

# Vegetační (porostové) mikroklima

## Působení meteorologických prvků na vegetaci

### A) Sluneční záření

- při průchodu atmosférou:  
zeslabení, rozptyl, refrakce

Druhy slunečního záření podle vlnové délky:

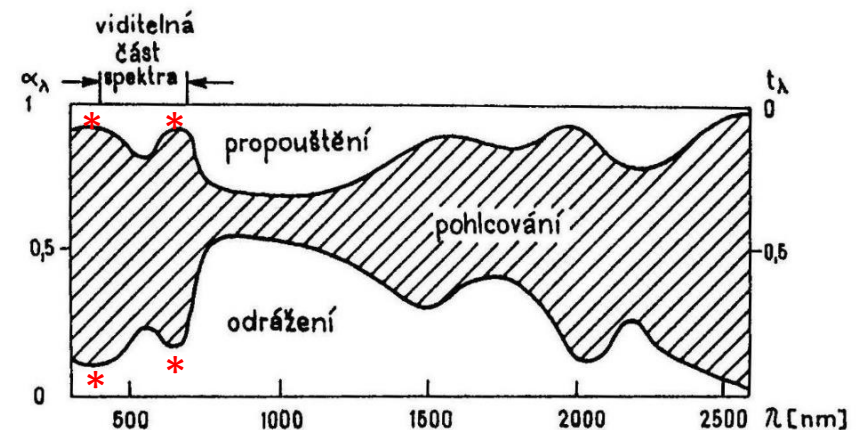
Záření	$\lambda$ (nm)
Ultrafialové (UV)	
UV-C	< 280
UV-B	280-315
UV-A	315-400
Viditelné (VIS)	400-700
Infračervené (IR)	> 700

Biologické vlivy radiace:

- Biosyntetické
- Vlivy na látkovou přeměnu
- Dráždivé vlivy

Fotosynteticky aktivní radiace (**FAR**)\*

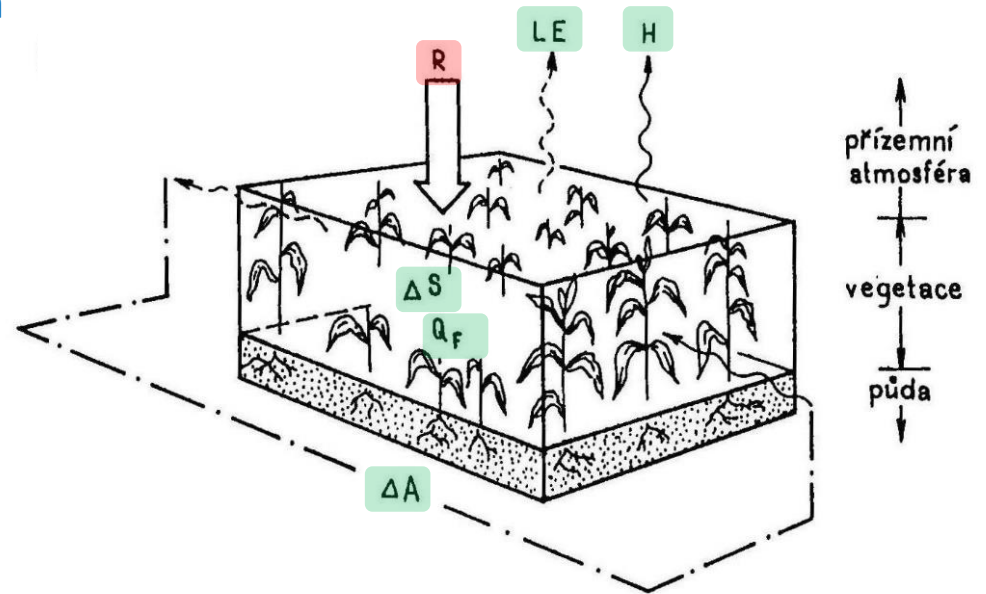
→ VIS (fialová, modrá, žlutá  
oranžová, červená část spektra)



## B) Energetická a radiační bilance rostlin

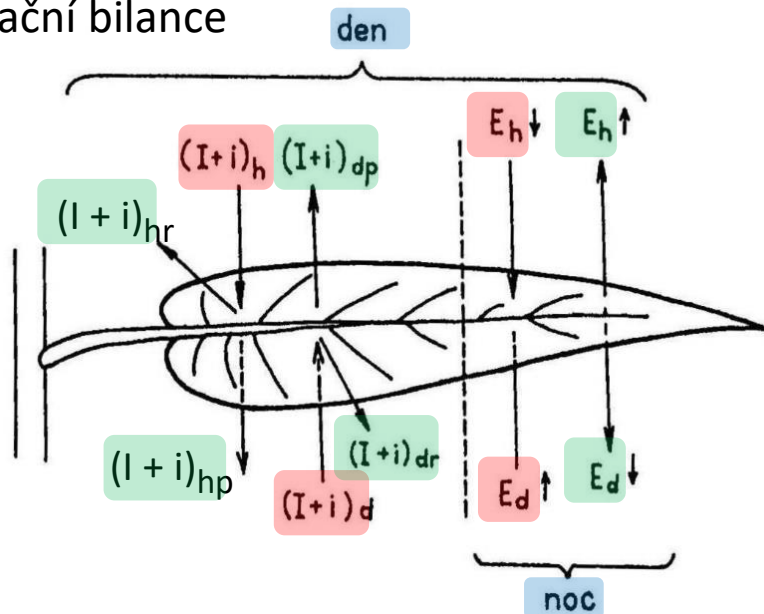
Energetická bilance

$$R = H + LE + \Delta S + Q_F (+ \Delta A)$$

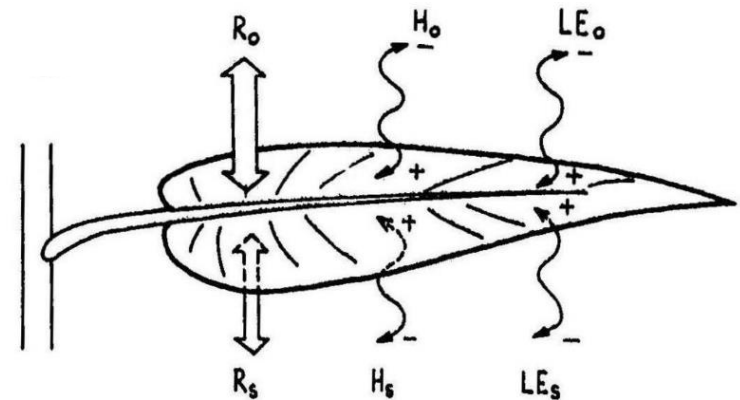


### Akumulace energie v listu

Radiační bilance



Energetická bilance



## C) Výměna CO<sub>2</sub>, vody a energie

- Fotosyntéza**

$$6 \text{ CO}_2 + 12 \text{ H}_2\text{O} \xrightarrow{\text{FAR}} (\text{CH}_2\text{O})_6 + 6 \text{ O}_2 + 6 \text{ H}_2\text{O}$$

glycid
- Respirace (dýchání)**
  - probíhá souběžně s fotosyntézou
  - uvolňování energie

### Růst biomasy:

- CO<sub>2</sub> spotřebované při fotosyntéze (F) > CO<sub>2</sub> uvolněné při respiraci (R)

Intenzita fotosyntézy

$$\Delta F = F - R \quad [\text{kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}]$$

Energie spotřebovaná při tvorbě biomasy

$$Q_F = \Delta F \cdot \varphi \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-2}]$$

ϕ - energie asimilace uhlíku

Travniny	ΔF [g.h <sup>-1</sup> .m <sup>-2</sup> ]	Q <sub>F</sub> [W.m <sup>-2</sup> ]
den	2 - 5	6 - 16
noc	-1	-3

Mezi atmosférou a rostlinami se uskutečňuje výměna:

- energie
- vodní páry
- CO<sub>2</sub>

$$\text{tok} = \frac{\text{spád koncentrace v prostoru transportu}}{\text{odpor prostředí vůči přenosu určité látky}}$$

### Odpor prostředí (r)

a) zářivá energie

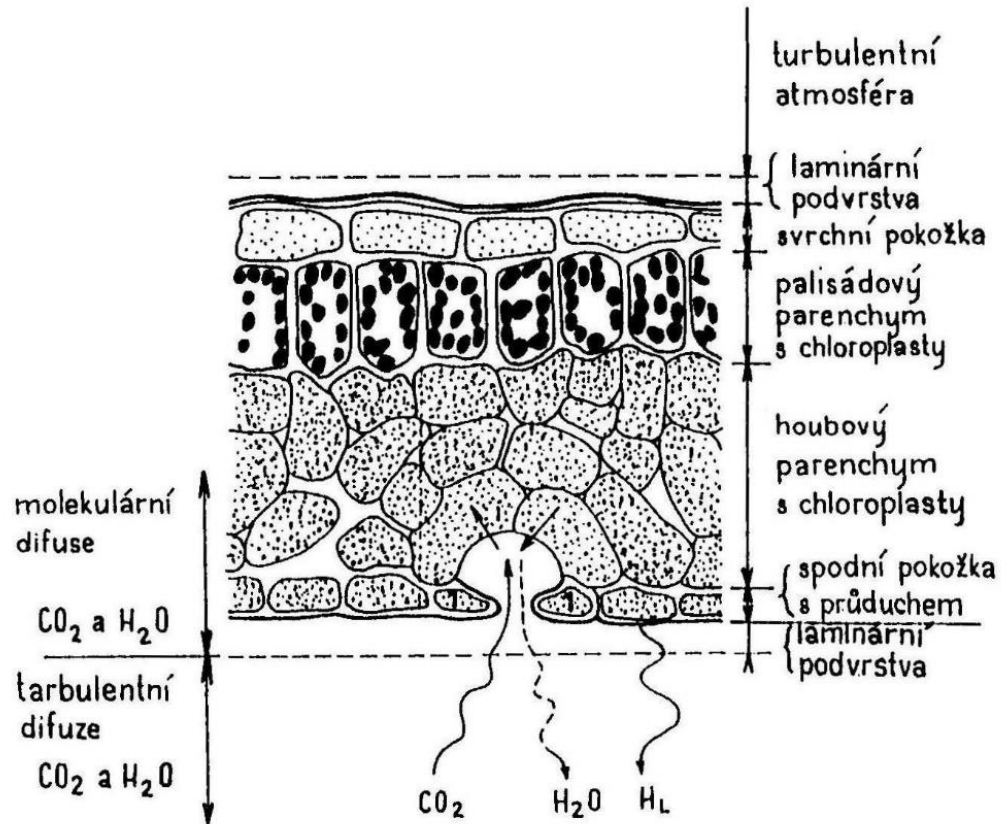
$$r = r_l + r_t$$

b) difuze vodní páry

$$r = r_l + r_t + r_p$$

c) difuze CO<sub>2</sub>

$$r = r_l + r_t + r_p + r_b$$



## D) Půdní substrát – teplota půdy

Přenos tepla v půdním substrátu – **molekulární vedení**

Tok tepla do substrátu:

$$G = A \cdot \frac{dT}{dz} \quad (\text{W.m}^{-2})$$

A – koef. tepelné vodivosti ( $\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ )

G – závisí na množství zářivé energie  
(denní/roční chod)

Koef. tepelné vodivosti A ( $\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ )	
anorganická půda	2,93-8,79
organická půda (humus)	$2,50 \cdot 10^{-1}$
voda (10°C)	$5,86 \cdot 10^{-1}$
vzduch	$2,50 \cdot 10^{-2}$
led (0°C)	2,18
sníh (-10°C)	$6,28 \cdot 10^{-1}$

### Změna G v čase

Tok tepla na povrchu půdy:

$$G_0 = \sum_1^n C_i \cdot \frac{dT}{dt} \cdot dz \quad \longrightarrow \quad \text{integrace vztahu}$$

C – objemová tepelná kapacita ( $\text{J.m}^{-3}.\text{K}^{-1}$ )

Objemová tepelná kapacita C ( $\text{J.m}^{-3}.\text{K}^{-1}$ )	
anorganická půda	$2,01 \cdot 10^6$
organická půda	$2,51 \cdot 10^6$
voda (4°C)	$4,19 \cdot 10^6$
led (0°C)	$1,93 \cdot 10^6$
vzduch (20°C)	$1,26 \cdot 10^3$

Určení **celkové obj. tepel. kapacity C** pro libovolnou půdu:

$$C = V_m C_m + V_o C_o + V_v C_v + (V_a C_a)$$

m – minerální složka

o – organická složka

v – voda

a – vzduch

(V<sub>x</sub> – dílčí objemy)

**Skupenství vody** v substrátě:

1. C ledu je v porovnání s vodou asi poloviční
2. A ledu je asi 4x větší než u vody
3. Při mrznutí se uvolňuje LE  $\Rightarrow$  zpomaluje teplotní pokles
4. Opakované mrznutí a tání  $\Rightarrow$  změna půdní struktury

$\longrightarrow$  vliv na tvorbu horizontálních srážek!

**Fourierovy zákony**

Vliv vegetace na půdu – snižuje en. bilanci půdy a extremitu denního/ročního chodu teploty

Vliv půdy na vegetaci – příjem vody rostlinami, transpirace

## E) Teplota vzduchu

- Teplotní optimum
- Td prům.  $\sim 5\text{ °C}$  – **biologické teplotní minimum**
- Td prům.  $> 5\text{ °C}$  – **aktivní teplota**
- **Suma aktivních teplot** (suma prům. denních teplot nad biol. tepl. minimem)
- **Efektivní teplota** (Td prům. – biol. tepl. min.), **suma efektivních teplot**
- Teplotní suma  $\rightarrow$  VTK (vegetační termická konstanta)

Vegetace je ohrožena **extrémními teplotami**, záleží na:


- velikosti poklesu teploty
- rychlosti teplotní změny

**Vertikální rozdělení teploty vzduchu** ve vegetačním krytu je podmíněno

- druhový složením
- hustotou zápoje
- parametry rostlinného krytu

Vegetační kryt – **zmenšení výraznosti vertikální teplotní stratifikace**

~~aktivní povrch~~ X **aktivní vrstva**



## F) Atmosférické srážky

- zásoby vody v rostlinách pro **fotosyntézu** a **transport živin**
- **intercepce srážek** – distribuce vody v nadzemní části rostlin

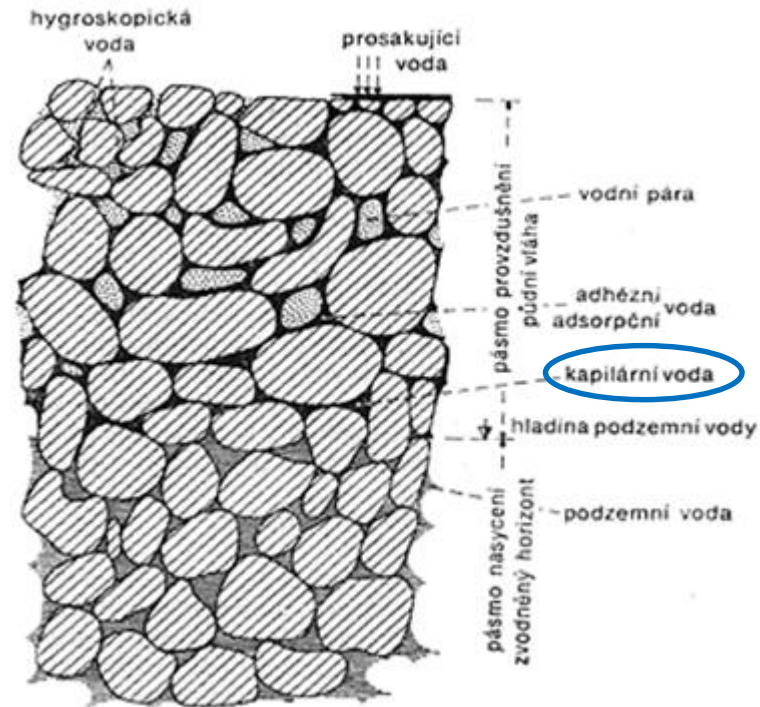
## G) Voda v substrátu

### Podpvrchová voda (PPV)

- juvenilní
- vadózní - kondenzační  
- infiltrační
- podzemní voda (saturace)
- půdní vláha (aerace)

### Využitelnost PPV rostlinami

- fyziologicky přístupná
- fyziologicky nepřístupná = mrtvá



nejdůležitější  
pro rostliny

**Pro rostliny je důležité provzdušnění substrátu!**



## Optimální vlhkostní podmínky v půdě pro rostliny

- pórovitost půdy 20–40 % (60–80 % voda)
  - > 80 % – suchá půda
  - < 20–40 % – zamokřená půda

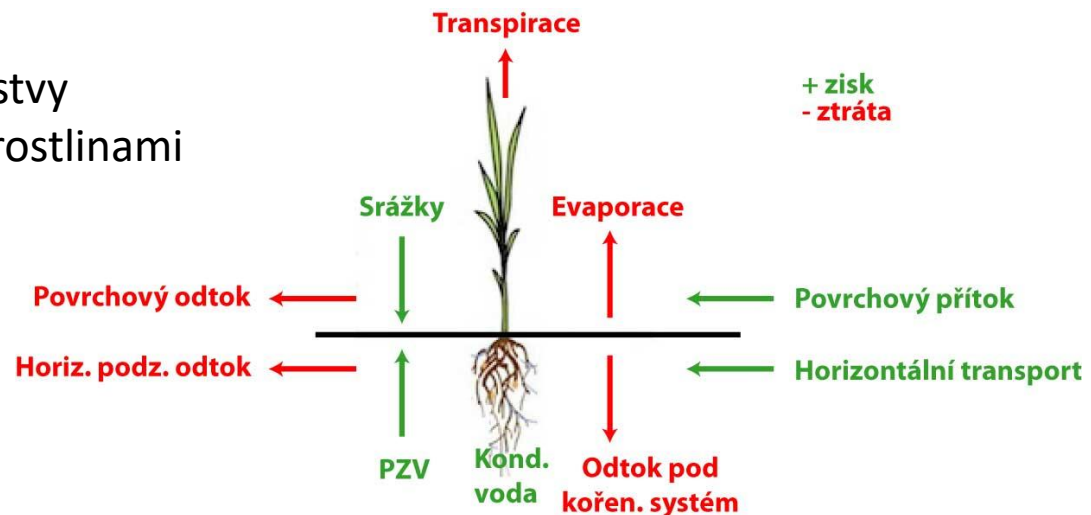
## Fyzikální podstata zisku vody kořeny rostlin

molární koncentrace půdní vláhy – molární koncentrace vody v kořenech

➔ kořenový vztlak (500–1000 hPa, u dřevin až 2000 hPa)

Při odčerpání vody – **fyzilogický deficit vody v rostlinách** → vadnutí

**Vodní bilance** půdní vrstvy  
do hloubky využitelné rostlinami



## H) Vlhkost vzduchu a výpar

- Bioklimatologický význam vodní páry:**
- faktor koloběhu vody v přírodě
  - skleníkový plyn
  - člen energetické bilance

**Výpar** - změna kapalného/pevného skupenství na plynné (spotřeba energie)  
- opačný proces - kondenzace (uvolňování energie)

### Faktory ovlivňující výpar

1. **meteorologické** (teplota vypařujícího se povrchu, vlhkost vzduchu a vítr)

Rychlost výparu – Daltonův zákon

$$v = k \cdot \frac{E_p(T_0) - e(T_a)}{p} \quad (\text{g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})$$

$E_p$  – tlak nasycené vodní páry při teplotě  $T_0$   
vypařujícího povrchu (hPa)

$e$  – tlak vodní páry nad vypařujícím povrchem ve  
vzduchu o teplotě  $T_a$  (hPa)

$p$  – atmosférický tlak vzduchu (hPa),

$k$  – difúzní součinitel (konstanta,  $10^{-6}$  ve výšce 2 m)

2. **typ aktivního povrchu** (půda, led, sníh, voda, vegetace), jeho barva, vlhkost, stáří vegetace apod.

**Charakteristiky výparu**

1. **množství** (mm/čas)
2. **intenzita** (mm/čas)

## 1. Evaporace

- fyzikální výpar z neživých povrchů nebo povrchu rostlin, kdy voda nebyla součástí rostlinných buněk (vázána na intercepci)

**Výpar z půdy** – podle hodnot půdních hydrolimitů:

- **polní vodní kapacita** - maximální množství vody, kterou je půda po zavlažení schopna udržet vlastními vnitřními silami v téměř rovnovážném stavu po odtečení gravitační vody
- **plná (maximální) vodní kapacita** - hodnota půdní vlhkosti při úplném nasycení všech půdních pórů vodou
- **bod vadnutí** - stav půdní vlhkosti, kdy rostliny svojí sací silou nestačí překonat síly, kterými je půdní voda poutána, a vadnou
- **hygroskopicitá** - schopnost půdy pohlcovat a udržovat vlhkost

**Výpar z ledu a sněhu**

## 2. Transpirace

- fyziologický výpar, kdy voda z rostlin přechází do atmosféry (byla součástí rostlinných buněk)

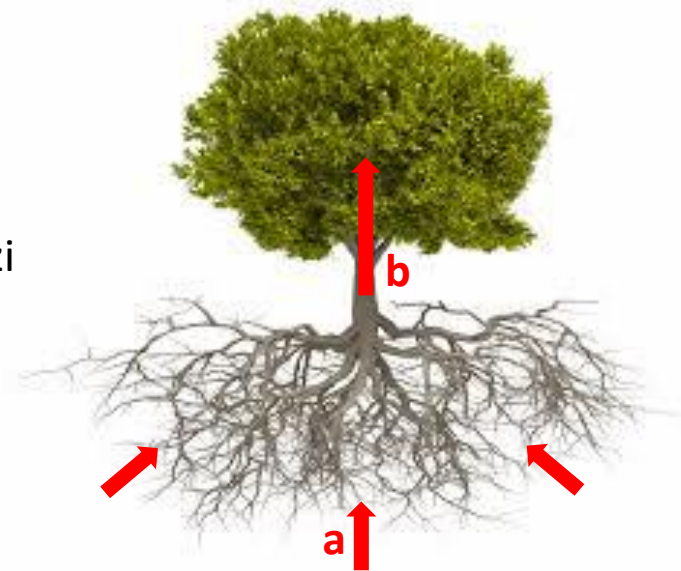
Transpirace je ovlivňována 2 skupinami faktorů:

- 1) **vnější** – půda, atmo.
- 2) **vnitřní** – anatomická stavba rostlin, fyziol. procesy

Porost	Hmotnost listů ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ )	Transpirace ( $\text{mm}\cdot\text{den}^{-1}$ )
bříza	4940	4,7
buk	7900	3,8
modřín	13900	4,7
jedle	21000	4,3
borovice	12550	2,4

Proces transpirace: roste spád vodního potenciálu mezi listy (průduchy) a cévními svazky → **transpirační vzestupný proud** vody v rostlinách

- a) kořenový vztlak** = aktivní příjem vody (taky má na něj vliv transpirace)
- b) transpirační proud** = pasivní příjem vody



## Význam transpirace pro rostliny:

- stálý příjem živin z půdy (pasivní transpirace)
  - vliv na energetický režim rostlin
  - termoregulační vliv
  - vliv na produkci živé hmoty – charakteristiky:
- 
- **rychlost transpirace** - množství vytranspirované vody za čas na určitou plochu ( $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{hod}^{-1}$ )
  - **transpirační koeficient** ( $\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ) - množství vytranspirované vody (g) potřebné na tvorbu jednotkové hmotnosti sušiny
  - **produktivita transpirace** ( $\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ) - hmotnost sušiny vytvořené transpirací jednotkové hmotnosti vody

Transpirační koeficient:

Druh	g H <sub>2</sub> O / 1 g sušiny
obilniny	500-650
luskoviny	700-800
brambory a řepa	450-550
C4 rostliny (např. kukuřice)	220-350
zelenina	800-1400
vinná réva	250-300
lesní dřeviny	170-340

Podle: Žalud (2015)

### 3. Evapotranspirace

- celkový výpar (fyzikální + fyziologický), **neproduktivní X produktivní** výpar
- transpirace může mít velký podíl na celkovém výparu:
  - s přítomností rostlin roste potenciální výparná plocha (na 1 m<sup>2</sup> půdního povrchu zvětšení výparné plochy na 10 m<sup>2</sup> i více)
- evapotranspirace může překročit i výpar z vodní hladiny!

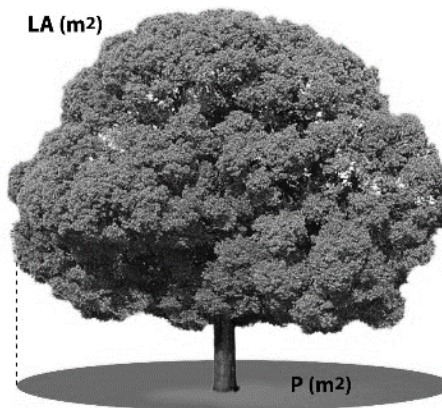
#### **Výpar vody z povrchu rostlin** (díky intercepci)

- povrch rostlin nabízí určitou kapacitu, na které je srážková voda zadržována



Kapacita porostu je závislá na velikosti parametru **LAI (index listové plochy, Leaf Area Index)**

- udává, kolik m<sup>2</sup> zaujímá plocha všech listů (LA) nacházející se nad 1 m<sup>2</sup> porostu (m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>)
- slouží k určování biologických a fyzikálních procesů spojených s vegetací (fotosyntéza, respirace, transpirace, evapotranspirace, tok uhlíku, intercepce srážek a jejich depozice)
- vstup do mnoha ekologických a klimatických modelů



<b>LAI = 1</b>	plocha listů je stejná jako plocha porostu (teoretická hodnota)
<b>LAI &gt; 1</b>	hustší porosty (některé listy leží nad sebou)
<b>LAI &lt; 1</b>	řidké, značně nezapojené porosty (některé paprsky neprocházejí listem, dopadají přímo na povrch půdy)

**a) reálná (aktuální) evapotranspirace ETA**

- probíhá z daného povrchu za aktuálních podmínek, tj. neoptimální půdní a atmosférické podmínky

**b) potenciální evapotranspirace PET**

- maximálně možný výpar, který by za daných podmínek probíhal, pokud by byl povrch nasycen vodou, tj. za konkrétních atm. podmínek

**c) referenční evapotranspirace  $ET_0$**

- intenzita evapotranspirace z hypotetického referenčního porostu o určitých parametrech (předpokládaná výška 12 cm, albedo 0,23, ...)

- referenční porost je velmi podobný rozsáhlému travnatému porostu jednotné výšky s dostatečnou vlhkostí, který aktivně roste a zcela pokrývá povrch půdy (modely)

## I) Proudění vzduchu

Rostliny **zvyšují aerodynamickou drsnost** aktivního povrchu – **brzdící efekt** pro proudění vzduchu

**Brzdící efekt**

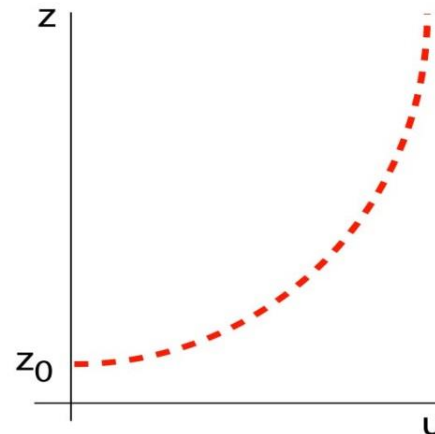
$$\frac{u_v}{u} \cdot 100 \quad (\%)$$

$u_v$  - rychlost proudění na horní hranici porostu

$u$  - rychlost proudění ve stejné výšce nad povrchem bez vegetace

Rychlost větru (m.s <sup>-1</sup> )	Brzdící efekt (%)	
	Porost pšenice	Porost brambor
do 1,1	24	30
1,1-2,0	15	24
2,1-3,0	11	23
nad 3,0	9	20

Brzdící účinek aktivního povrchu  
na proudění vzduchu  
- **vertikální profil větru**

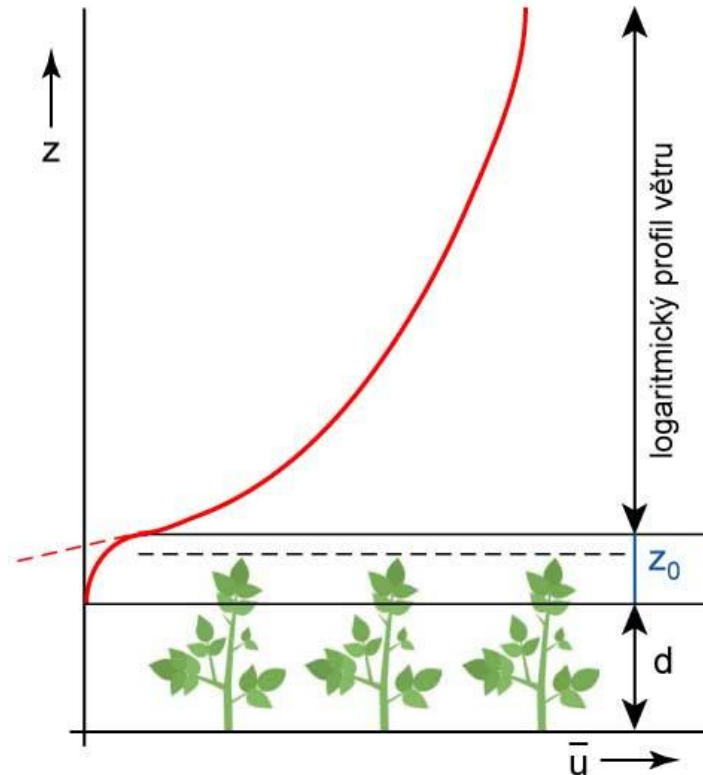


$z_0$  – parametr drsnosti



## Modifikace vertikálního profilu větru **vegetačním krytem**

Povrch	$Z_0$	$d$
les	1-6 m	20-30 m
nízký trávník	3-10 cm	7 cm
hladký led	0,1 mm	-



$Z_0$  – parametr drsnosti

$d$  – posun hladiny nulové rychlosti (*zero-plane displacement*)

## Důsledky brzdícího účinku proudění v porostu

- významné zeslabení intenzity proudění vzduchu uvnitř vegetačního krytu (včetně toků  $H$ ,  $LE$ ), turbulentní přenos vodní páry je nevýznamný
- na horní hranici porostu zvýšená turbulence (prudký růst  $H$ ,  $LE$ )

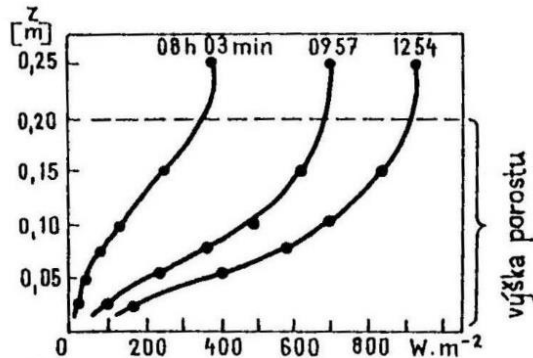
# Vliv vegetace na okolní atmosféru

- Zjednodušené dělení typů vegetačního krytu:
1. Jednovrstevný → Klima nízkého vegetačního krytu
  2. Vícevrstevný → Vegetační klima lesa

## A) Nízký vegetační kryt

### Sluneční záření

Intenzita celkového záření



**Absorpce** slunečního záření při průchodu veg. krytem  
– maximum ve výšce cca 0,15–0,05 m

Zeslabení intenzity záření

Beerův zákon

$$I_z = I_0 \cdot e^{-a \cdot Az}$$

LAI

$I_z$  – intenzita záření ve výšce  $Z$  uvnitř porostu  
 $I_0$  – intenzita záření na horní hranici porostu  
 $a$  – koeficient zeslabení radiace vegetací  
 $A_z$  – charakterizuje plochu vegetačních orgánů mezi horní hranicí porostu a výškou  $Z$  uvnitř porostu

## Albedo

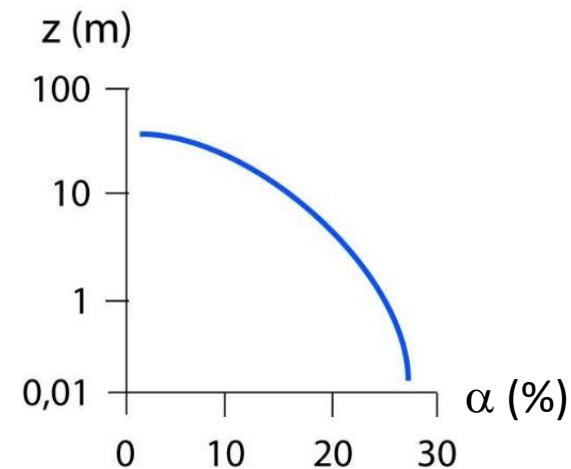
$\alpha$  vegetačního krytu <  $\alpha$  jednotlivých listů

$\alpha$  závisí na:

- vlastnostech reflektujícího povrchu
- úhlu dopadu slunečních paprsků
- vnitřní struktuře porostu
- výšce porostu

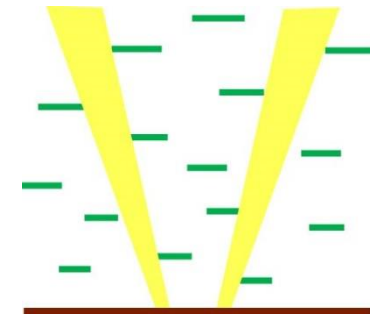
Denní chod  $\alpha$ :

- maximum při východu a západu slunce
- minimum v poledne



## Bilance dlouhovlnného záření

- $E^*$  vegetačního porostu téměř vždy záporné
- zmenšení prostorového úhlu volného vyzařování uvnitř porostu
- bilance dl. záření z nitra porostu téměř nulová

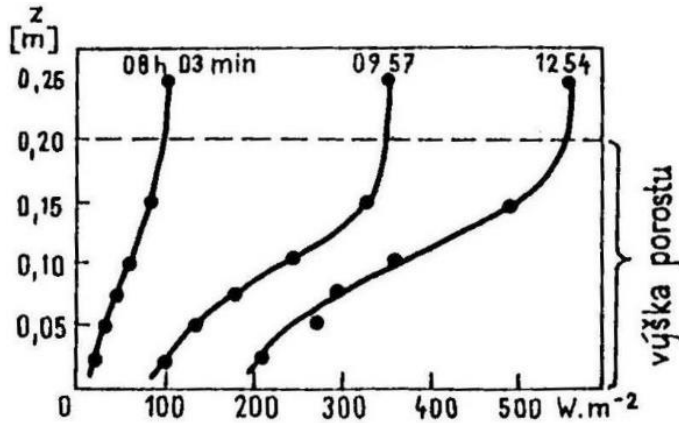


Vegetační kryt zeslabuje radiaci!

## Změna $\lambda$ při průchodu vegetací

- horní hranice vegetačního krytu  $\rightarrow$  převládá krátkovlnná radiace
- při povrchu půdy  $\rightarrow$  převládá dlouhovlnná radiace

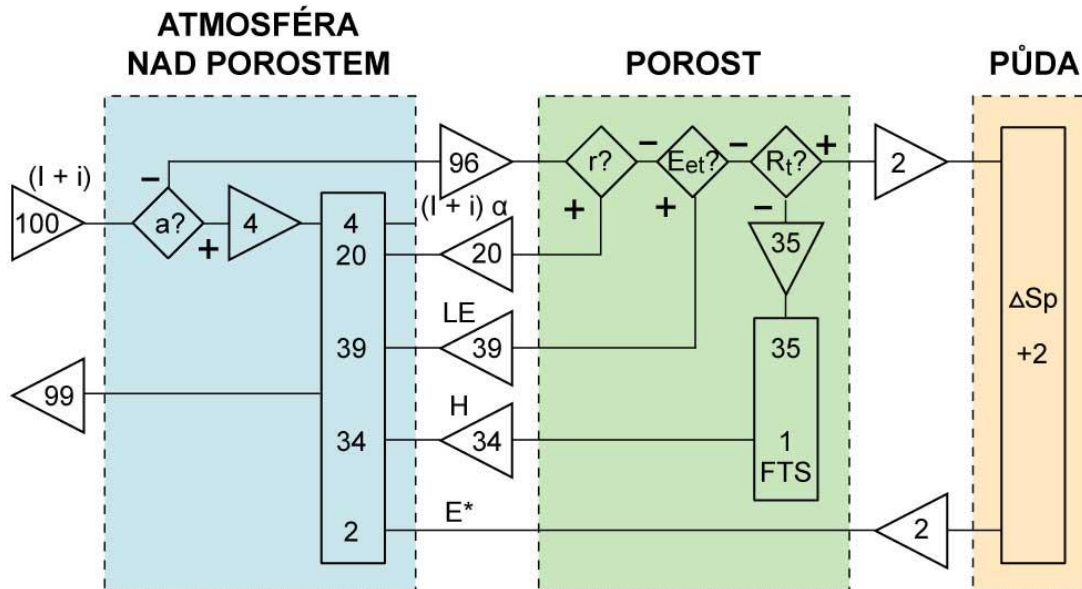
## Radiační bilance



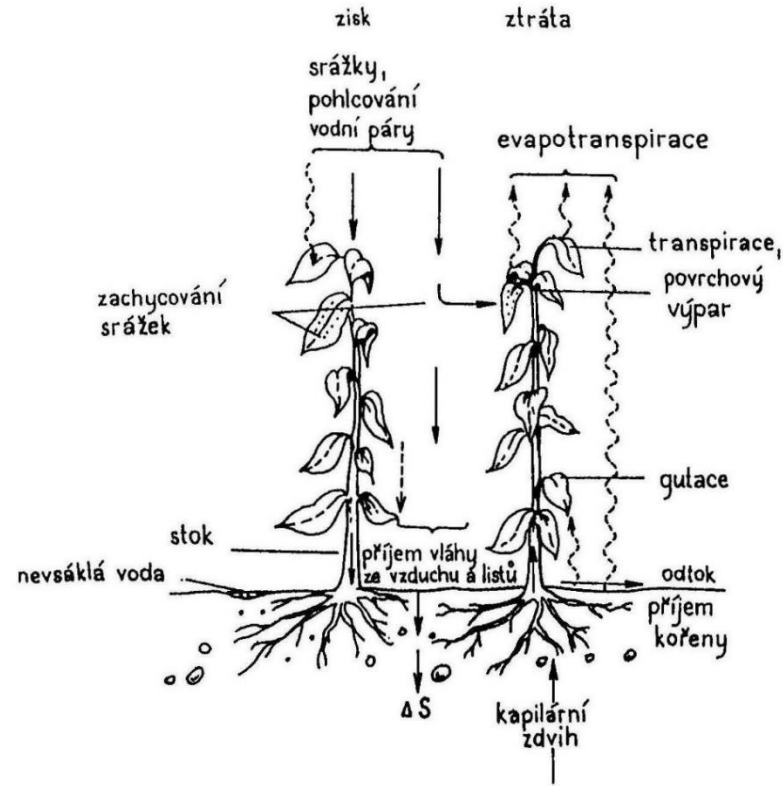
- $R$  je ovlivněna režimem intenzity slunečního záření
- největší zeslabení v oblasti maximální hmoty vegetačních orgánů
- $R$  uvnitř porostu:
  - kladná (den)
  - záporná (noc)

## Energetická bilance

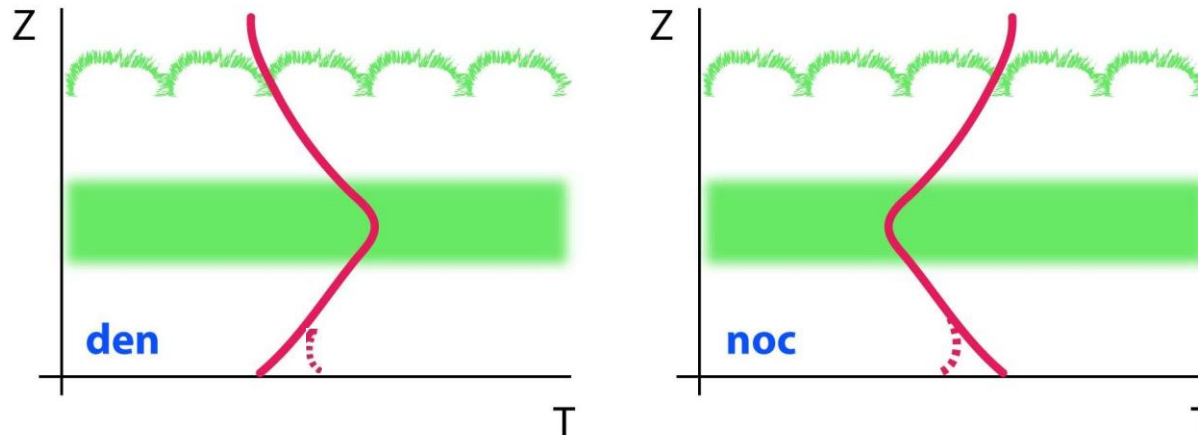
Výměna zářivé a tepelné energie mezi systémy půda – vegetační kryt – atmosféra (příklad)



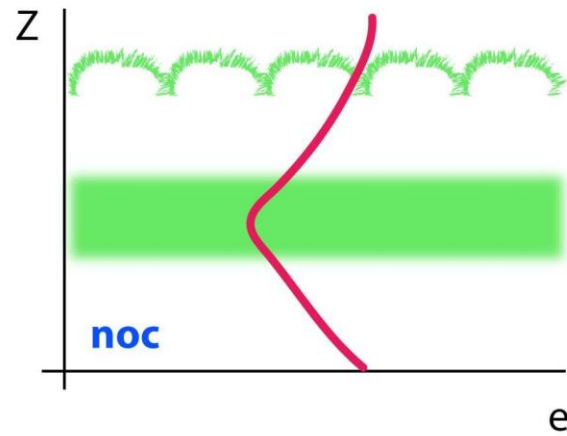
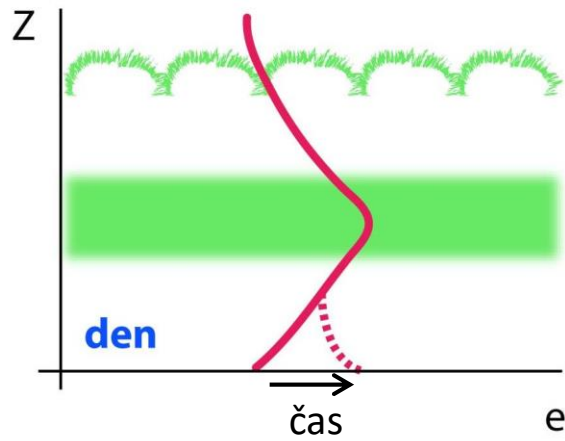
## Vláhová bilance



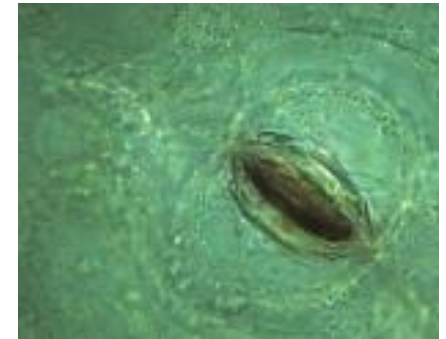
## Režim teploty vzduchu



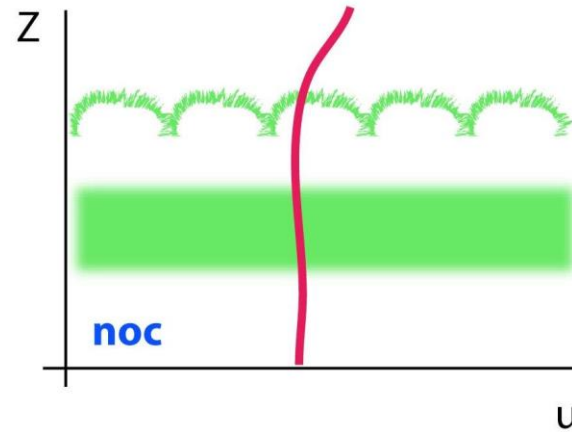
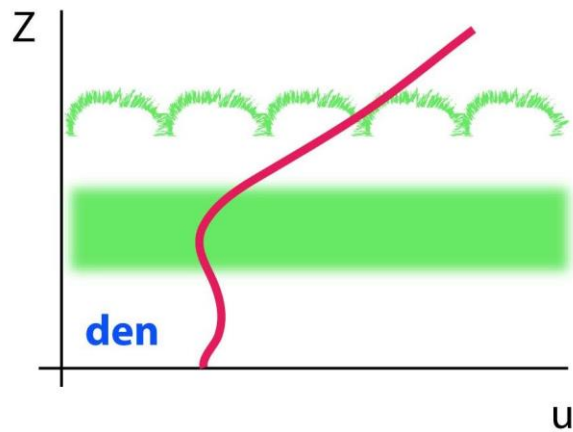
## Režim vlhkosti vzduchu



**Zavírání průduchů -  
mechanismus rostlin  
proti ztrátě vody**



## Režim rychlosti větru



## B) Klima lesa

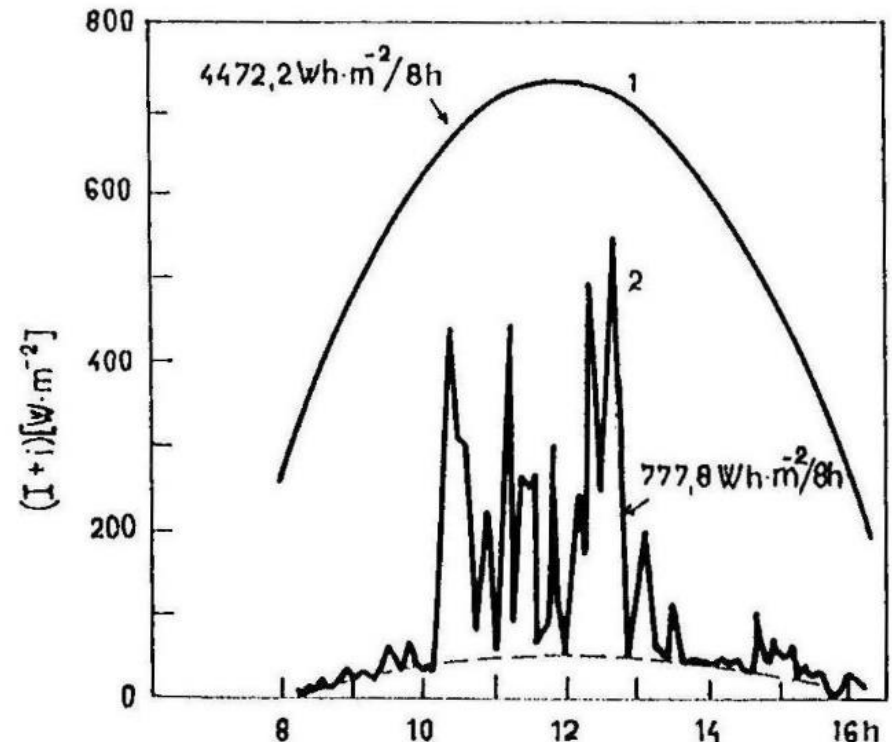
- dílčí patra
- kmen (významný podíl hmoty)

### Sluneční záření

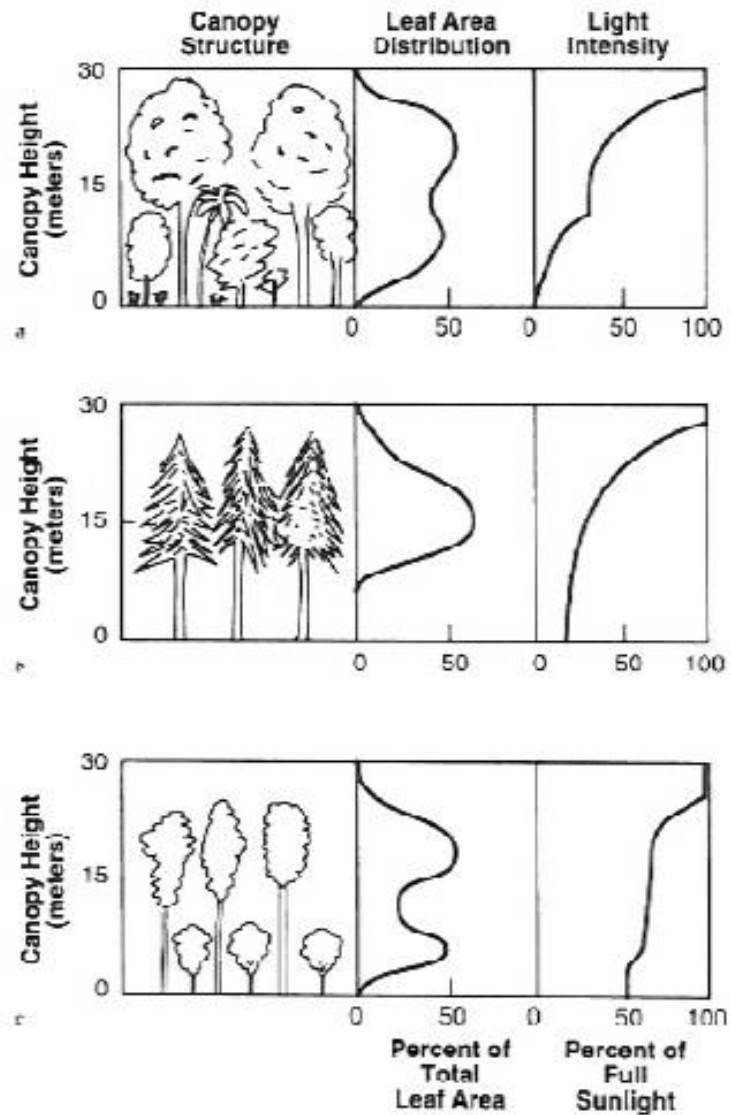
- významná **absorpce** slunečního záření – maximum v **korunovém** patře
- vliv na **relaci přímého a rozptýleného záření**
- modifikace **spektra radiace**
- vliv lesa na  $\lambda$  pronikajícího záření:
  - $\lambda = 400\text{-}450\text{ nm}$  (rel. zesilování)
  - $\lambda = 650\text{-}750\text{ nm}$  (rel. zeslabování)

→ vliv na pronikající FAR

- **Odraz** slunečního záření  $\alpha$  je **nízký** (v průměru 15–20 %)  $\Rightarrow$  les je místem ohřevu



- 1 – horní hranice porostu
- 2 – povrch lesní půdy
- rozptýlené z.



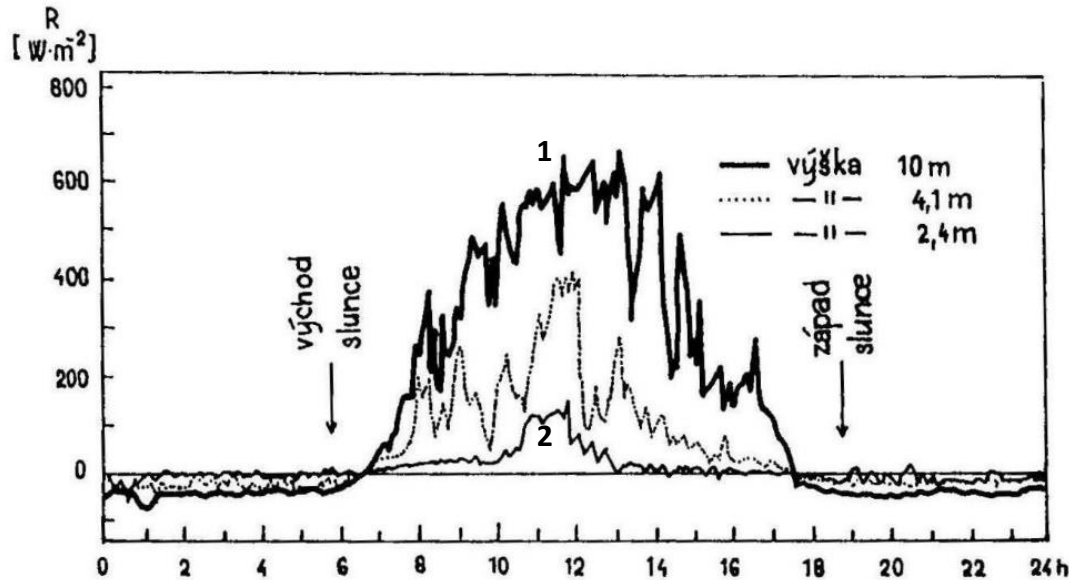
## Dlouhovlnného záření

- horní hranice korunového patra =  $\max E^*$
- v prostoru půda – dolní hranice korunového patra = nepatrné dl. vyzařování



# Radiační a energetická bilance

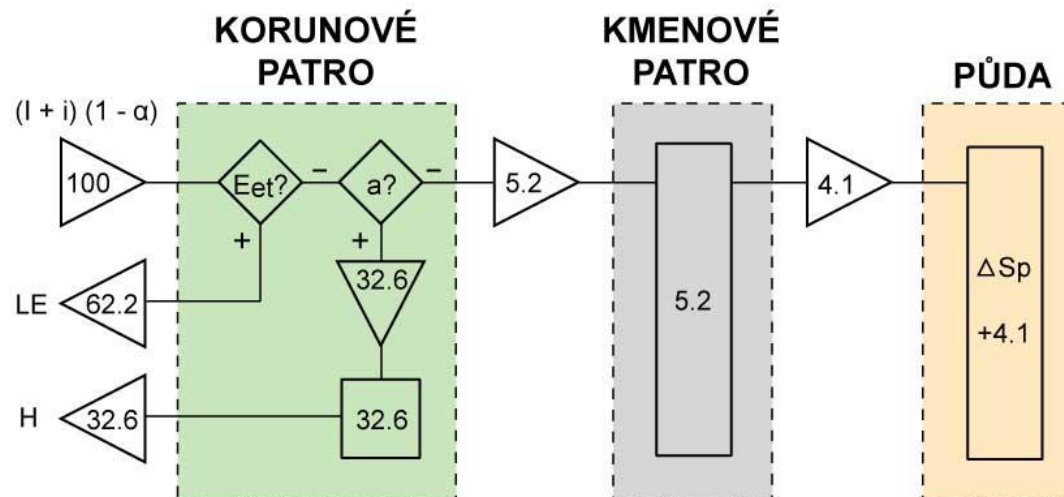
Denní režim R



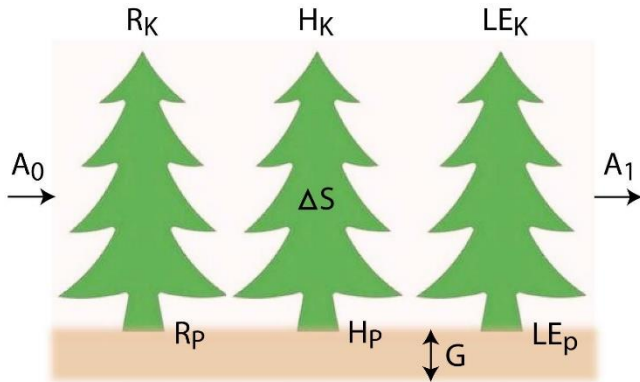
- 1 – horní hranice porostu
- 2 – půda

R lesa > R rostlinných společenstev (o 10-25 %) + vliv vegetační periody

Výměna zářivé a tepelné energie (příklad)

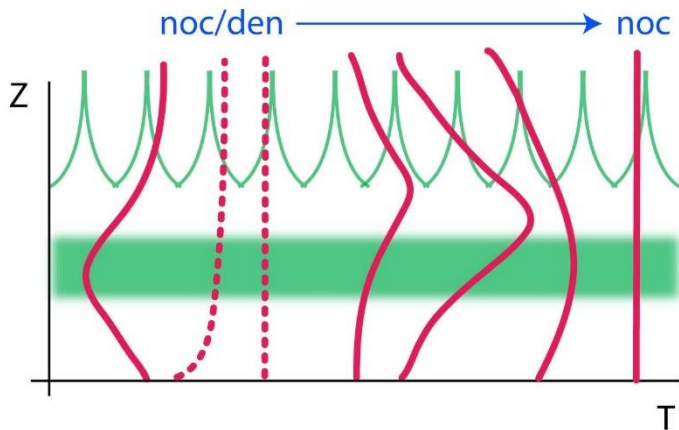


## Určení energetické bilance v lesním porostu



$$(R_k - R_p) + (A_0 - A_1) = (LE_k - LE_p) + (H_k - H_p) + G + \Delta S$$

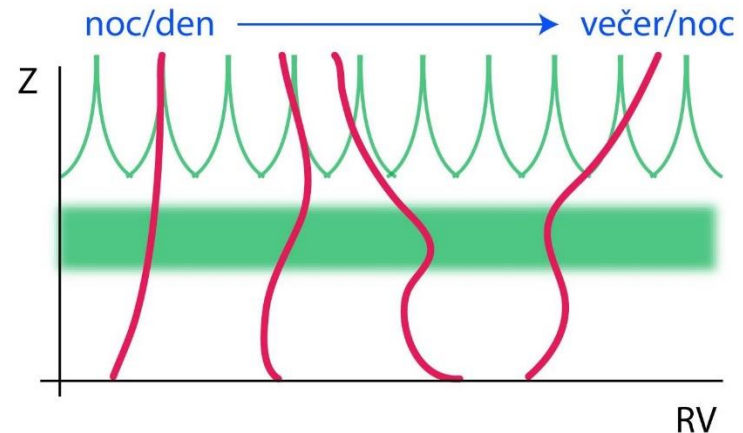
## Režim teploty vzduchu



## Evapotranspirace a vlhkost vzduchu

- zásadní vliv **korunového patra** (transpirace) a **povrchu půdy** (evaporace)

## Režim vlhkosti vzduchu

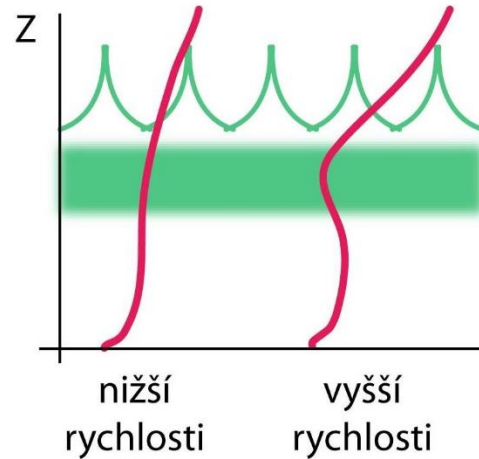


## Proudění vzduchu

### a) Modifikace rychlosti proudění lesním porostem

Výrazný brzdící účinek na proudění vzduchu ( $z_0 \sim 1-6$  m,  $d \sim 20-30$  m)

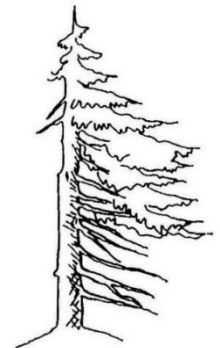
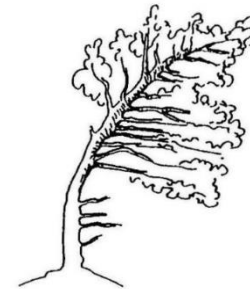
Vertikální profil rychlosti větru



### b) Modifikace lesního porostu prouděním vzduchu

Vliv větru na morfologii stromů (vlajkové stromy)

- mechanický účinek pohybu vzduchu (tlakový - a)
- fyziologický účinek pohybu vzduchu (poškození rostlinných pletiv - b)



## Srážky

### a) kapalně vertikální srážky (déšť)

**Skropná voda** - množství kapalných vertikálních srážek (mm), které dotyčný porost zachycuje

- maximální hodnota = zásobní kapacita porostu (mm)
- k vegetaci je vázána povrchovými silami
- nepodléhá gravitaci, podléhá výparu = intercepční výpar ( $i_z$ )

Bilanční rovnice pro srážky v lesním porostu

$$RR_p = RR_v - i_z = RR_{PR} + RR_o + RR_s$$

$RR_p$  – porostové srážky

$RR_v$  – srážky na volné ploše

$i_z$  – intercepční ztráty

$RR_{PR}$  – srážky pronikající mezerami závoje

$RR_o$  – okap srážek zachycených

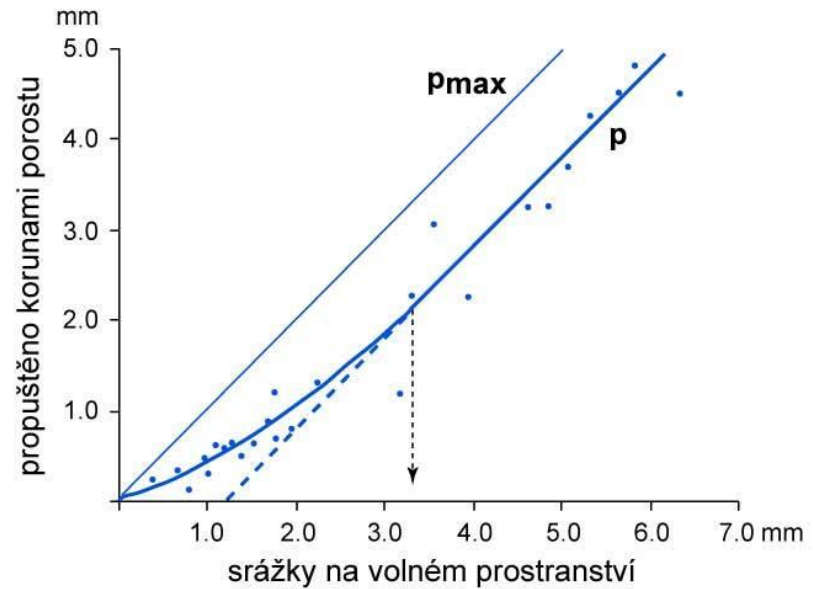
porostem směrem k povrchu

$RR_s$  – stok srážek po kmenech

### Podíl intercepčních ztrát v lesním porostu

- srážky málo vydatné + více period = výrazný podíl  $i_z$
- srážky velmi vydatné + méně period = malý podíl na  $i_z$

Vliv intercepce srážkové úhrny  
v lesním porostu (smrk)

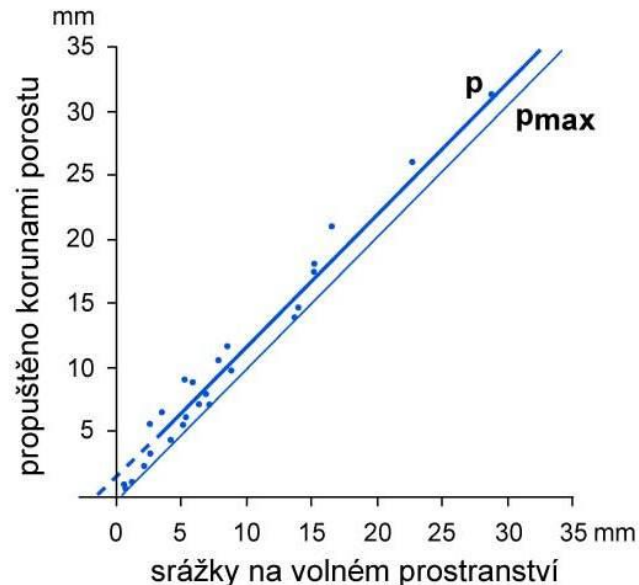


## b) kapalně horizontální srážky (mlha, ovlhnutí)

- horské oblasti cca 600-750 m n. m.
- nízká vrstevnatá oblačnost
- advekční charakter srážek

Vliv intercepce srážkové úhrny  
za mlhy v lesním porostu (smrk)

„vyčesávání mlh“



### c) pevné vertikální srážky (sníh, ledové krupky, ...)

- les jich zachycuje více než kapalných srážek
- intercepční ztráty jsou menší než u kapalných

Sněhová pokrývka na povrchu půdy – důležitá pro vodní bilanci lesa + faktor při jarním tání (význam pro rovnoměrné rozložení odtoku)

### d) pevné horizontální srážky (jinovatka, námraza, ledovka)

- tvoří se v koruně i na kmenech
- velká hmotnost - destrukční vlivy na lesní porosty

Horizontální srážky (převážně v korunách stromů) – mohou mít výrazný podíl na celkových porostových srážkách (až 10 % z celkového ročního úhrnu)

---

## Zásadní klimatické vlivy lesních porostů

1. Zmenšení extremity teplotního režimu přízemní atmosféry
2. Zvýšení vlhkosti vzduchu i obsahu půdní vláhy
3. Zvýšení četností kondenzačních/desublimačních procesů
4. Potlačení proudění vzduchu
5. Intercepce
6. Prodloužení trvání sněhové pokrývky
7. Vliv pro vodní hospodářství