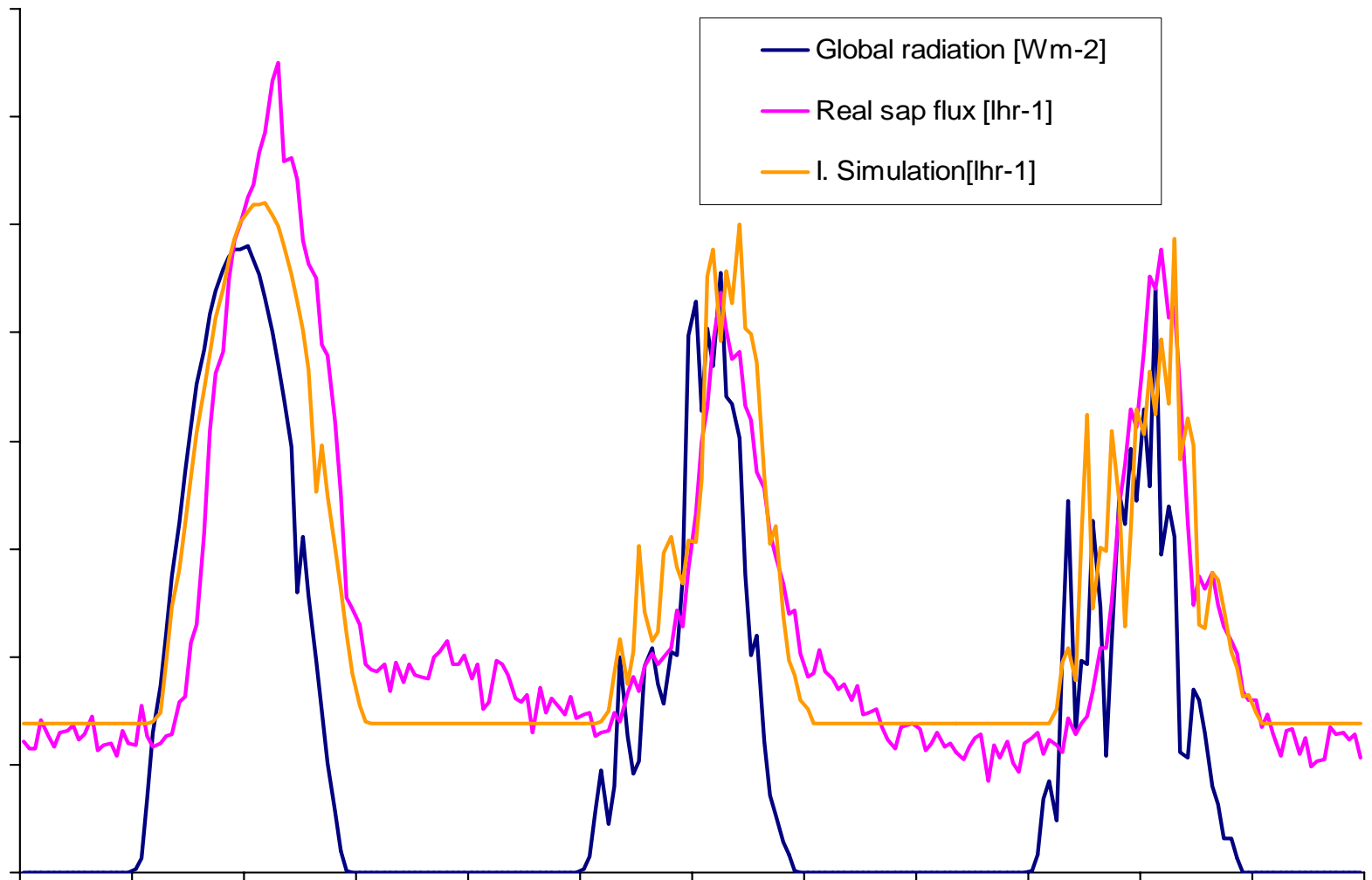
Kontinuální měření toku vody (metoda tepelných pulsů)



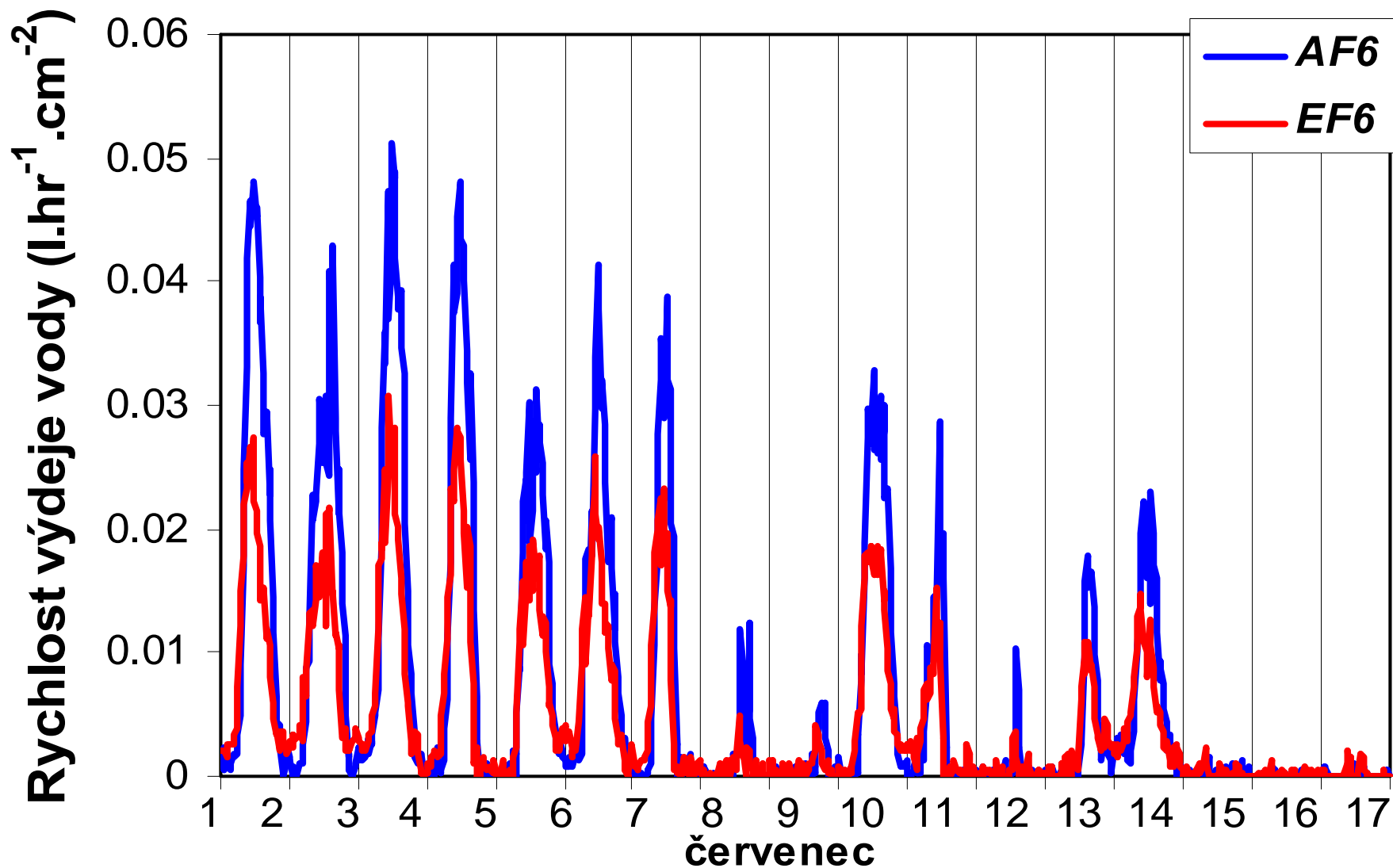
Sonda

Ústředna pro sběr dat

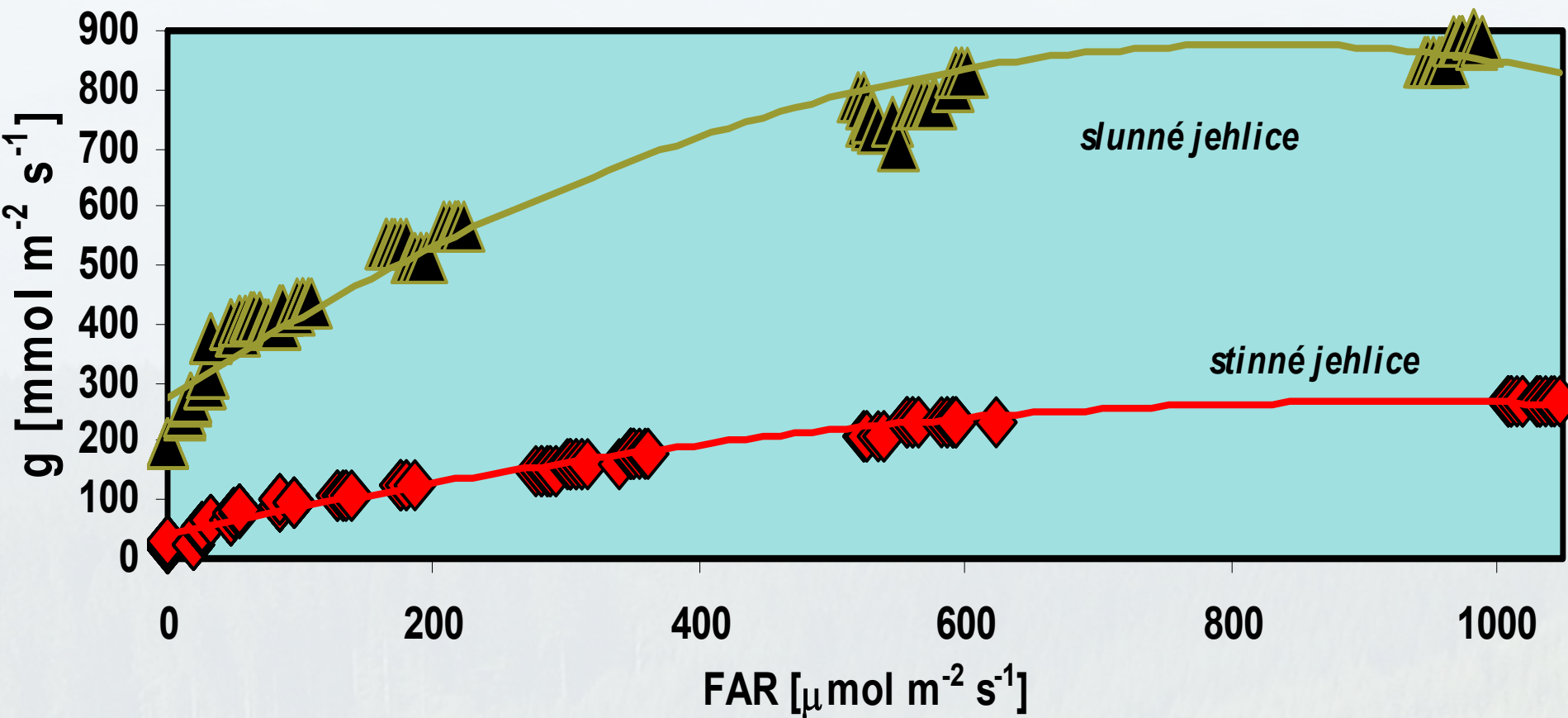
Denní chod transpiračního toku



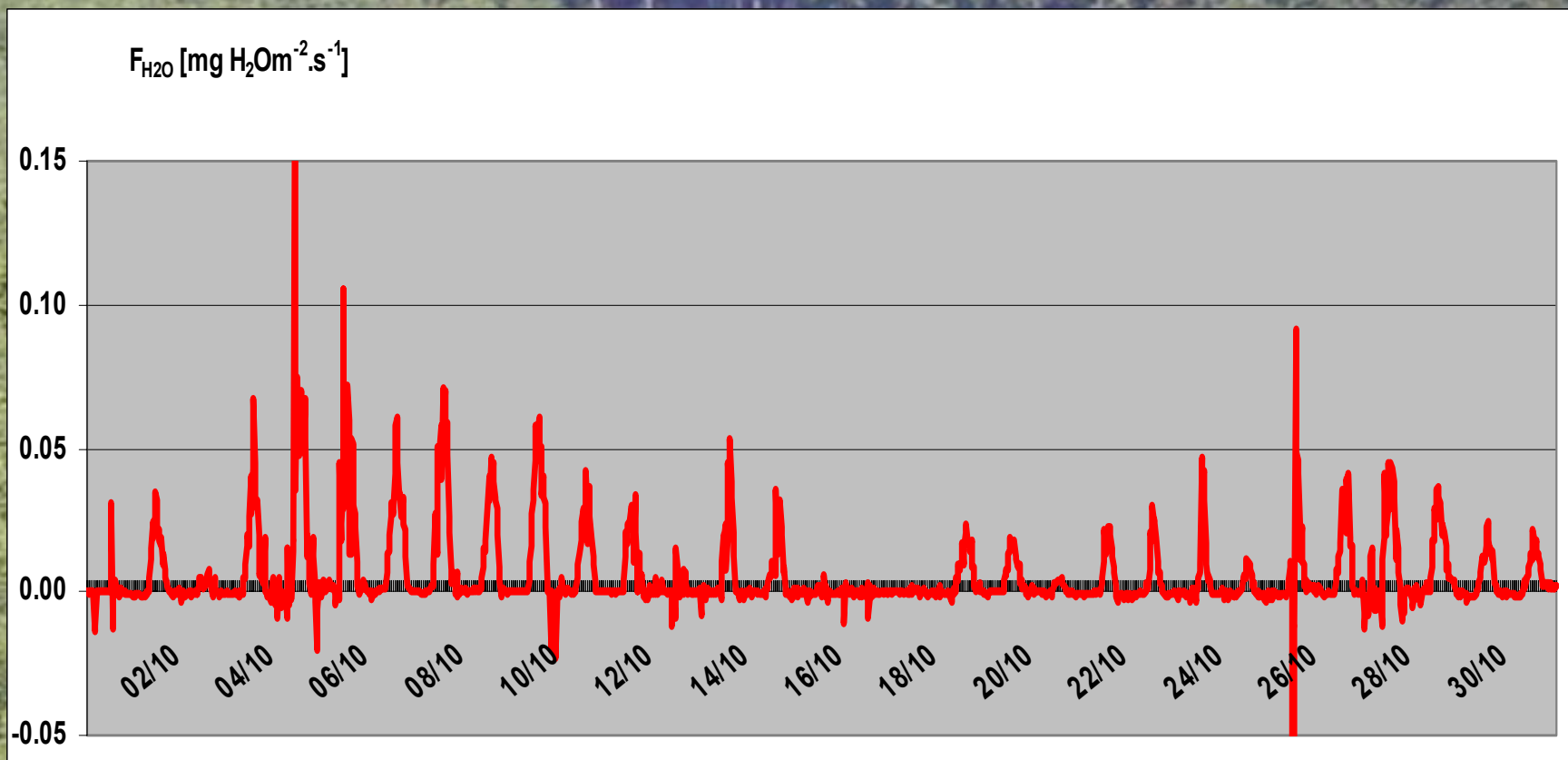
Rychlost výdeje vody u *SM* ve dvou kultivačních koncentracích CO_2



Hodnoty průduchové vodivosti u slunných a stinných smrkových jehlic



Výdej vody ze smrkového porostu stanovený technikou eddy-covariance



*A to pro dnešek konec,
moji drazí*

