

# Měření odporu transportních cest, stupně jejich integrace a embolizace

*Vít Gloser*

*Cvičení z fyziologie rostlin pro pokročilé*

# Základní principy xylémového transportu vody (1)

- Tok vody v xylému je možný **jen po spádu vodního potenciálu**, který je řízen převážně změnami tlaku (jedná se o hmotnostní tok, u kterého je nezbytným předpokladem rozdíl v hydrostatickém tlaku!)
- **Rychlost toku závisí na rozdílu tlaku** na začátku a na konci transportní dráhy, a dále **na vodivosti transportních cest**. Vodivost cév a cévic exponenciálně roste s jejich vnitřním průměrem.
- Tlakového rozdílu v xylému se dosahuje převážně silným **snížením tlaku** v mikrokapilárách buněčných stěn při zakončení xylému v listech. V xylému je tudíž téměř stále podtlak (=tlak menší než atmosférický).

# *Maximální rychlost toku vody xylému exponenciálně roste s vnitřním průměrem cév*

$$J = (\pi r^4 / 8\eta) (\Delta p / \Delta x)$$

**J** = objemová rychlost toku v trubici [cm<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>  
MPa<sup>-1</sup>]

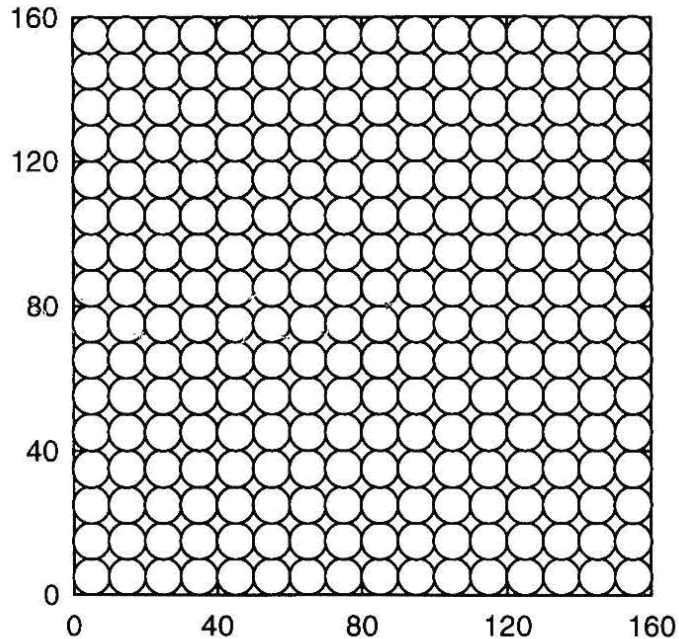
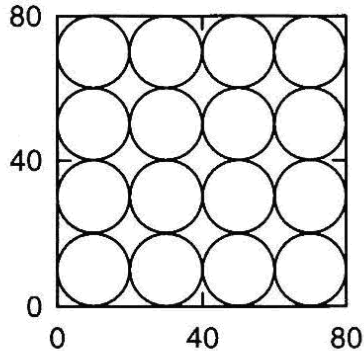
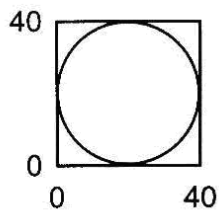
**r** = poloměr světlosti trubice

**η** = viskozita transportované kapaliny (řec. *éta*),

**Δp / Δx** = tlakový spád = rozdíl tlaku (Δp),  
vztažený na

vzdálenost mezi začátkem a koncem transportní  
dráhy (Δx)

# Praktické důsledky Hagen-Poiseuilleova vztahu



**Vodivost jedné cévy průměru  
40  $\mu\text{m}$  může nahradit:**

**16 cév průměru 20  $\mu\text{m}$  nebo**

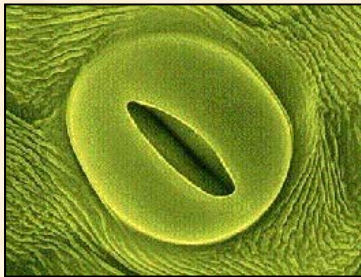
**256 cév průměru 10  $\mu\text{m}$**

# *Příklady maximálních rychlostí toku vody v xylému u různých skupin rostlin*

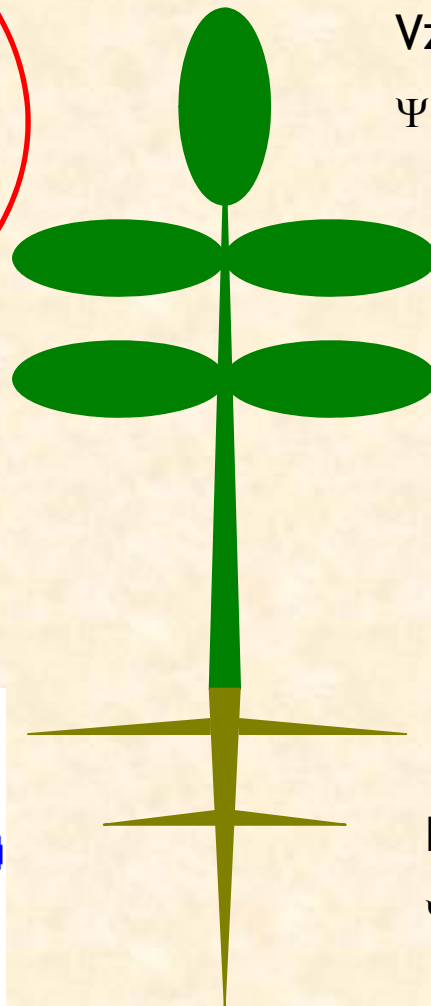
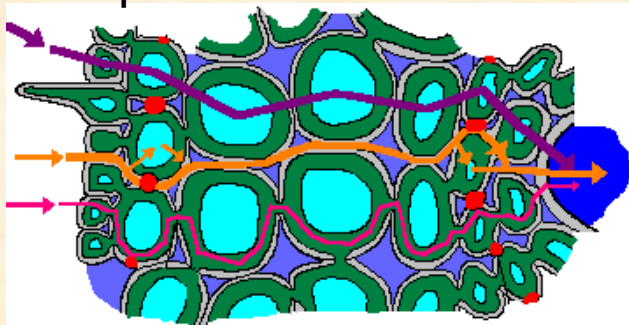
- Jehličnaté stromy 1 - 2 m h<sup>-1</sup>
- Listnaté stromy s úzkými cévami 2 - 6 m h<sup>-1</sup>
- Listnaté stromy s širokými cévami 20 - 45 m h<sup>-1</sup>
- Byliny 10 - 60 m h<sup>-1</sup>
- Liány 150 m h<sup>-1</sup>

# Pohyb vody v rostlině - hnací síly a regulační body

Difúzní odpor průduchů



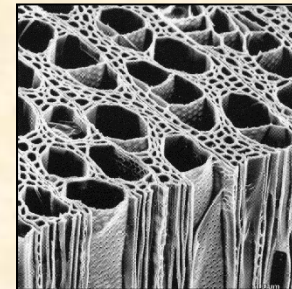
Hydraulický odpor radiálního transportu v kořeni



Vzduch

$\Psi \sim -95 \text{ MPa}$

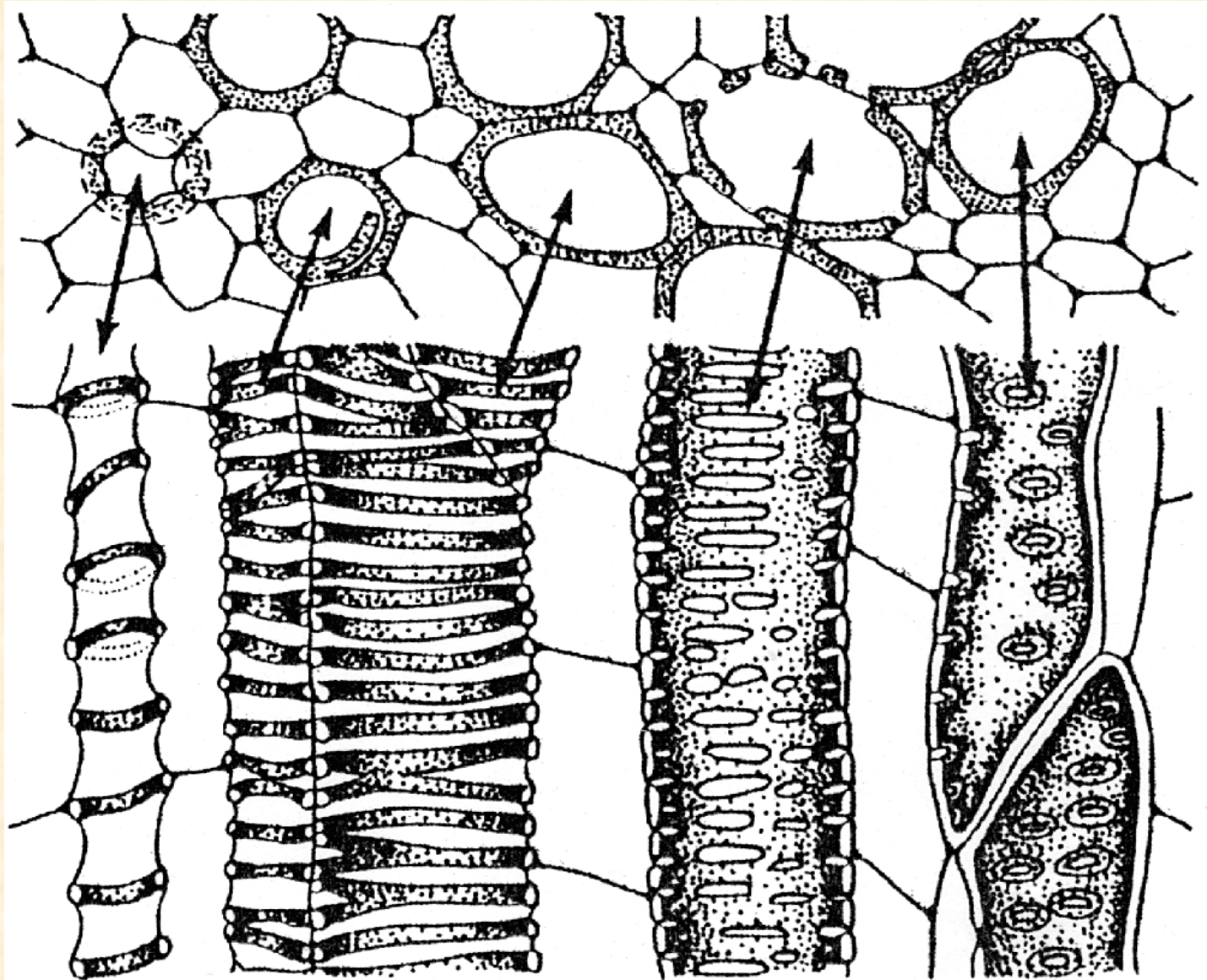
Hydraulický odpor xylému



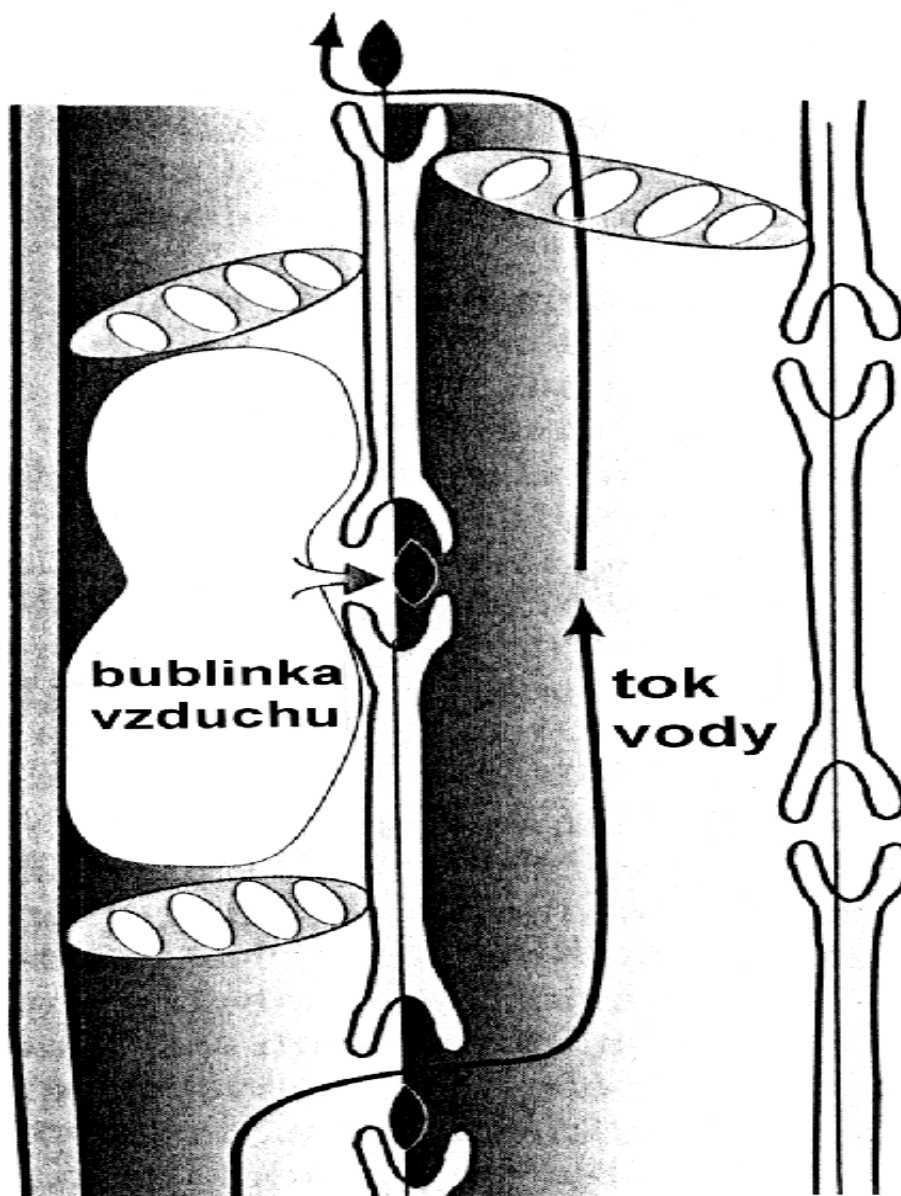
Půda

$\Psi \sim -0,1 \text{ MPa}$

# *Ukázka různé stavby vodivých elementů xylému*



## *Transportní obchvat (bypass) poškozeného místa cévy*





# Co to jsou hydraulické metody pro měření odporů v rostlinách?

- Metody využívající měření toku kapaliny přes pletiva rostliny v podmínkách tlakového spádu známé velikosti k hodnocení funkčních vlastností pletiv nebo celých orgánů.

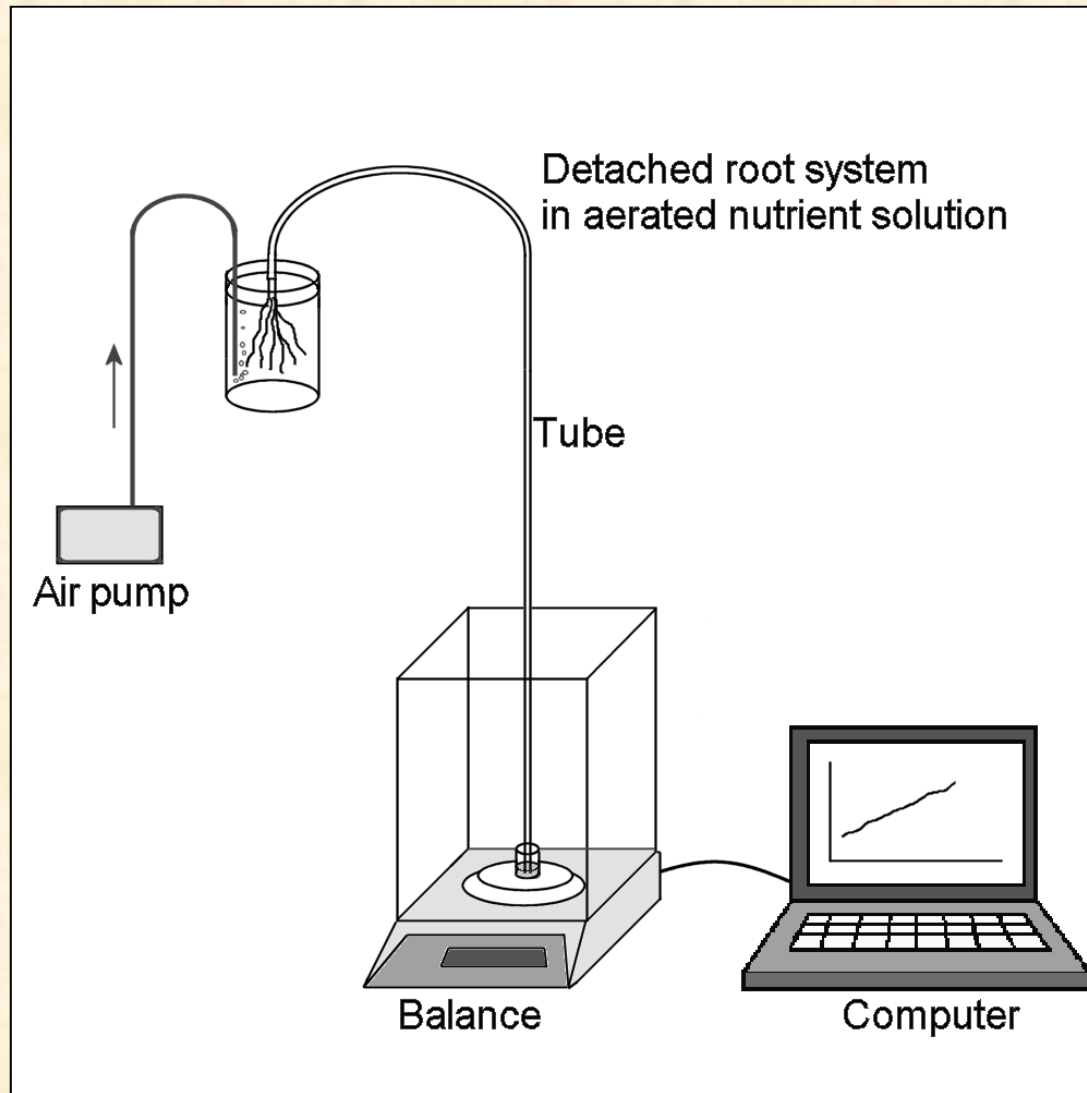
# Hlavní oblasti použití hydraulických metod

- Hodnocení vodivosti/odporu xylému v orgánech na segmentech
- Hodnocení vodivosti celých neporušených kořenů nebo listů
- Hodnocení odporu, který klade rostlina transpiračnímu toku
- Hodnocení stupně integrace vodivých pletiv
- Srovnávání odolnosti xylému vůči narušení transportu vznikem kavitací

# Měření hydraulické vodivosti stonkového segmentu



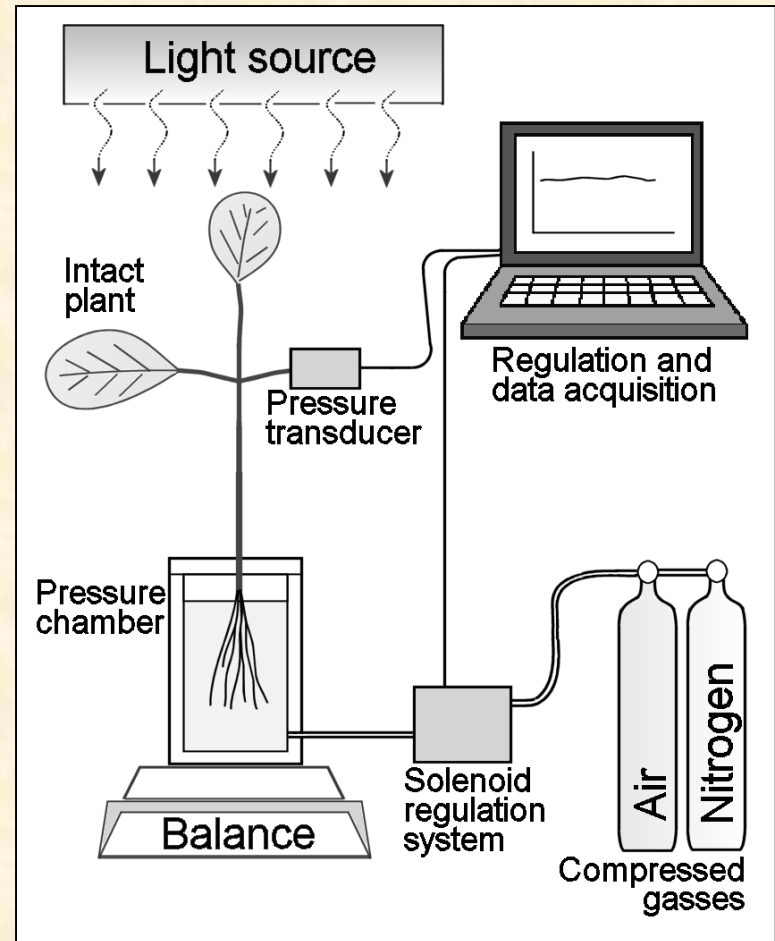
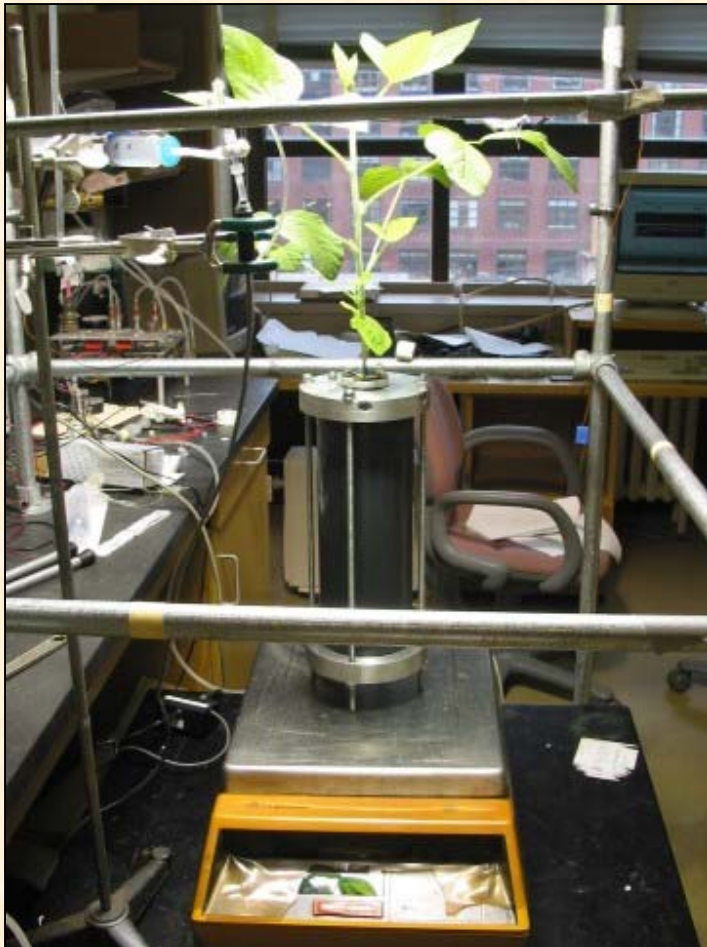
# Jak měříme hydraulický odpor kořenového systému a jeho změny ?



# Jak měříme hydraulický odpor celé rostliny ?

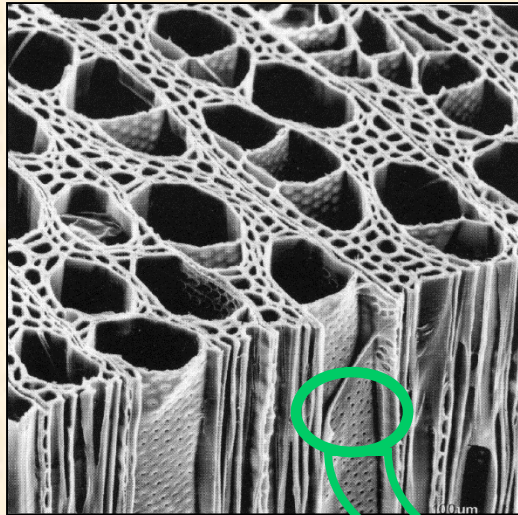
Root pressure chamber

(Stirzacker and Passiura 1996)

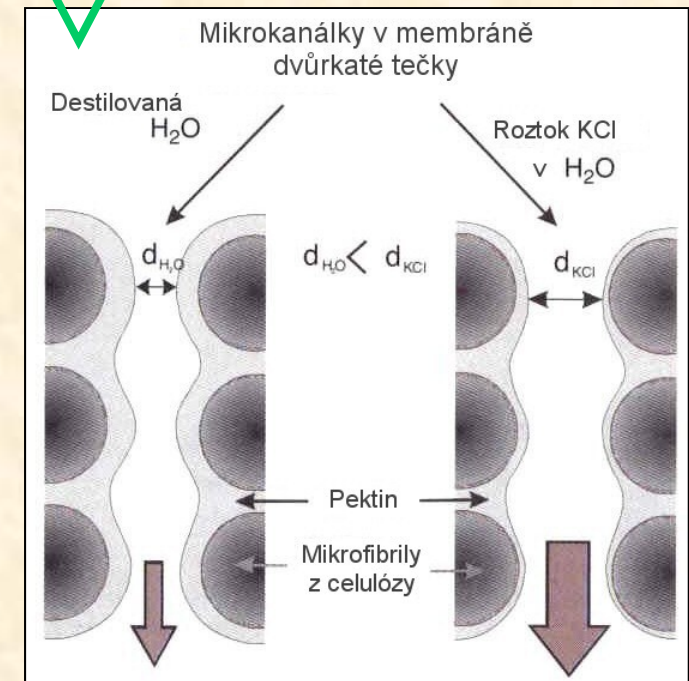
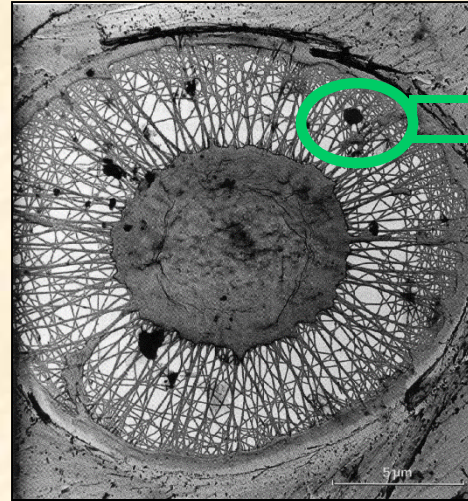


# Mechanismus změn odporu xylému podle koncentrace kationtů

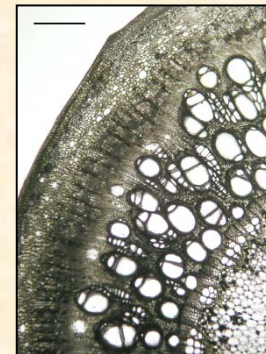
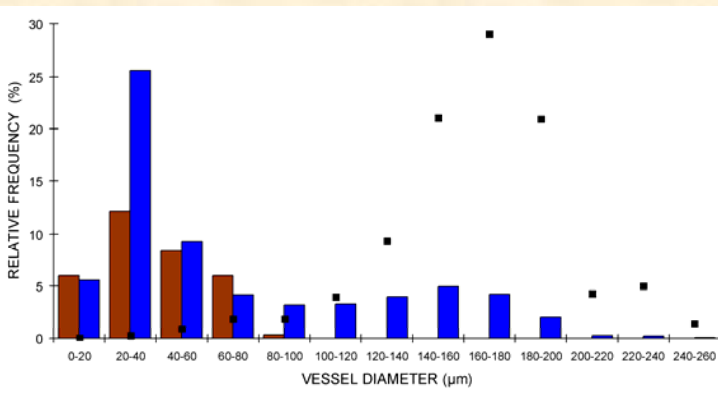
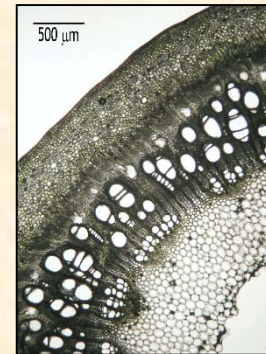
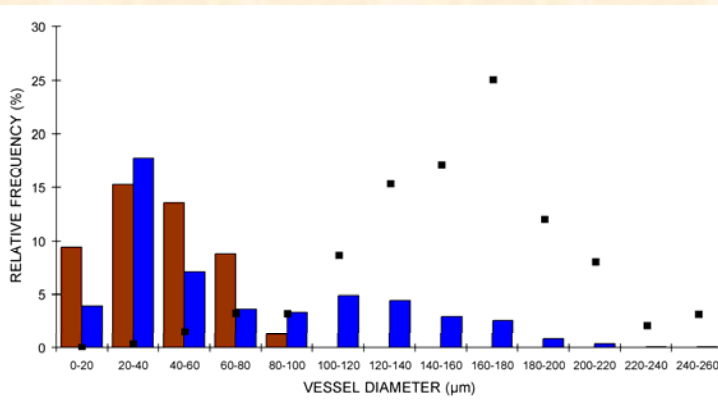
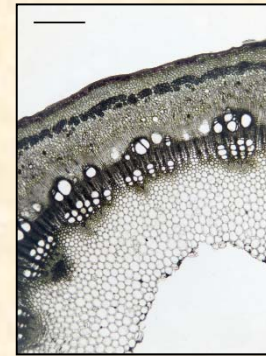
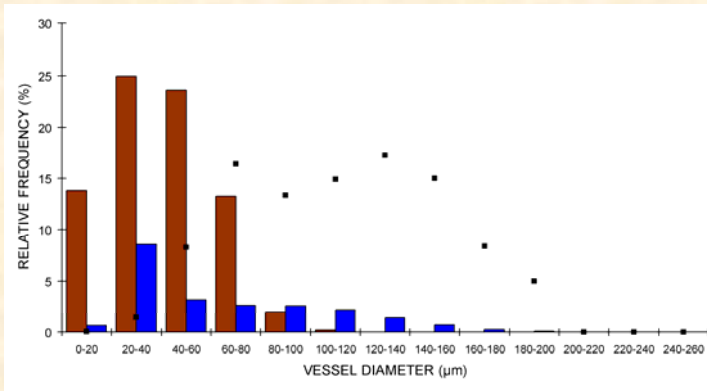
Cévy xylému



Membrána dvůrkaté tečky



# Funkční analýza anatomie xylému



# Funkční analýza anatomie xylému: průměr cév a vodivost

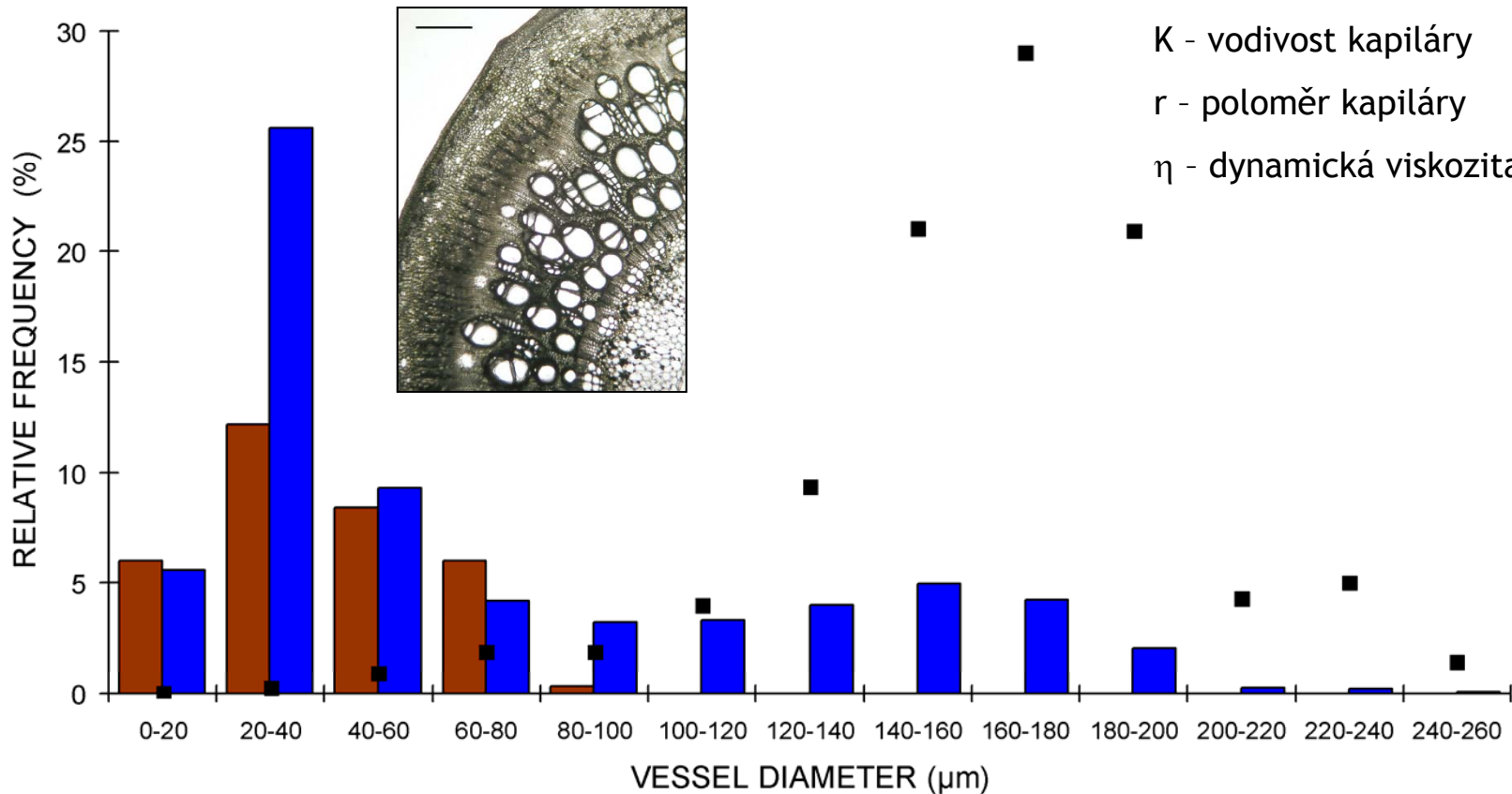
*Hagen-Poiseuilleův vztah:*

$$K = r^4 \pi / 8\eta$$

K - vodivost kapiláry

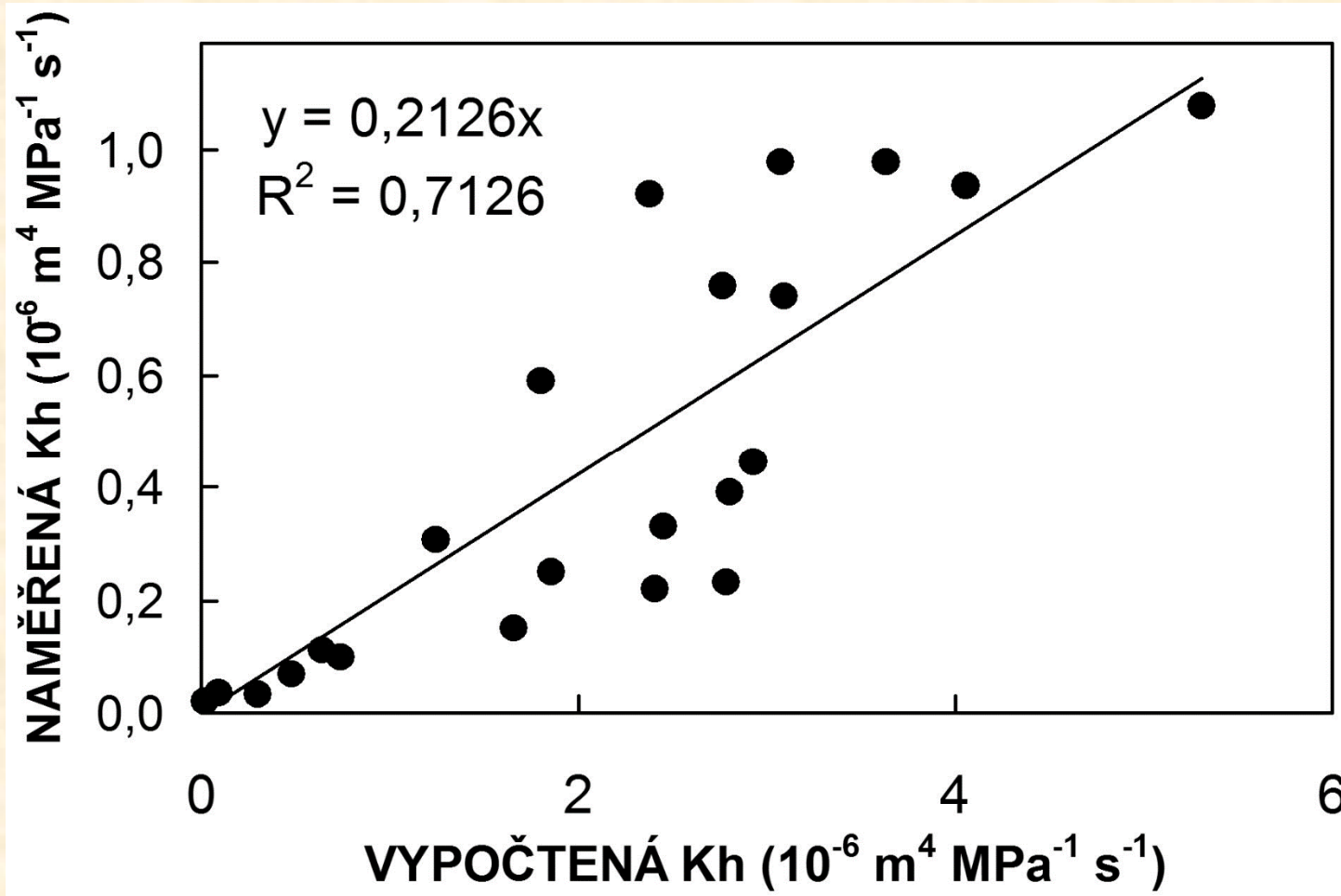
r - poloměr kapiláry

$\eta$  - dynamická viskozita kapaliny



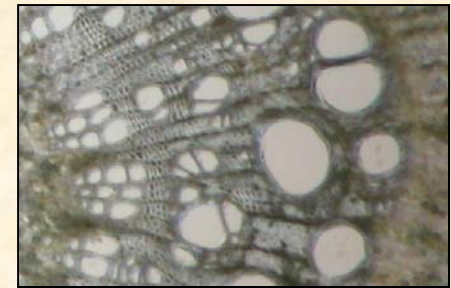


# Vztah mezi vypočtenou a skutečnou hydraulickou vodivostí xylému rostlin chmele

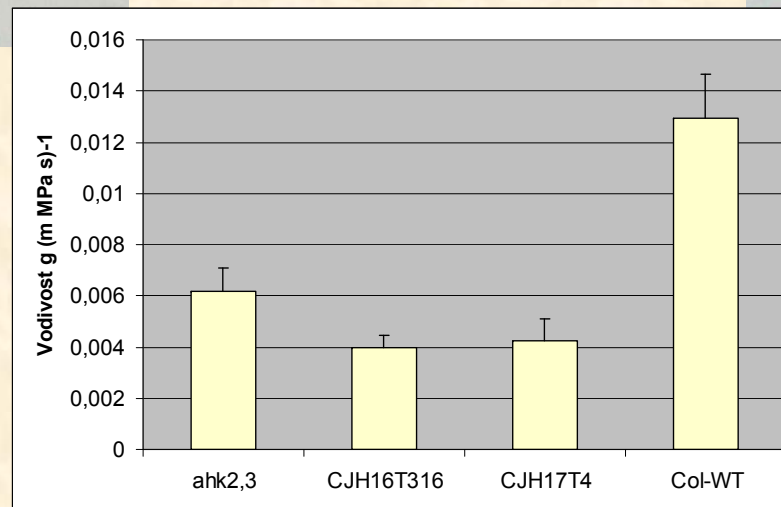
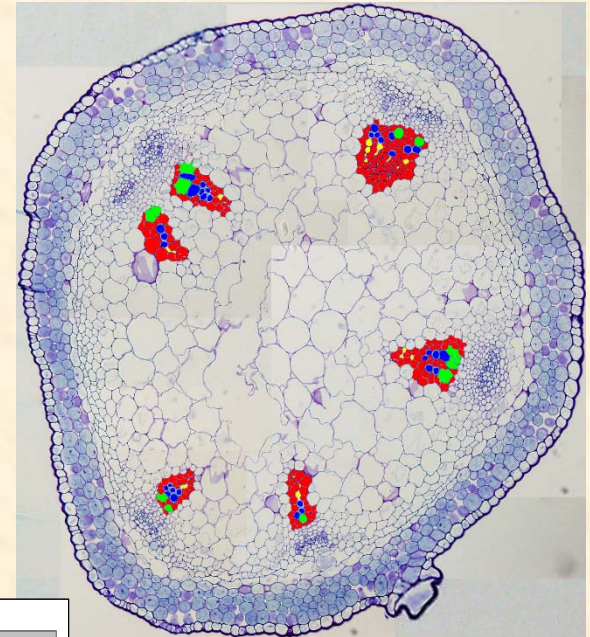
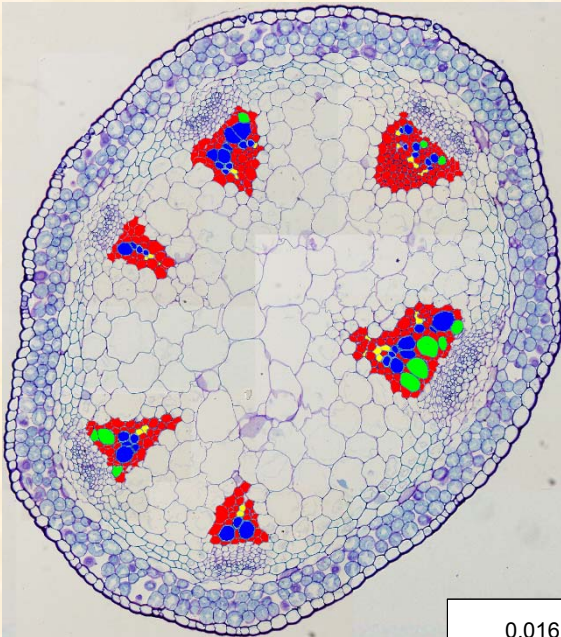


# Proč je skutečná vodivost stonku menší než teoreticky vypočtená?

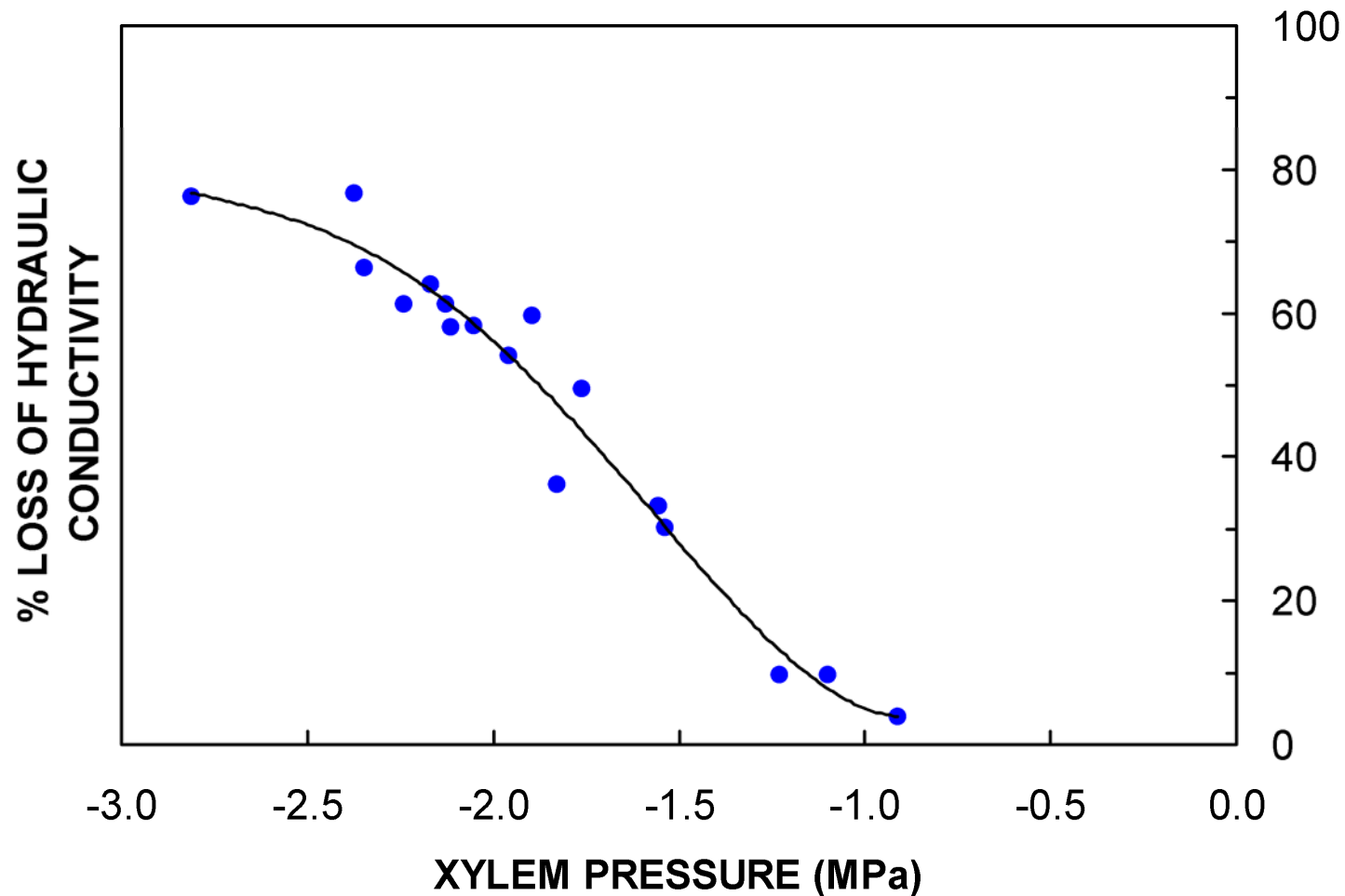
- Cévy nejsou ideální kapiláry (tření kapaliny o stěny, průřez není kulatý, vnitřní průměr může kolísat atd.)
- Významný odpor teček na koncových stěnách cév
- Všechny hodnocené cévy nejsou vodivé



# Vliv hormonální signalizace na vývoj a fungování xylému



# Vztah mezi vodním potenciálem stonku a relativním poklesem hydraulické vodivosti xylému ve stonku rostlin chmele



# Závažnost poruch xylému pro fungování celé rostliny

- Jak velký je pokles vodivosti xylému ve stoncích za průměrné vlhkosti půdy ?

*Kolísá od 20 do 40%*

- Kolik z narušených cév je opraveno v průběhu noci ?

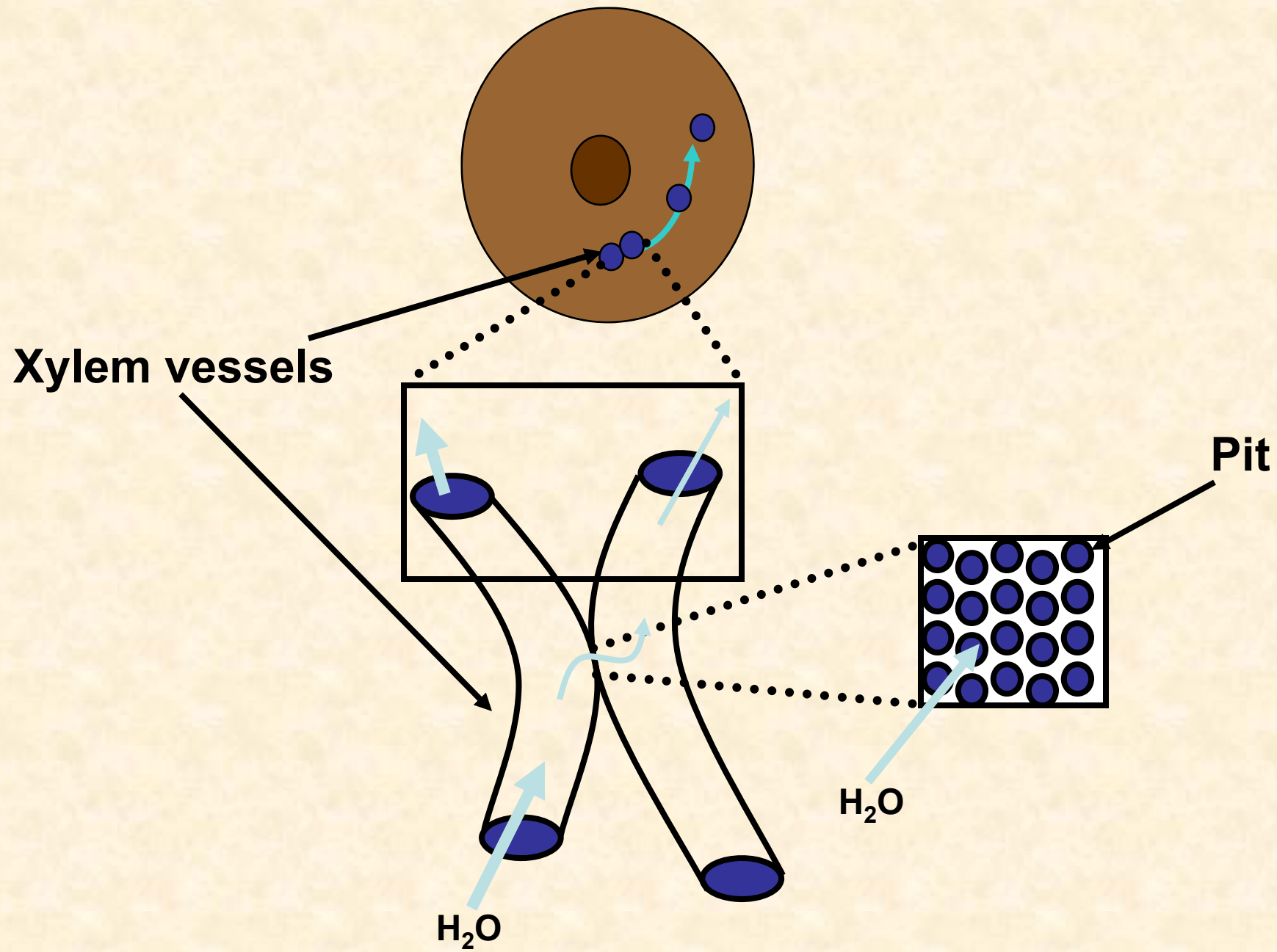
*Přes 10% transportní kapacity stonku může zůstat neopraveno!*

- Jak velká část vodivé kapacity stoku je využívána při transpiraci rostlin chmele?

*První odhady ukazují za běžných podmínek dostatku vody 10-30%*

# Měření stupně integrace vodivých pletiv

- ovlivňuje distribuci vody a živin
- závisí na anatomii cév a cévních svazků
- metody měření na různé rozlišovací úrovni
  - cévy
  - orgány
  - celé rostliny



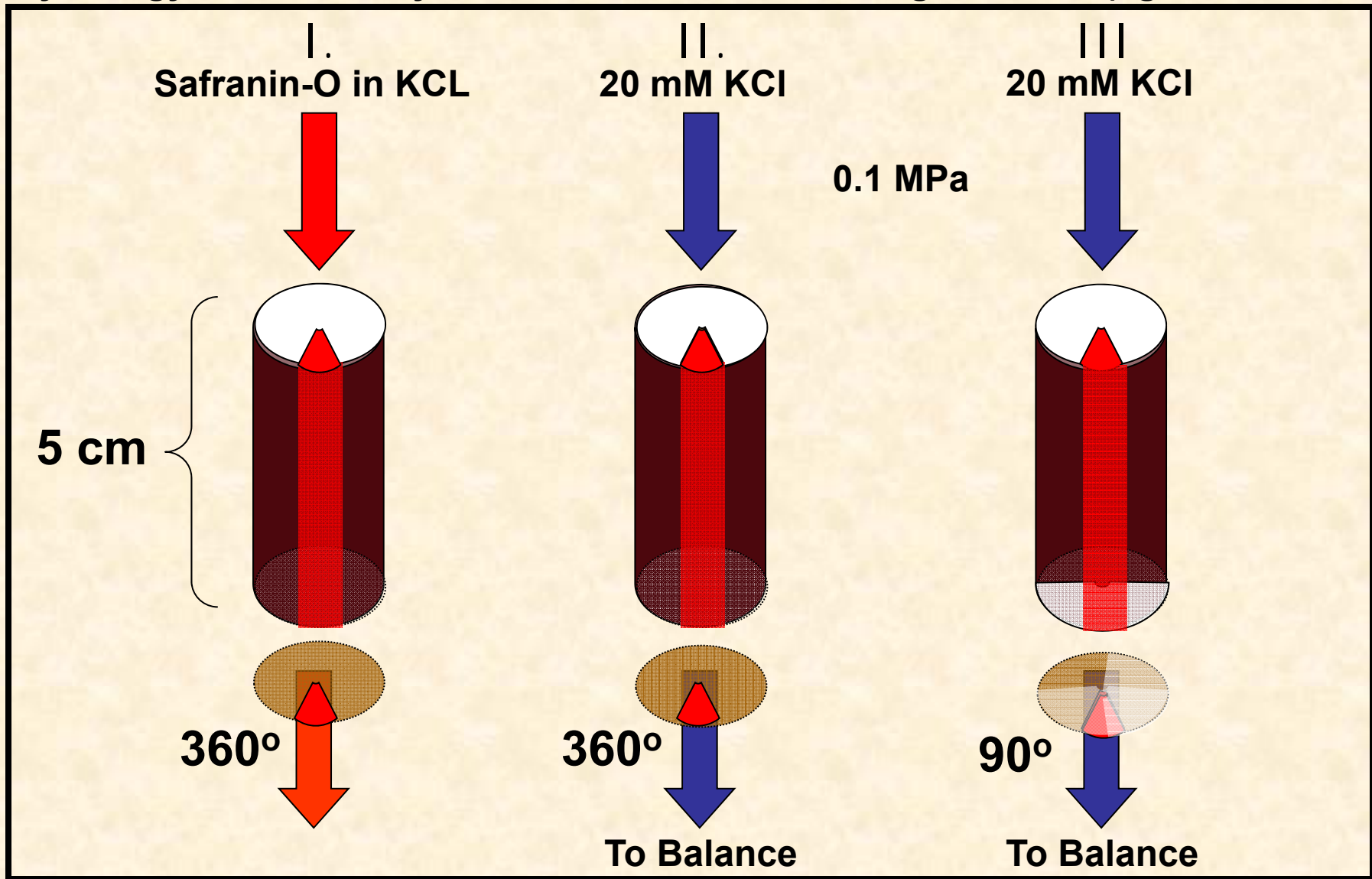
**Xylem vessels**

**Pit**

$H_2O$

$H_2O$

Physiology: Conductivity = Flow rate\*Pressure<sup>-1</sup>\*Length\*Area<sup>-1</sup> (kg MPa<sup>-1</sup> s<sup>-1</sup> m<sup>-1</sup>)



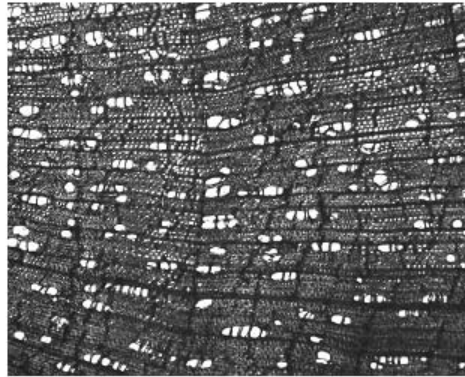
$K_{360} = \text{Axial}$

$K_{90} = \text{Tangential}$

$K_{90}/K_{360} = \text{Ratio}$

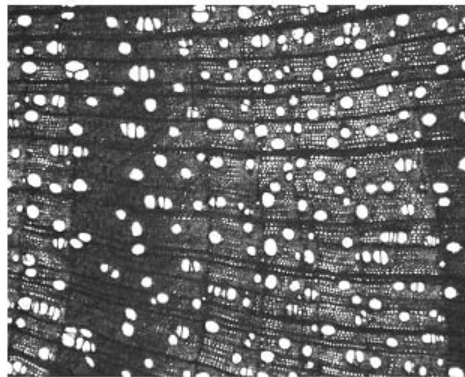


A)



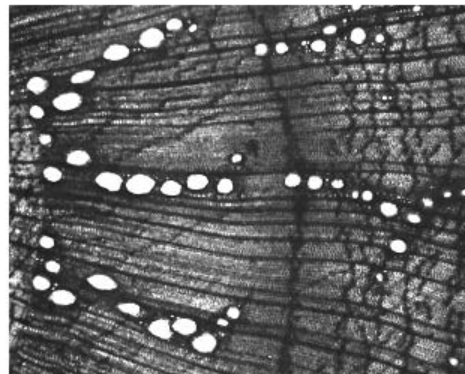
*Betula papyrifera*

B)



*Acer saccharum*

C)



*Quercus rubra*

— 0.1 mm

# Leaf-to-leaf Hydraulics

## Opposite-leaved species

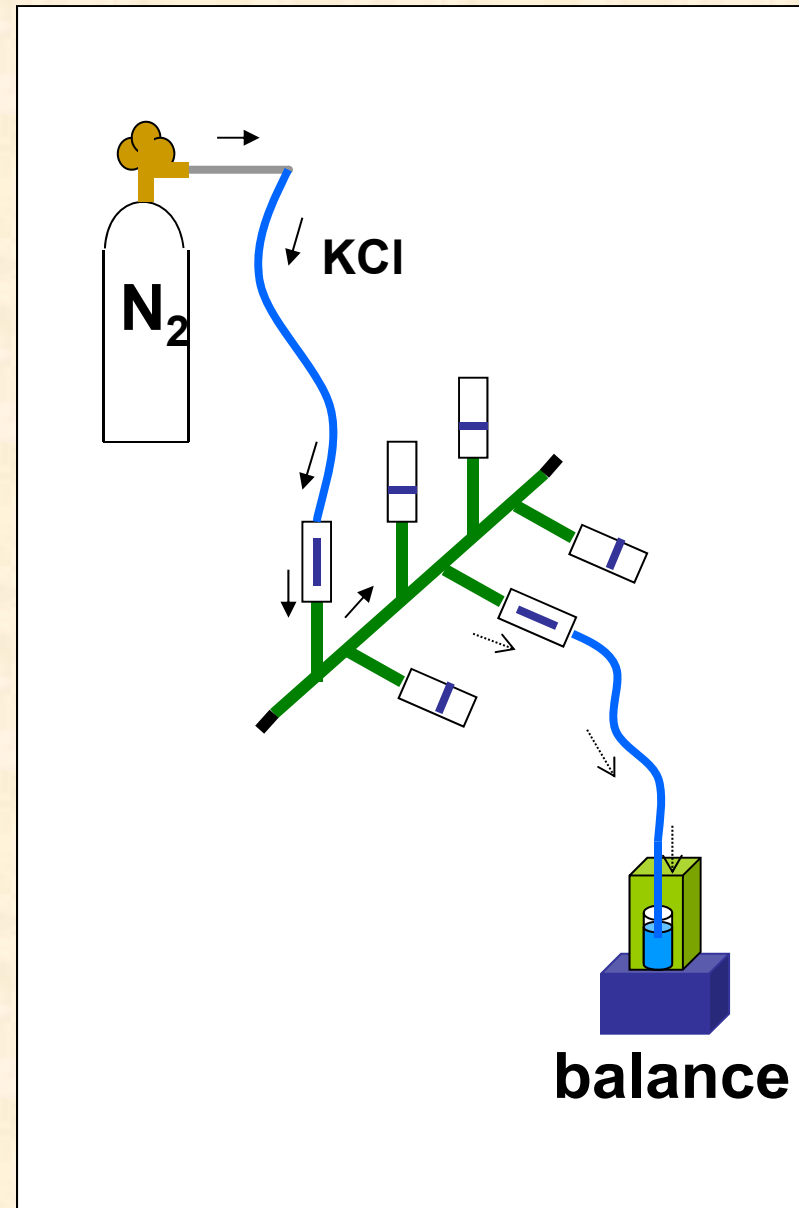
*Acer saccharum*, diffuse-porous  
*Fraxinus americana*, ring-porous

## Alternate-leaved species

*Betula papyrifera*, diffuse-porous  
*Castanea dentata*, ring-porous,  
*Liriodendron tulipifera*, diffuse-porous  
*Quercus rubra*, ring-porous

**Method:** Pushed 10 mMol KCl at known pressure (0.2MPa) using a nitrogen tank, and measured outflow (kg/s) from each petiole using an electronic balance (n=4 per species)

**Conductance = flow rate/pressure**



# Obecný postup při měření hydraulických vlastností xylému stonku

- odběr vzorku
- příprava vzorku
- vlastní měření
- vyhodnocení záznamu
- výpočty
- hodnocení výsledků

# Postup při měření

- Segment stonku průměr 5-7mm, délka 150 mm
- Napojení do aparatury (parafilm, hadičky)
- Vlastní měření:
  - nízký tlak 1-2 (kPa) – (vodivost při embolii)
  - zvýšený tlak 120 (kPa) - odstranění embolie
  - nízký tlak (maximální vodivost)
- Vyhodnocení záznamu – průměry
- Výpočty vodivosti s embolií a bez embolie
- Příčné řezy měřenými segmenty + barvení
- Hodnocení výsledků – tabulky, grafy, fotografie

# Výpočty hydraulické vodivosti nebo odporu

## Hydraulická vodivost:

$$\mathbf{k_h = F / (dP/dx)} \quad (\text{kg s}^{-1} \text{ m MPa}^{-1})$$

**F** – rychlost toku vody ( $\text{kg s}^{-1}$ )

**dP/dx** – velikost tlakového gradientu ( $\text{MPa m}^{-1}$ )

## Specifická hydraulická vodivost:

$$\mathbf{k_s = k_h / A}$$

**k<sub>h</sub>** – hydraulická vodivost

**A** – plocha příčného řezu segmentu

## Cíle experimentu:

- Určit, jak se liší specifická hydraulická vodivost stonků různých dřevin
- Zjistit, jak se druhy liší stupněm embolizace
- Určit, jak hydraulická vodivost a stupeň embolizace závisí na průměrné velikosti (průměru) vodivých elementů