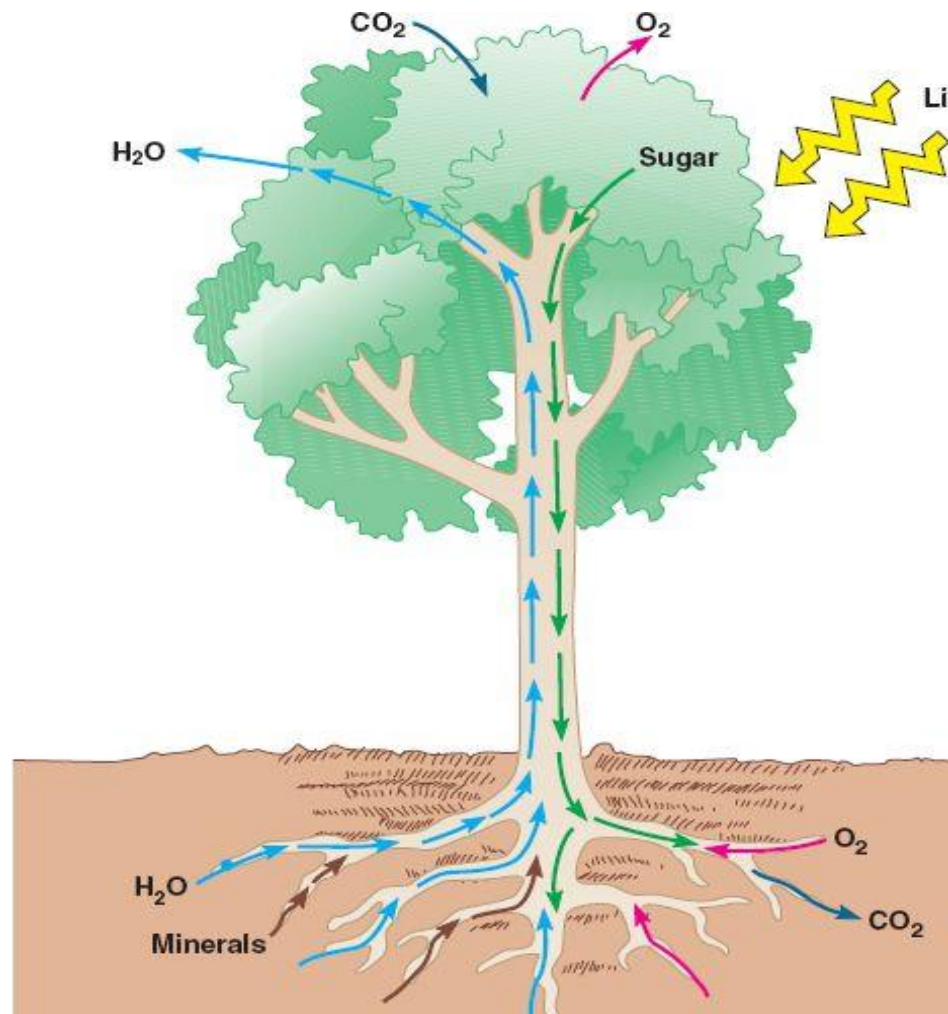


Transport v rostlinách

Kateřina Schwarzerová
Olga Votrubová

Transport v rostlinách



Rostlinou jsou transportovány především následující látky:

Voda: přijímána většinou kořeny

Minerální látky: obvykle přijímány kořeny z půdy

Asimiláty (sacharidy): transportovány z míst jejich syntézy, nebo z míst jejich zásob (např. z hlíz)

Plyny: oxid uhličitý, kyslík, vodní pára

Další, např. fytohormony, regulační látky, proteiny atd.

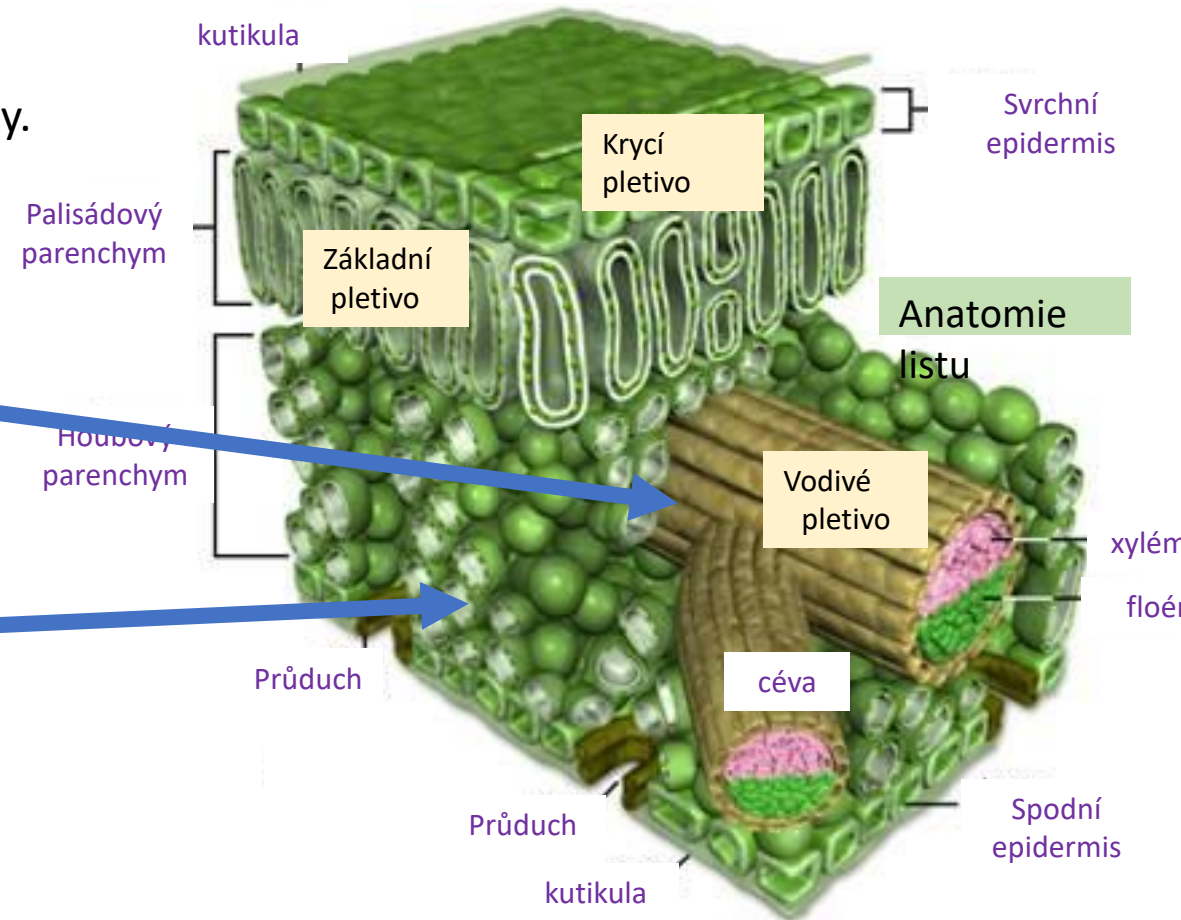
Transport v rostlinách



Transport na dlouhou vzdálenost:
Transport mezi jednotlivými orgány.

Transport na střední vzdálenost:
Transport látek mezi vodivými
pletivy a okolními buňkami.

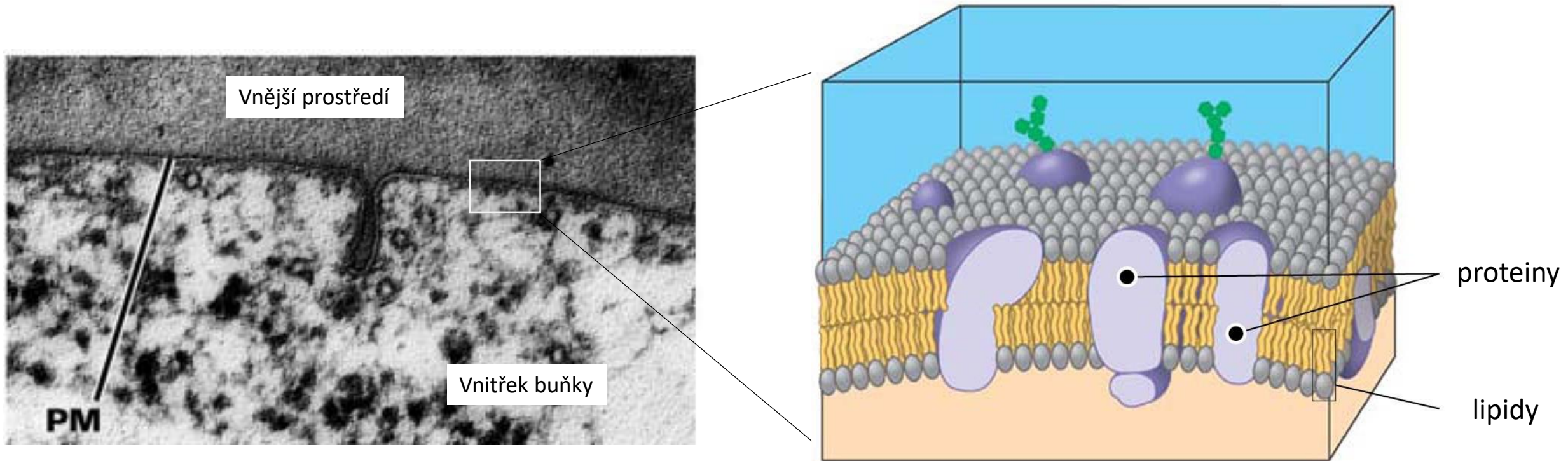
Transport na krátké vzdálenosti:
výměna látek mezi buňkami



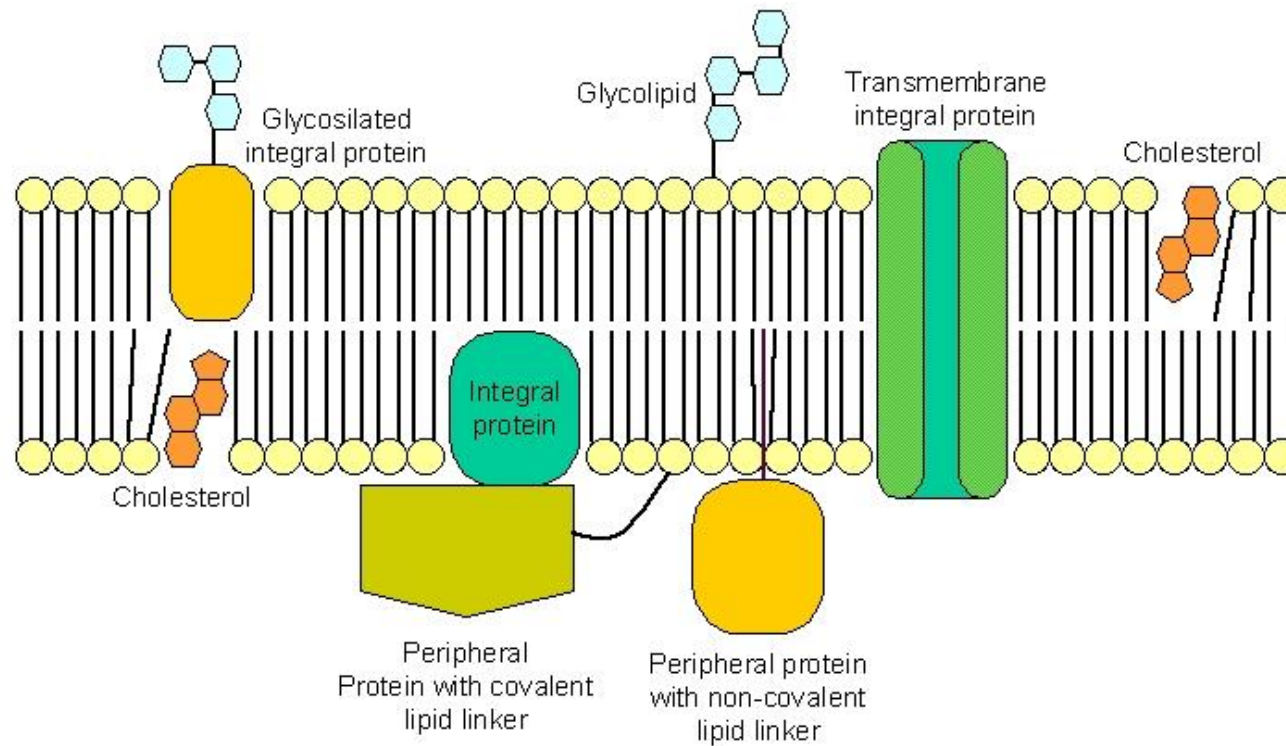
Každá buňka v mnohobuněčném organismu
musí být v dosahu transportního systému!

Transport na krátkou vzdálenost: výměna látek mezi buňkami

Na povrchu každé buňky je plazmatická membrána: lipidická dvojvrstva, která má výrazně semipermeabilní charakter (volně touto vrstvou prochází jen velmi málo látek). V membráně proto fungují transportní systémy – proteinové struktury, schopné transportovat přes membránu pouze vybrané látky.

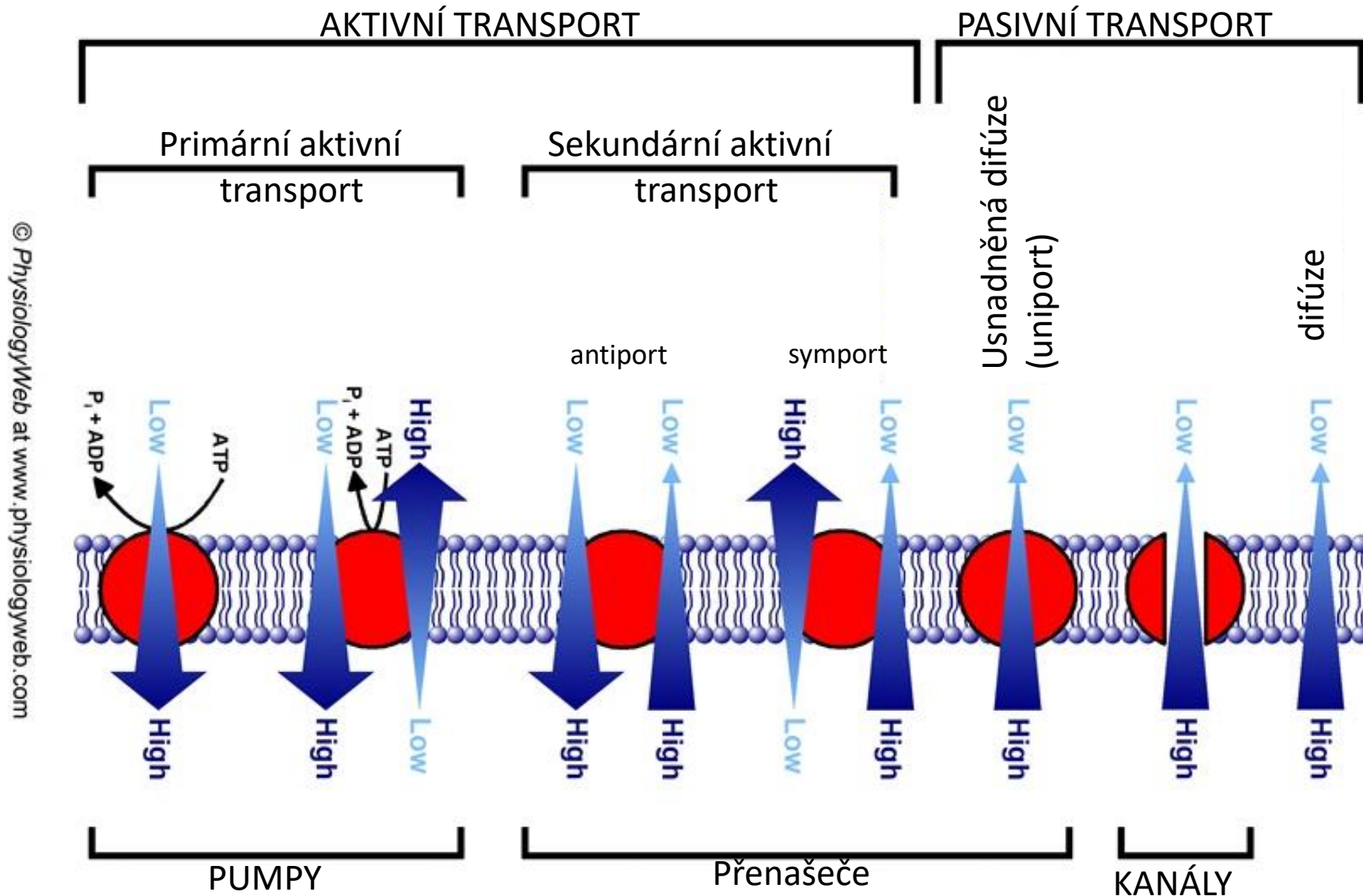


Membrány obsahují velké množství proteinů s různou funkcí



Membrány obsahují velké množství proteinů s různou funkcí

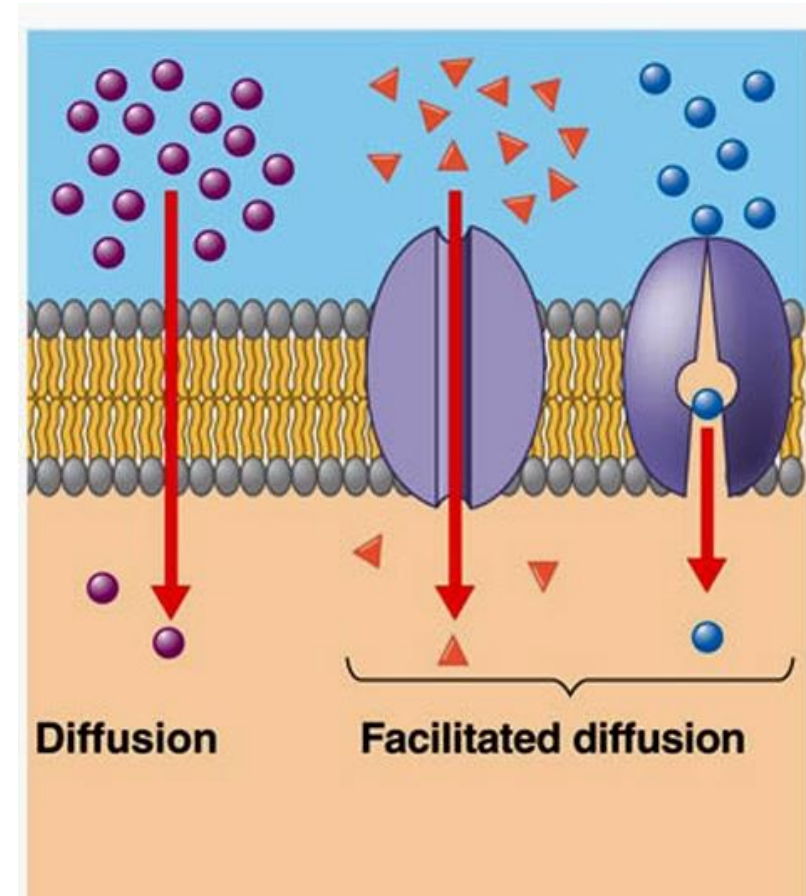
- transportní systémy zajišťují kontrolu příjmu a výdeje látek buňkou



Membrány obsahují velké množství proteinů s různou funkcí

- Pasivní transport

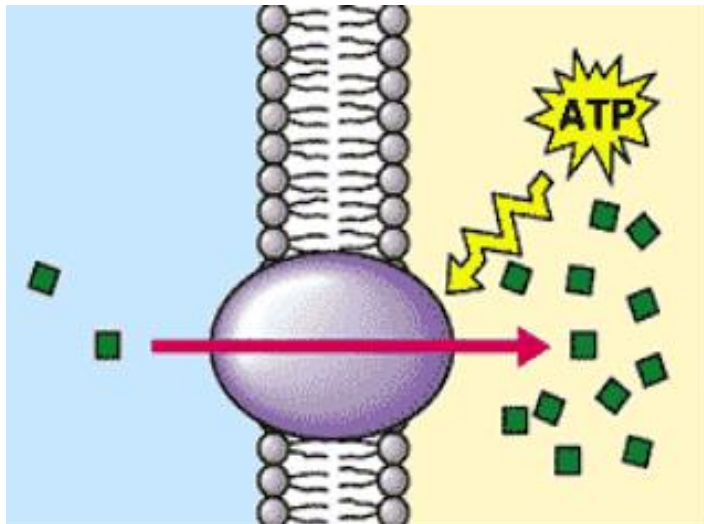
Pasivní transport využívá pro transport přes membránu koncentrační spád dané látky (transportuje z místa s velkou koncentrací do místa s malou koncentrací).



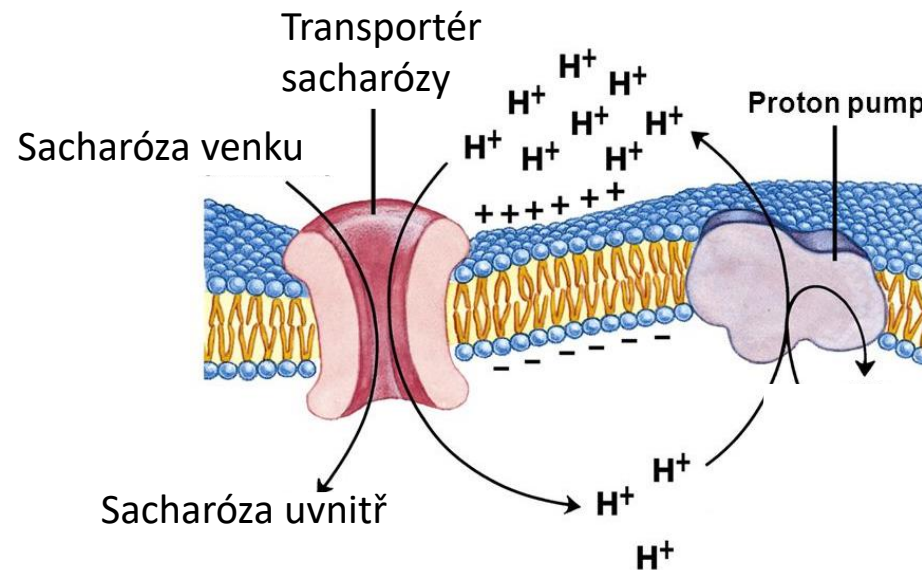
Membrány obsahují velké množství proteinů s různou funkcí

- Aktivní transport (aneb nic není zadarmo)

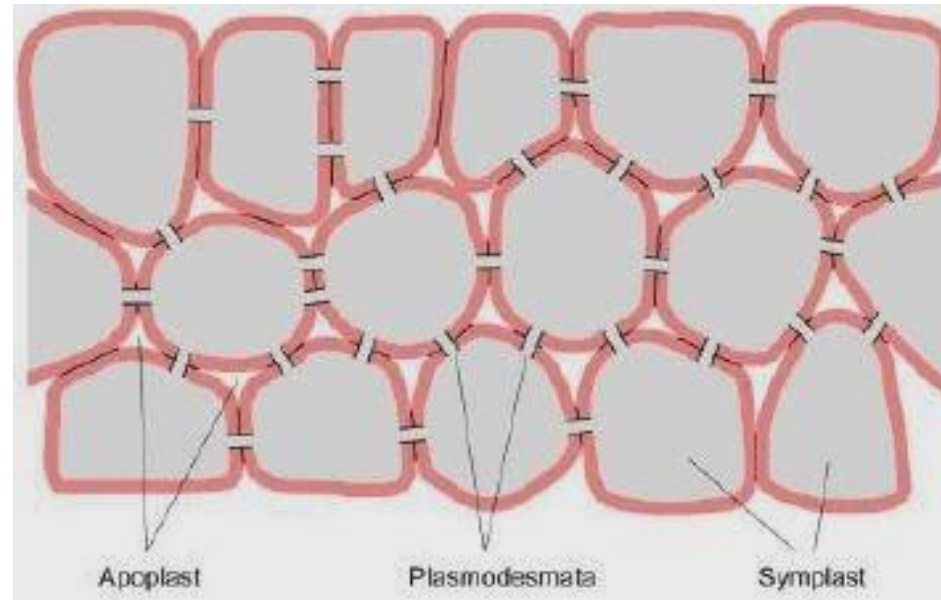
Aktivní transport spotřebovává při přenosu látek energii – štěpí energetickou molekulu ATP...



... nebo využívá energii ve formě nestejně rozdělení pozitivně nabitých iontů na obou stranách membrány

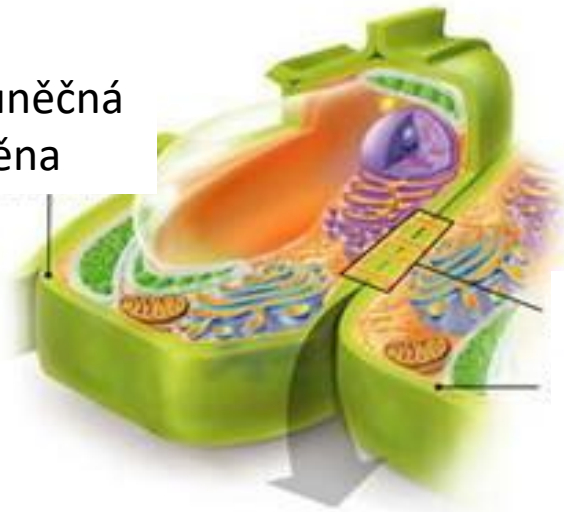


Rostlinné buňky mezi sebou mají vytvořené transportní kanály, pomocí kterých mají propojené cytoplazmy: tzv. **plasmodesmy**



Plasmodesmy

buněčná stěna



plasmodesmy

buněčná stěna

Symplastické spojení pomocí **plasmodesmů** je u rostlinných pletiv běžné. Je jen málo typů buněk, které v dospělé rostlině plasmodesmy nevytvářejí.

Plazmodesmální propojení je důležitou transportní cestou v rostlině. Při transportu skrze plasmodesmy není třeba látku složitě přenášet přes membrány.

Plazmatická membrána

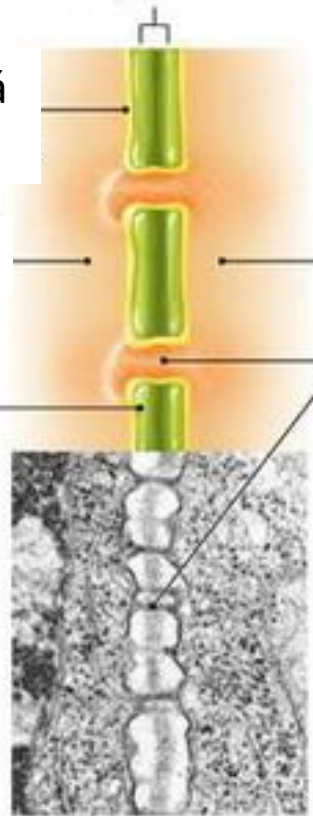
cytoplasma

buněčná stěna

Cell 2

cytoplasma

plasmodesmy

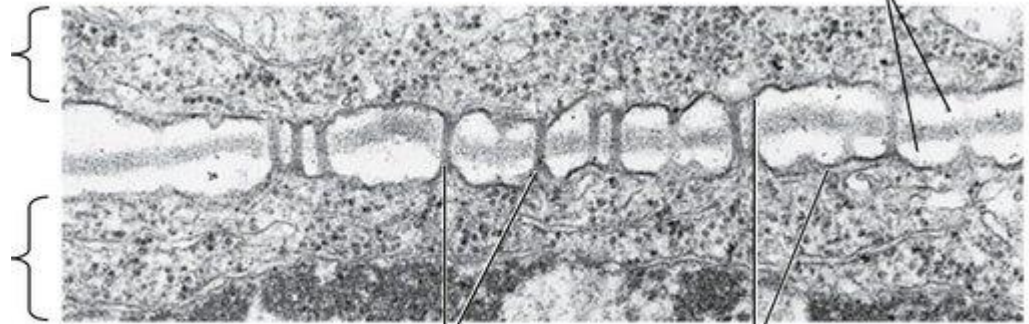


×53,000

buněčná stěna

vnitřek buňky

vnitřek buňky

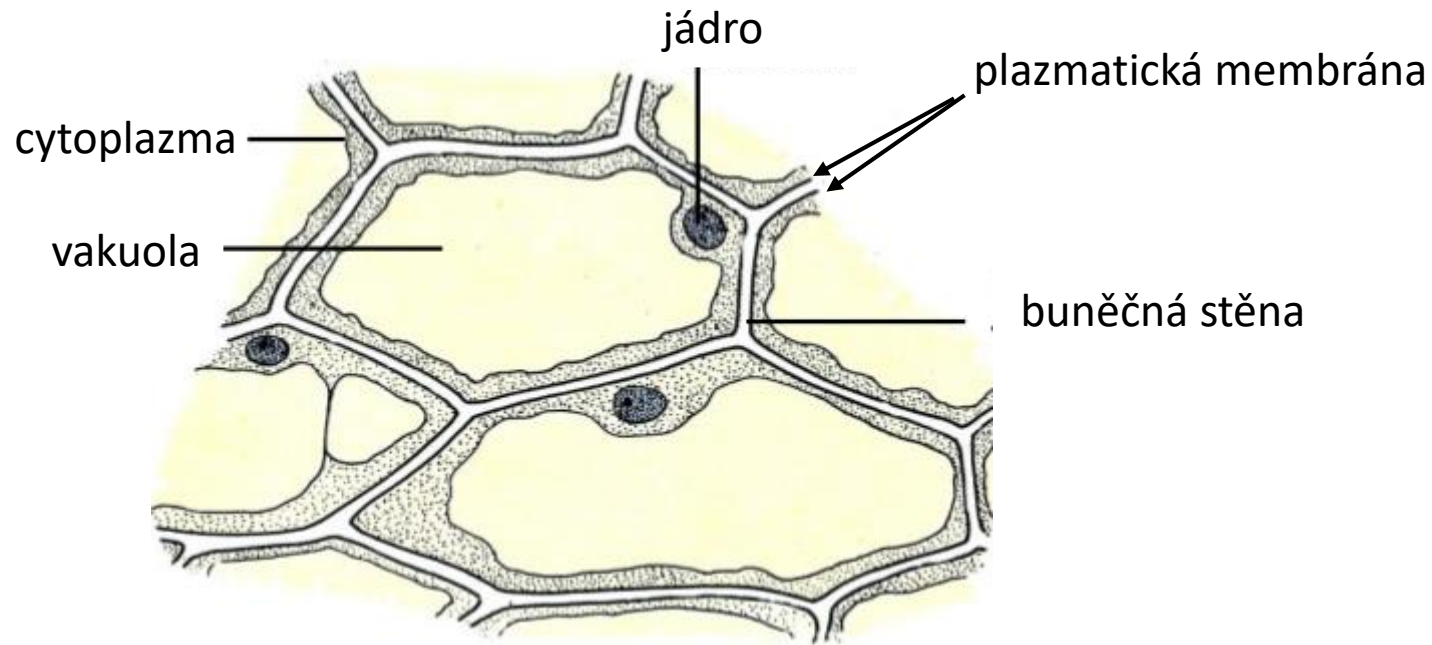


0.5 μm

Plasmodesmy

Plazmatická membrána

Rostlinné buňky tvoří pletiva, ve kterých spolu buňky sousedí buněčnými stěnami



Látka transportována vně plazmatické membrány zůstává v prostoru buněčné stěny (**apoplastu**), pokud není přenesena přes plazmatickou membránu do sousední buňky.

Prostor buněčné stěny – apoplast - je porézní a umožňuje pohyb roztoků s rozpuštěnými látkami.

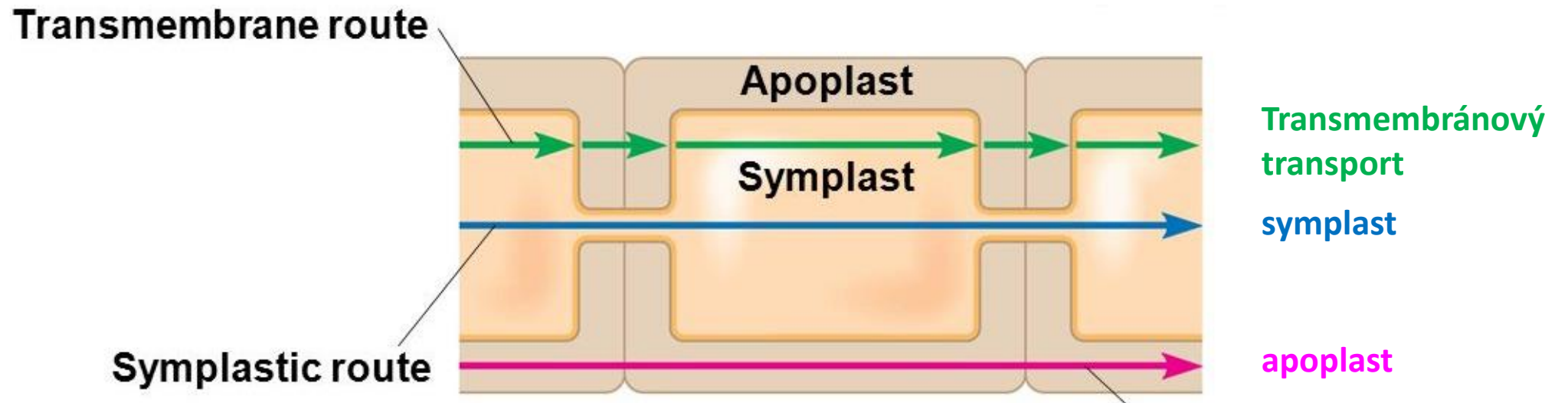
Rostlinné buňky tvoří pletiva, ve kterých spolu buňky sousedí buněčnými stěnami

Pro transport rostlinnými pletivy lze tedy využít několik možností:

Transport **apoplastem**: látka volně difunduje prostorem buněčných stěn

Transport **symplastem**: látka neopouští cytoplazmu a mezi buňkami prochází plasmodesmy.

Transmembránová cesta: látka je při transportu opakovaně transportována přes membrány sousedních buněk



Transport apoplastem nelze regulovat, ale lze vybudovat apoplastickou bariéru

Cesta buněčnými stěnami není účinně regulovatelná a do vodivých pletiv by mohly vstupovat i látky škodlivé. Proto je uzavřena bariérou, tzv. **endodermis**, která je schopna transport stěnou zastavit nebo výrazně omezit. Transportované látky zde musejí vstoupit do cytoplazmy. Přitom musí projít přes membránu a tento vstup může rostlina kontrolovat.

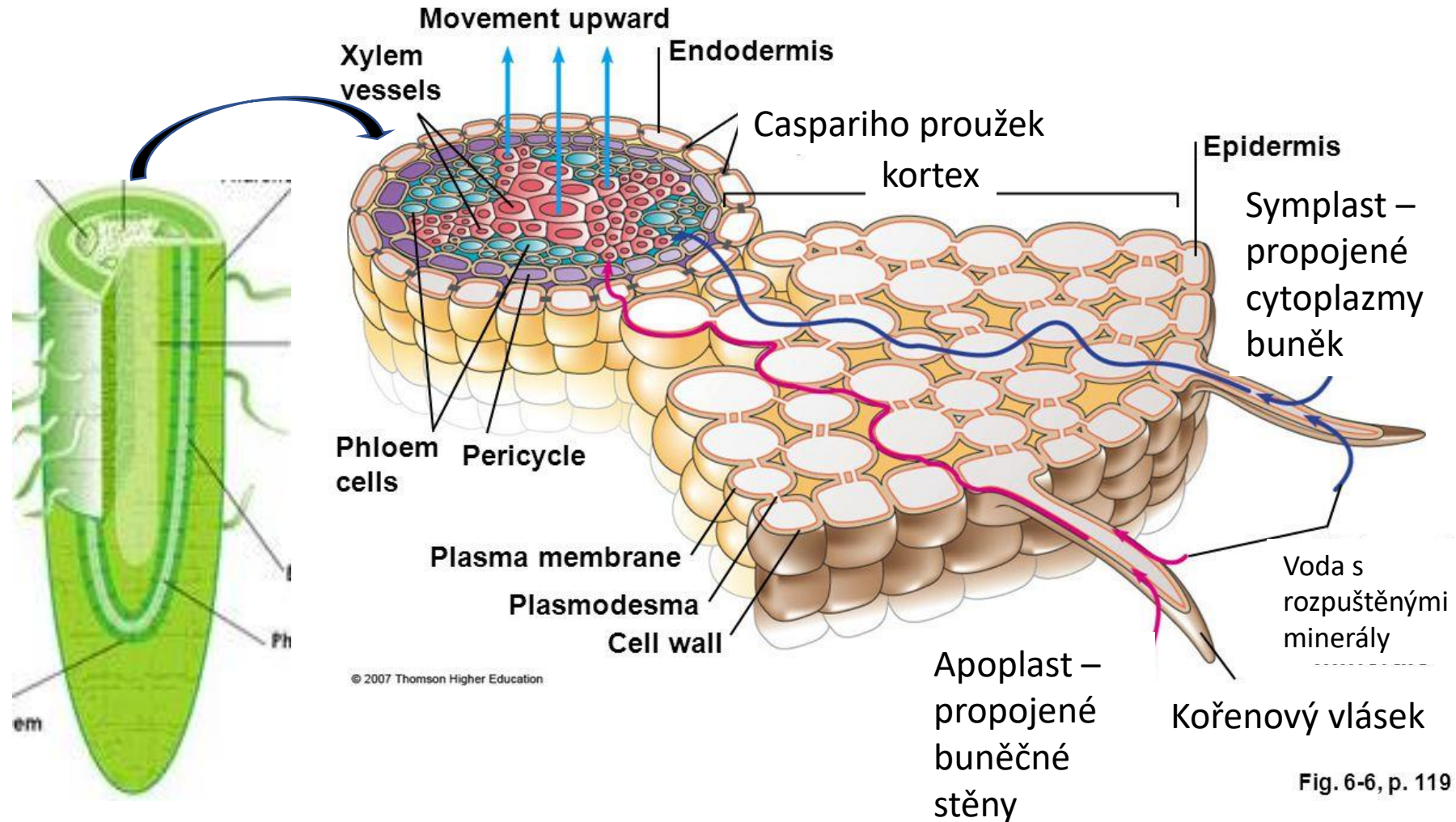
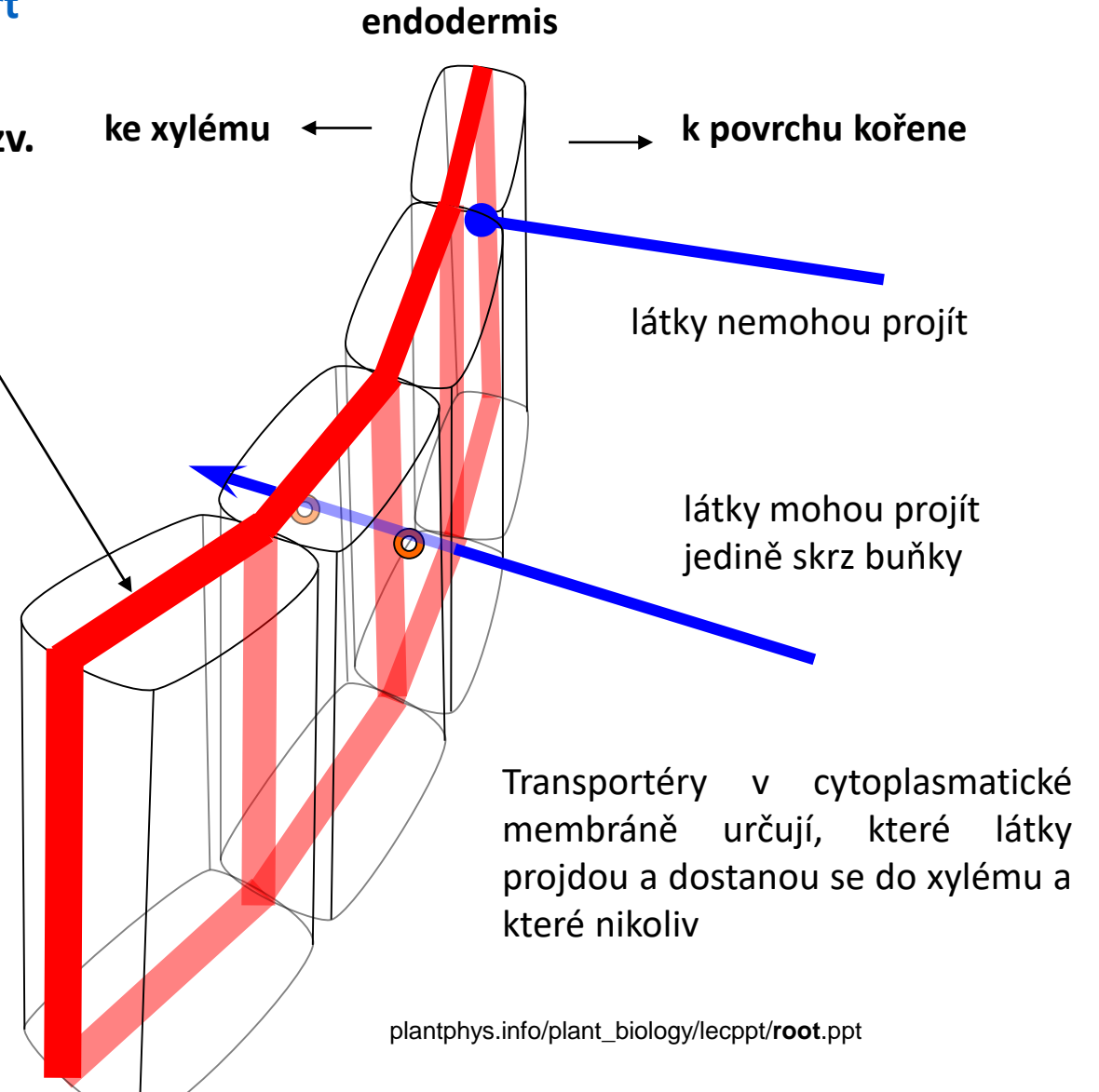
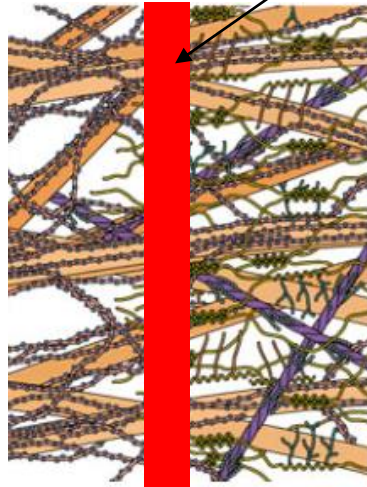


Fig. 6-6, p. 119

Casparyho proužek v endodermis: bariéra pro nekontrolovaný vstup látek do kořene

Jak může endodermis zastavit transport
buněnými stěnami?

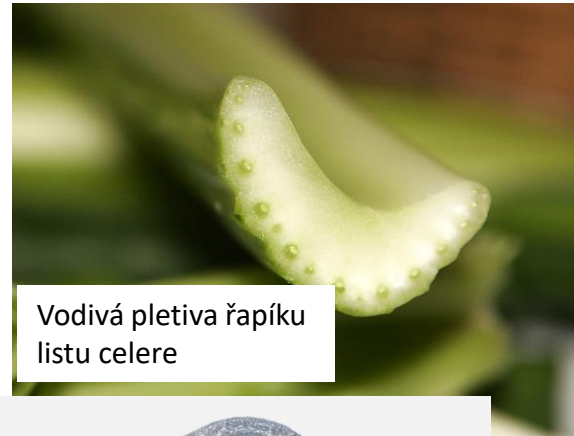
Díky speciální úpravě buněčné stěny, tzv.
Casparyho proužkům. Ty jsou tvořené
ligninem, který ucpává póry ve stěně



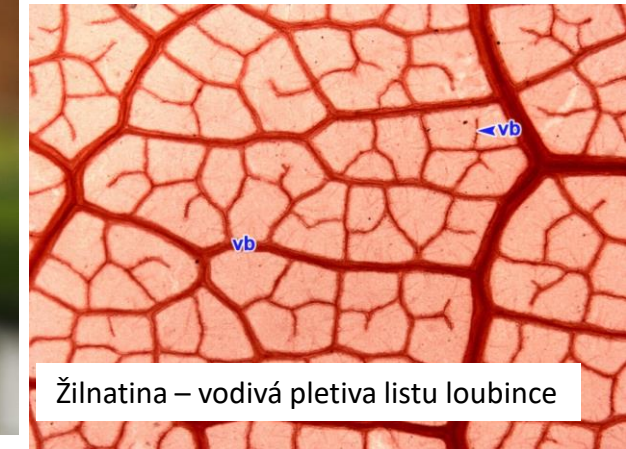
Jak se mohou látky pohybovat na dlouhé vzdálenosti?

Pomocí **vodivých pletiv**. Vodivá pletiva tvoří vzájemně propojený systém, který prochází celým tělem rostliny.

Vodivá pletiva kořene – příčné řezy



Vodivá pletiva řapíku listu celere



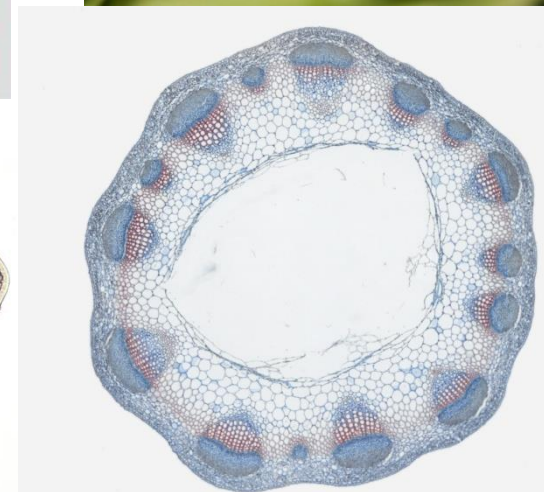
Žilnatina – vodivá pletiva listu loubince



Vodivá pletiva stonku - bavlník



Vodivá pletiva listu smrku



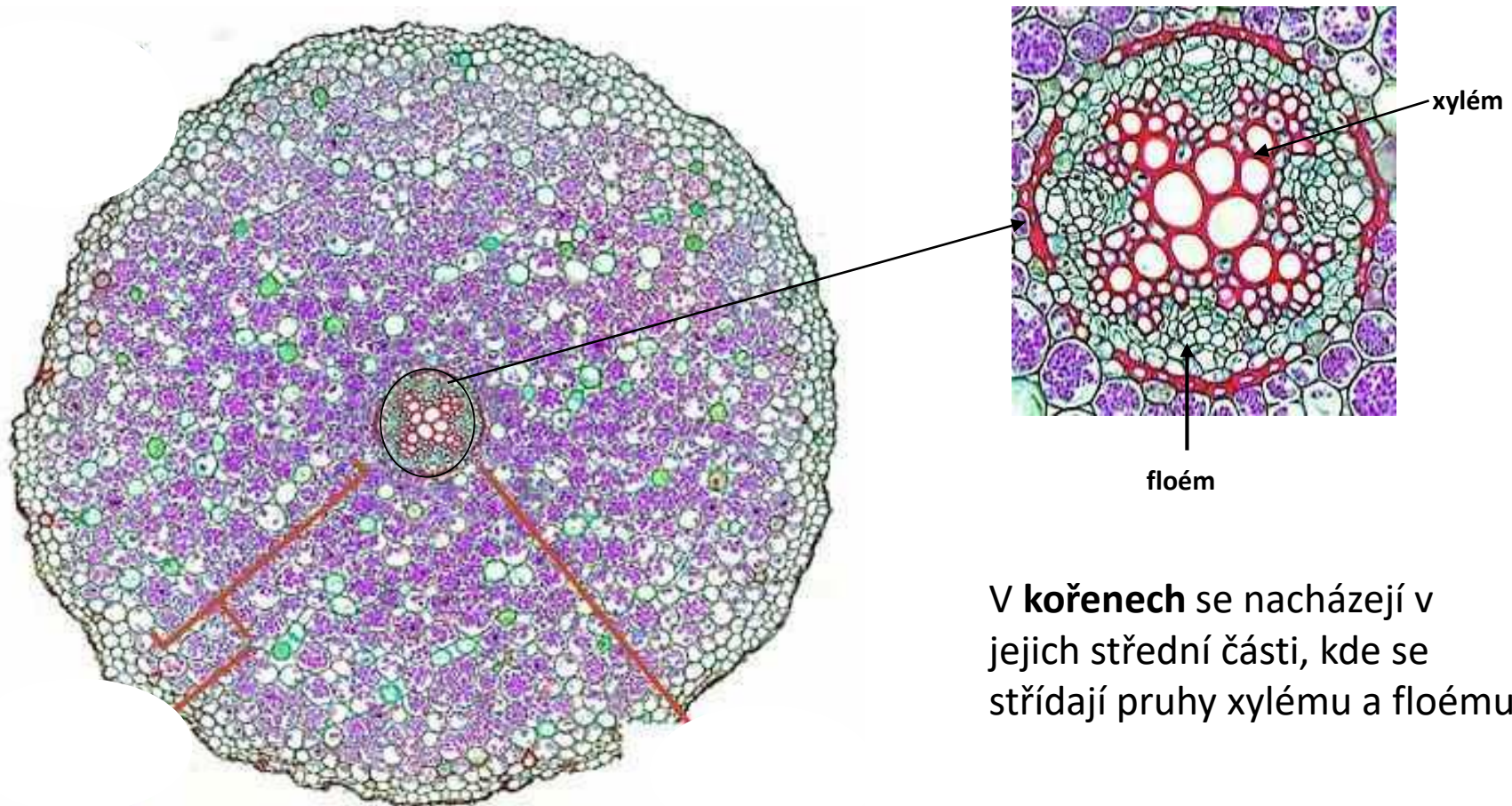
Vodivá pletiva stonku - jetel



Žilnatina – vodivá pletiva listu kukuřice

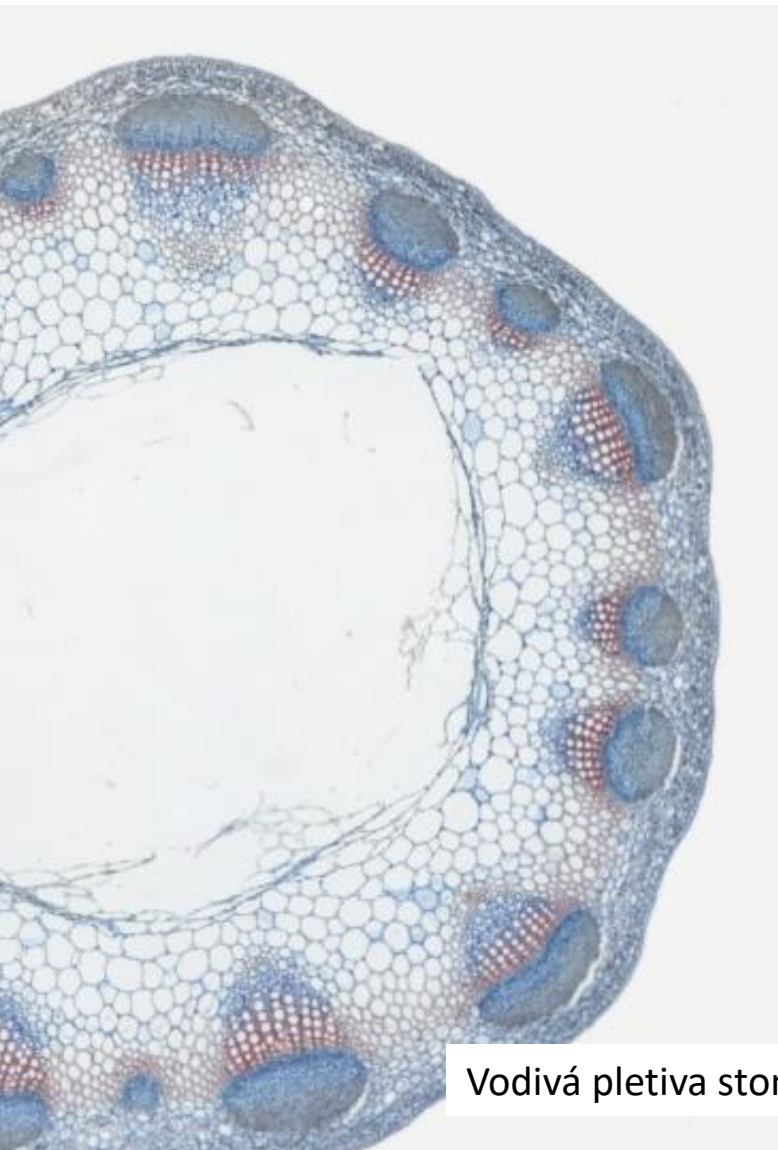
Vodivá pletiva rostlin

Ve vodivých pletivech se nacházejí dvě části, které se liší jak stavbou, tak funkcí. Nazývají se **xylém** (dřevní část) a **floém** (lýková část).

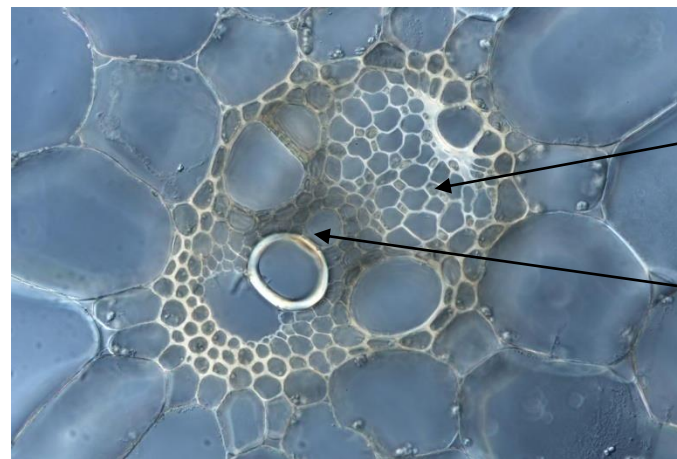


V **kořenech** se nacházejí v jejich střední části, kde se střídají pruhy xylému a floému.

Ve stoncích a v listech je nejčastěji uložen xylém vedle floému, ve struktuře nazývané cévní svazek

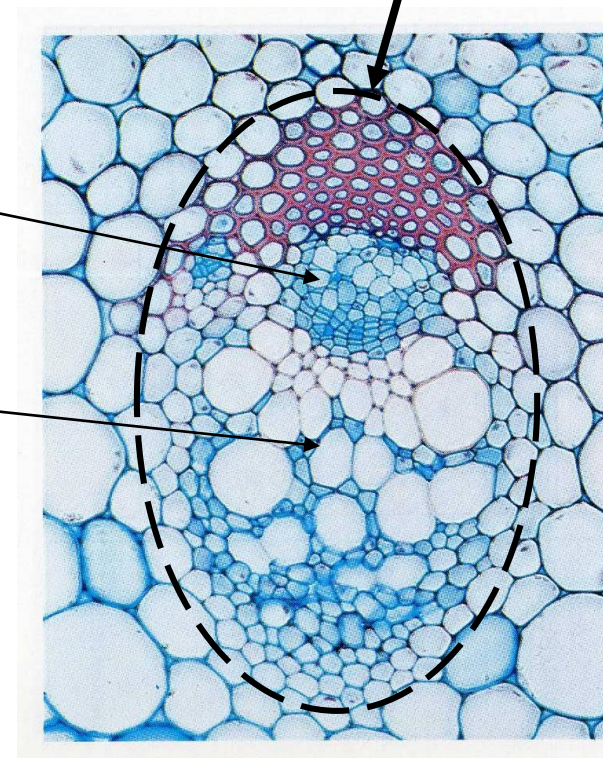


Vodivá pletiva stonku - jetel



floém

xylém



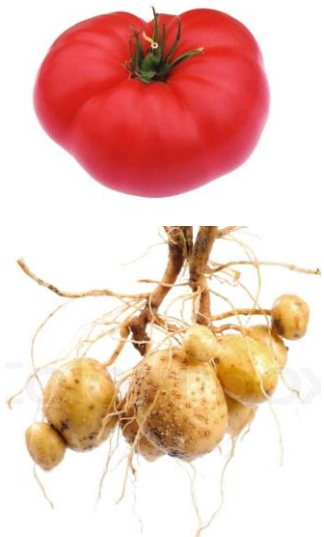
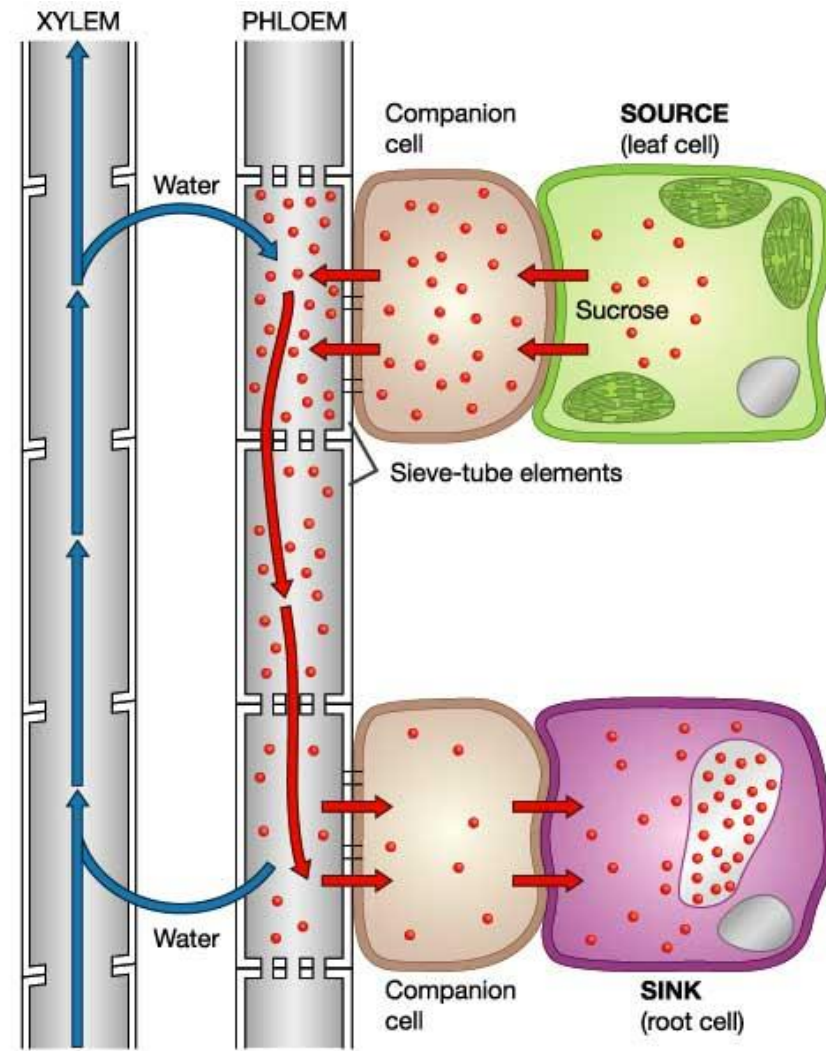
Xylémový transport probíhá od kořenů tzv. vzestupným proudem do nadzemních orgánů.

Transportována je zejména **voda a minerální živiny** přijaté z půdy, v menší míře i některé organické sloučeniny vznikající v kořenech.

Floémem jsou transportovány zejména **asimiláty (obvykle ve formě sacharózy)**, ale i voda a další organické i anorganické látky.

Floémový transport probíhá různými směry, od tzv. **zdrojů**, což jsou místa, kde asimiláty vznikají, především se jedná o listy, případně zásobní orgány, k tzv. **sinkům**, což jsou místa, kde se asimiláty spotřebovávají nebo ukládají do zásoby.

Xylém a floém se liší stavbou a funkcí



Xylém aneb cesta vody rostlinou

Transport vody rostlinou má pasivní charakter a hlavním hnacím mechanismem je **rozdíl vodních potenciálů** (kořen), **hydrostatický tlak** (xylém), a **rozdíl tlaku vodní páry** (listy).

Přesto je transport vody rostlinou velmi pečlivě **regulován**, aby nedocházelo k dehydrataci rostlinných pletiv.

Voda je rostlinou přijímána kořeny. Na povrchu kořenů se vyskytují jemné struktury **kořenových vlásků**, které jsou v blízkém kontaktu s částicemi půdy a zvyšují absorpční plochu kořene.

Voda s rozpuštěnými minerály se pohybuje apoplastem či symplastem až k endodermis. Zde apoplastická bariéra **Casparyho proužek** zajistí výhradně symplastický transport, a do cévního svazku tak vstupuje již jen voda a vybrané látky.

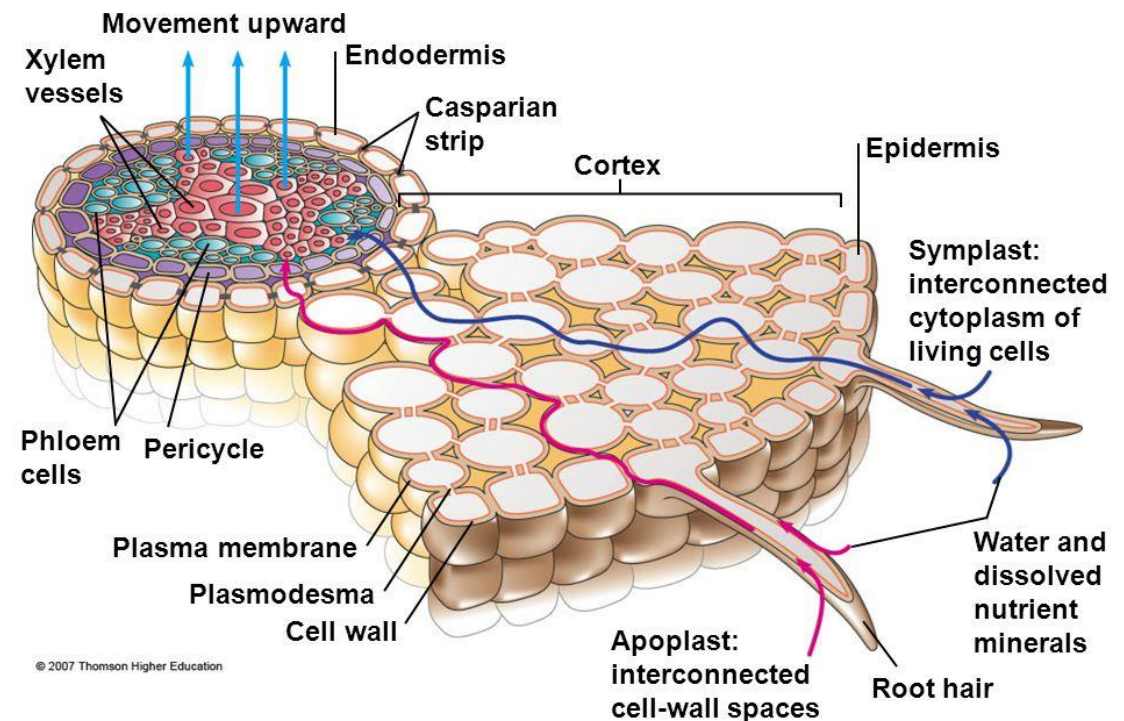
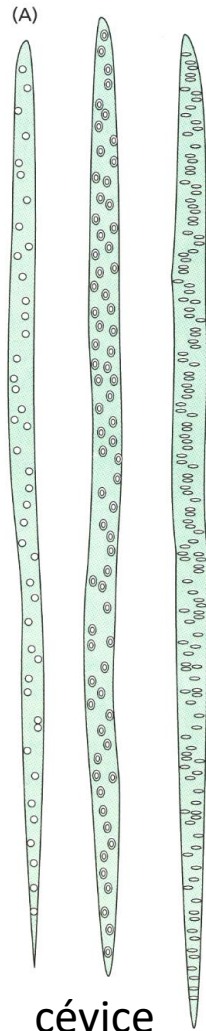
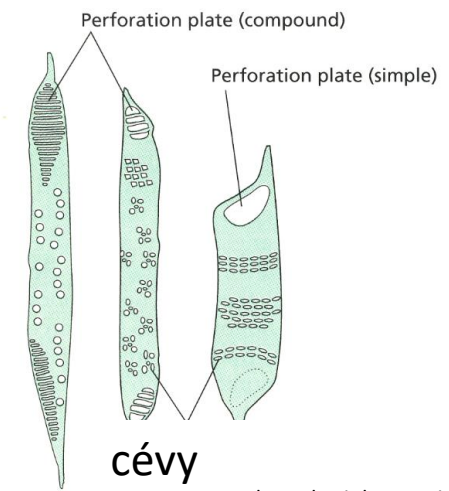
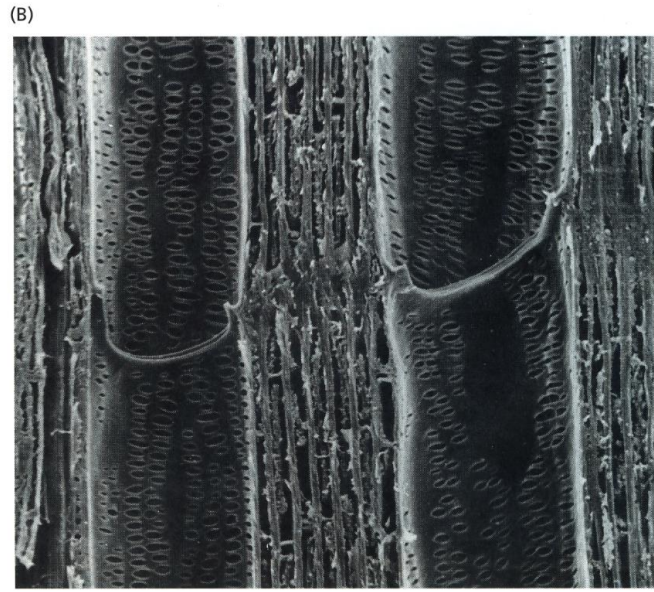


Fig. 6-6, p. 119

Vodivé dráhy v xylému jsou cévy a cévice; obojí jsou tvořeny mrtvými buňkami, které mají silné a pevné buněčné stěny. Transport probíhá kapilárami vzniklými v místech odumřelého protoplastu

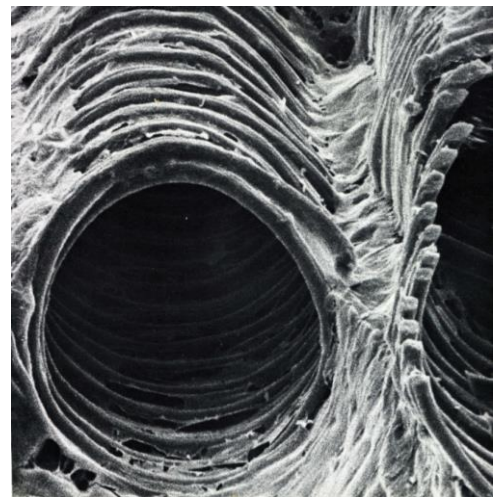


cévice



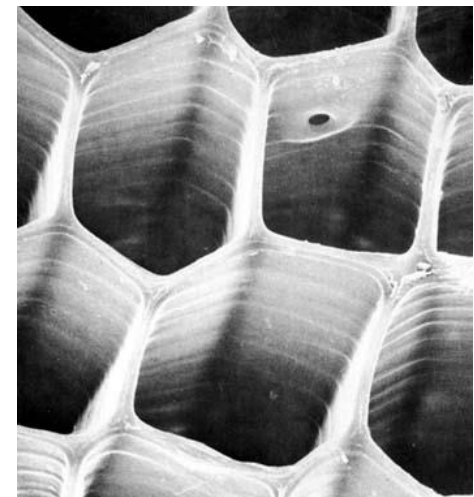
cévy

Plant Physiology, Taiz and Zeiger, 1998



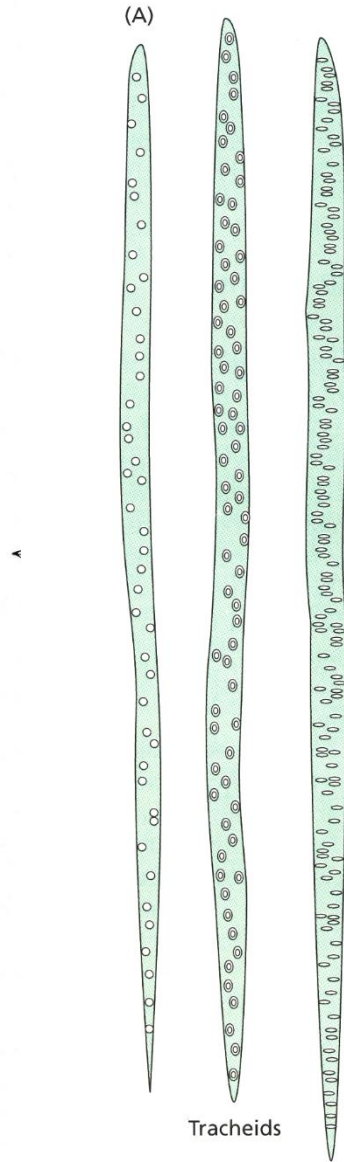
Pohled do cévy ze stonku okurky seté (*Cucumis sativus*)

Troughton, Donaldson: Probing Plant Structure, 1972

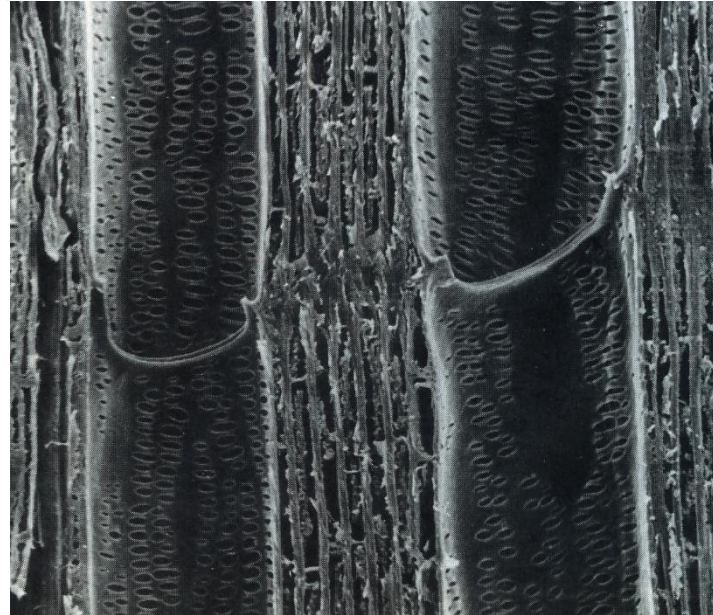
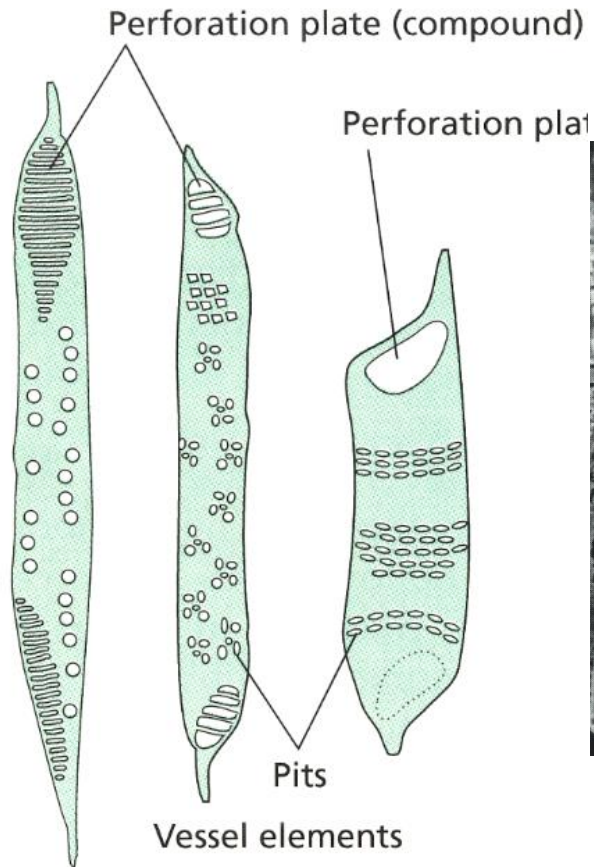


Pohled do cévic douglasky (*Pseudotsuga menziesii*)

Crang, Vassilyev Plant Anatomy, CD



Cévice jsou úzké, obvykle dlouhé buňky typické pro nahosemenné rostliny a kapradiny. Spolu s cévami se vyskytují i u rostlin krytosemenných. Transport z jedné cévice do druhé probíhá přes buněčnou stěnu v místech jejího ztenčení.



Cévy jsou trubicovité útvary složené z většího počtu buněk, které na sebe navazují svými koncovými stěnami; ty jsou v různé míře perforované. Vyskytují se hlavně u krytosemenných rostlin

(Dřevo: soubor cév a cévic vznikajících v průběhu roku)

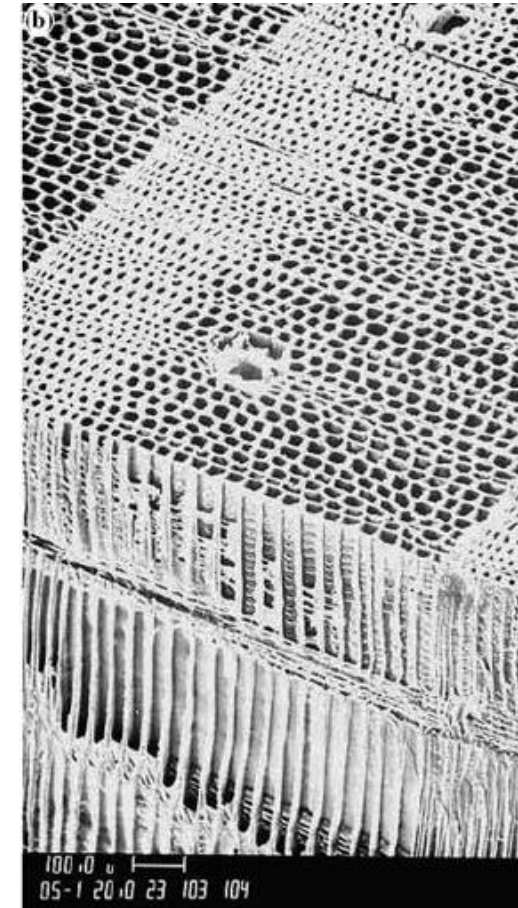
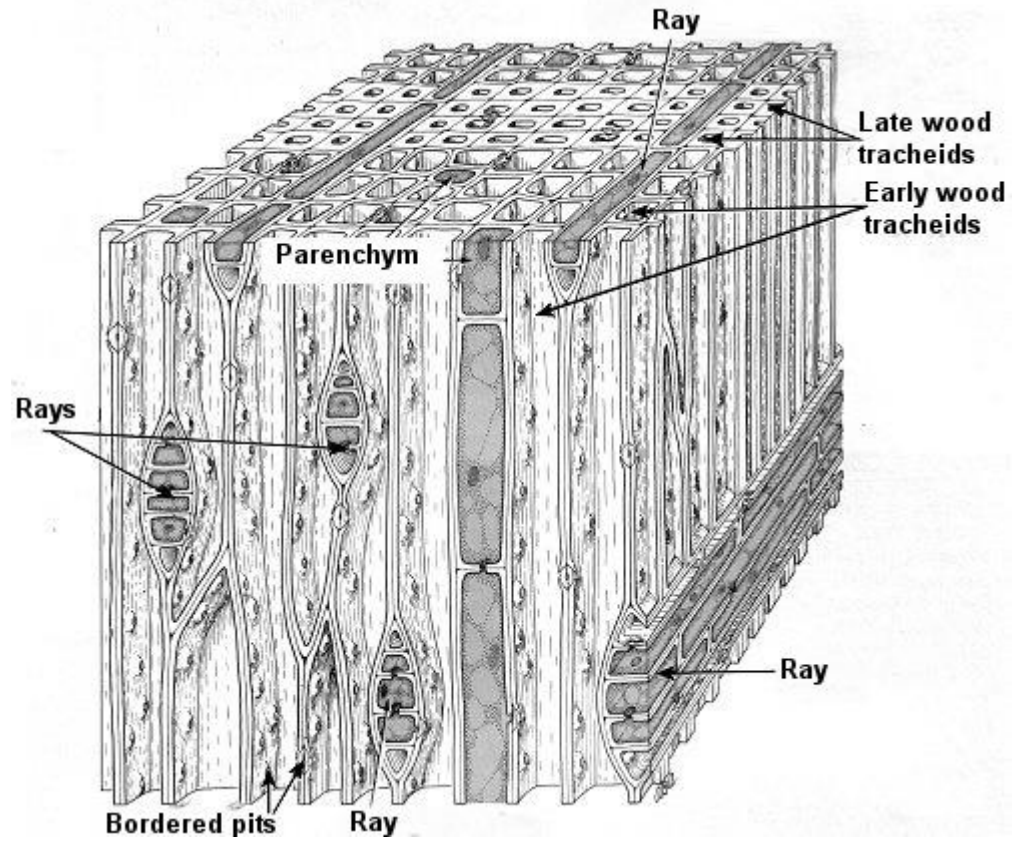


Schéma průřezu dřevem sekvoje

Transport vody kapilárami xylému je výkonný systém s malým odporem pro vodu

Transport vody xylémem zajišťuje dostatečný tok vody vzhůru i v kmenech vysokých desítky metrů!

Mechanismus?

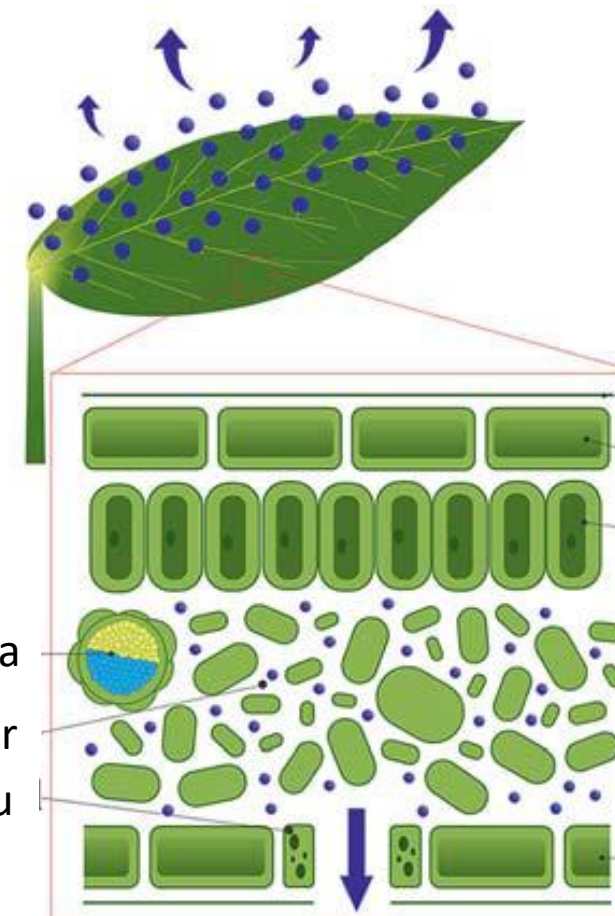
1. Voda je velmi speciální látka. Jednou z jejích důležitých vlastností je vysoká **koheze** molekul vody k sobě. Důsledkem je např. vysoké povrchové napětí vody
2. Další důležitou vlastností je vysoká **adheze** molekul vody k různým povrchům. Důsledkem jsou kapilární jevy.
3. V listech rostlin probíhá **transpirace** – vypařování vody do prostředí. To způsobuje vysoký rozdíl vodních potenciálů mezi listy a vodivými pletivami, který žene vodu z vodivých pletiv do prostředí listů, a ve vodivých pletivech tak zvyšuje negativní hydrostatický tlak – vzniká **podtlak**.



Xylém je tvořen buňkami se silnými buněčnými stěnami, které tvoří kapiláry, které musí vydržet vysoký podtlak!

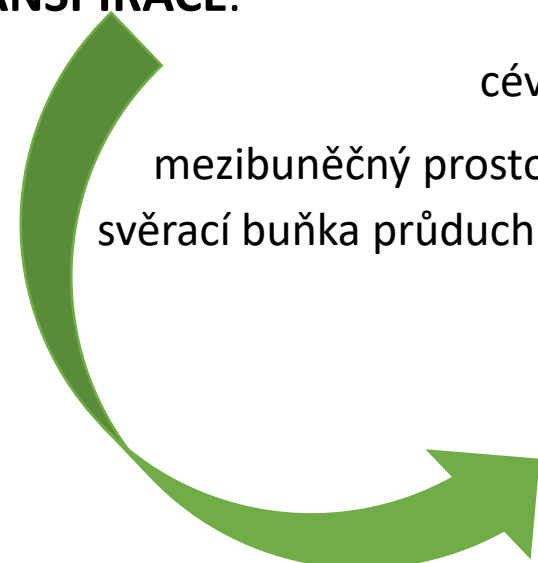
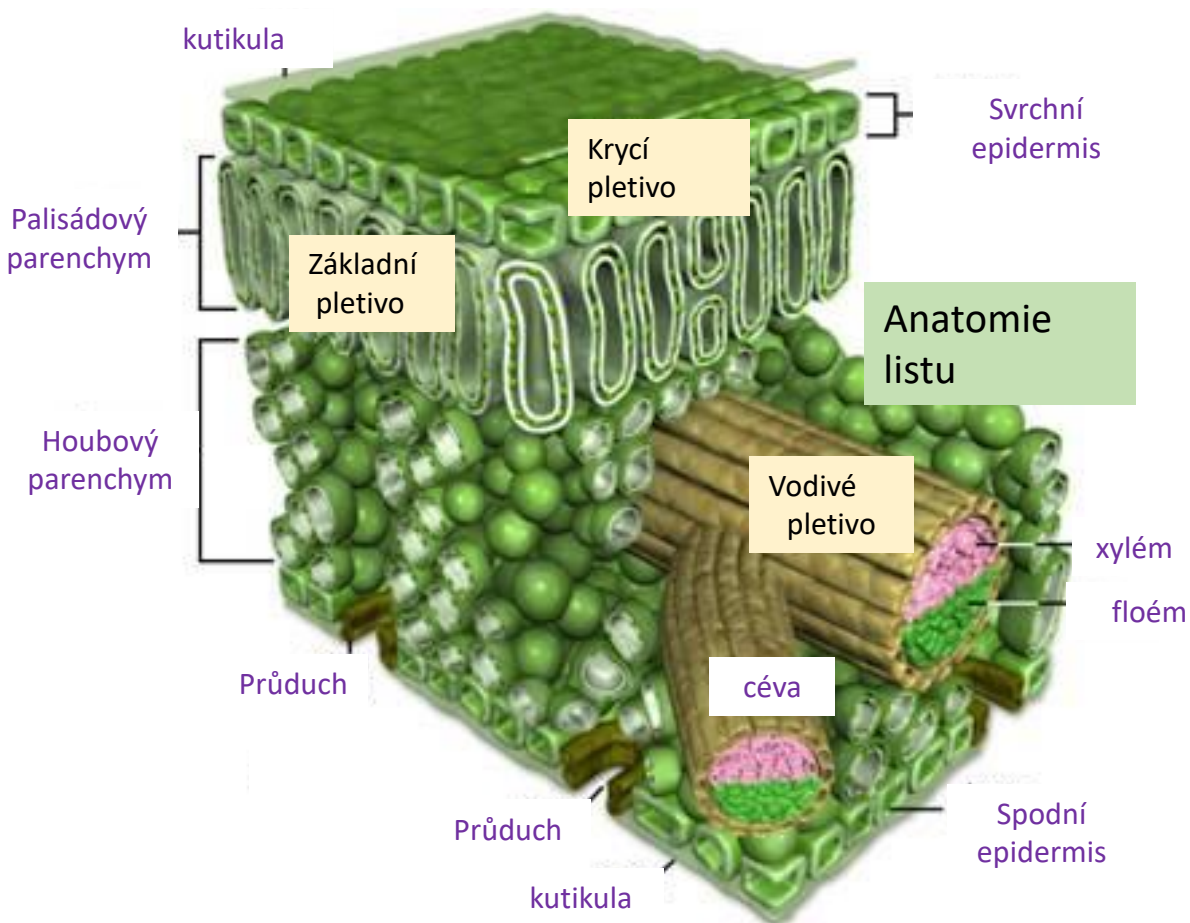
Transpirace v listech je hnacím mechanismem pohybu vody xylémem

Pletivo listu obsahuje velké množství mezibuněčných prostor. Do nich se z povrchu buněk vypařuje voda. Tato vodní pára dále uniká průduchy. Tomuto procesu říkáme **TRANSPIRACE**.

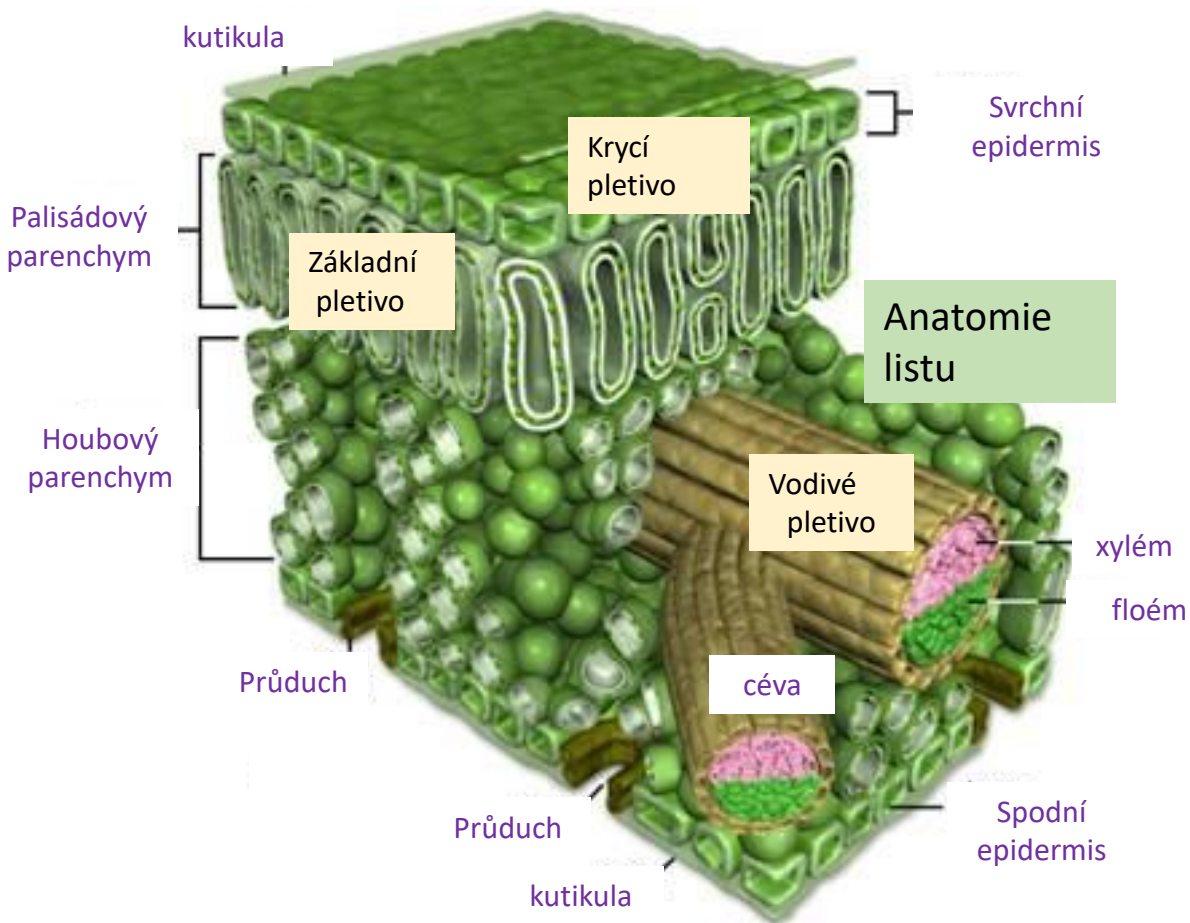


Transpirace (vypařování vody) skrze průduchy.

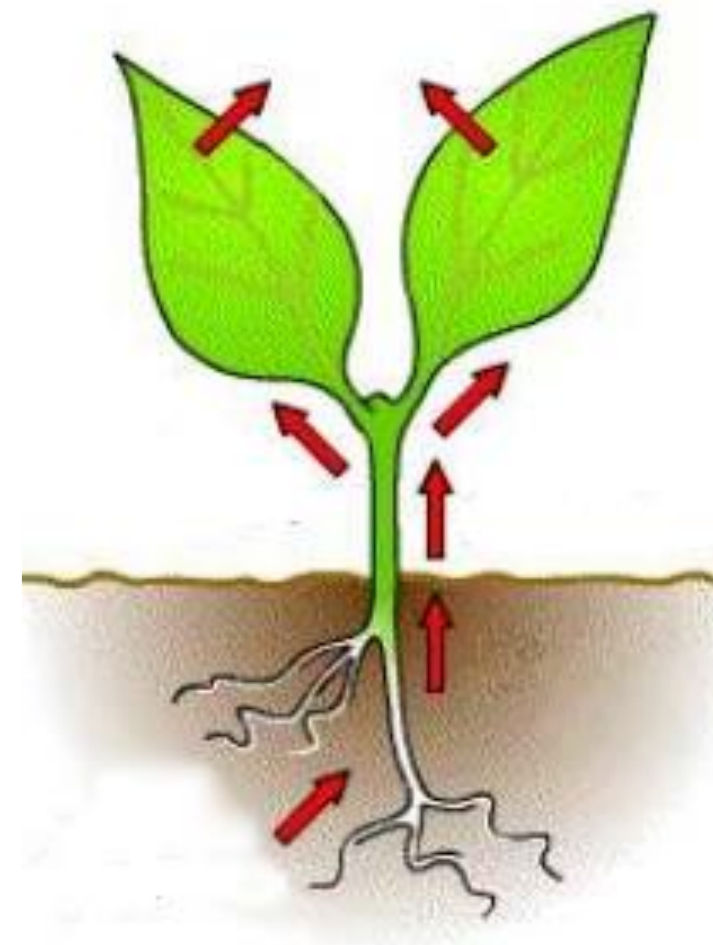
(Transpirací se vylučuje až 95% vody přijaté kořeny)



Transpirace v listech je hnacím mechanismem pohybu vody xylémem

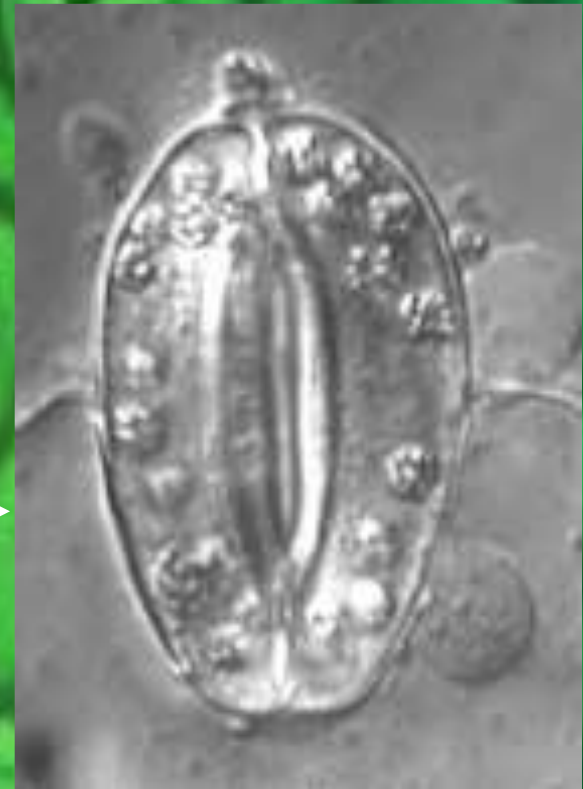


Tento mechanismus snižuje vodní potenciál v listech a vynucuje si další přísun vody z xylému. Transpirace tak pohání transpirační proud vody v xylému.



Lze transpirační proud, který spoléhá na pasivní pochody, regulovat? Ano!

Voda z listu je obvykle vydávána ve formě vodní páry průduchy a její výdej je velmi dobře regulován otevíráním a zavíráním průduchů, tvořených dvěma svěracími buňkami.



Někdy může být voda vydávána i jako kapalina tzv. **hydatodami** (gutace). Hydatody jsou útvary na koncích listů zakončené póry, což jsou velké průduchy, které jsou trvale otevřené. Voda je vytlačována hydatodami tehdy, když vzduch je nasycen vodními parami a transpirace tedy nemůže probíhat (např. brzy ráno, časté též v tropech).

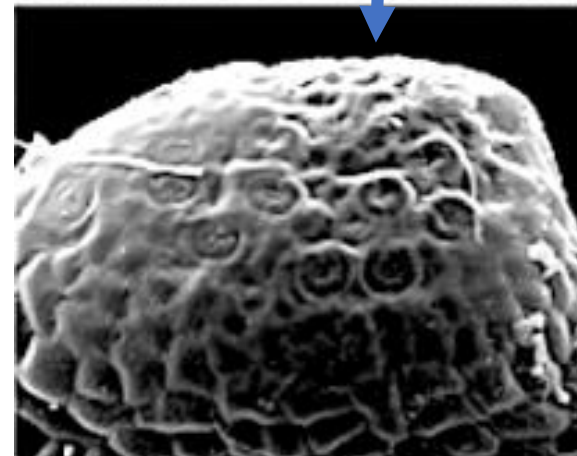
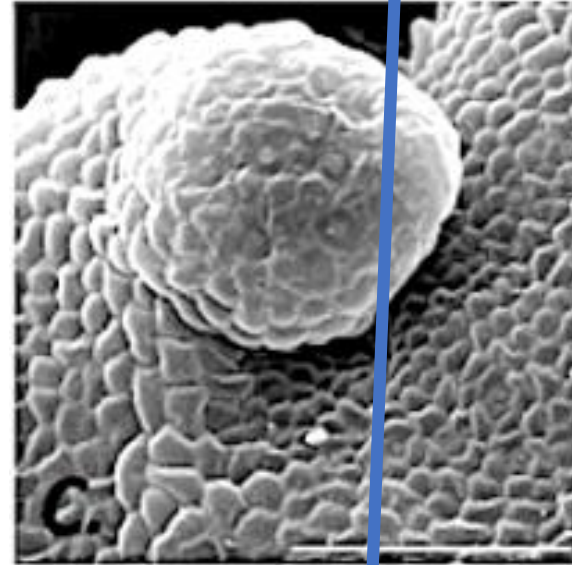


Gutace u listů jahodníku



Gutace u přesličky

Hydatody u listů zvonku



Campanula carpatica

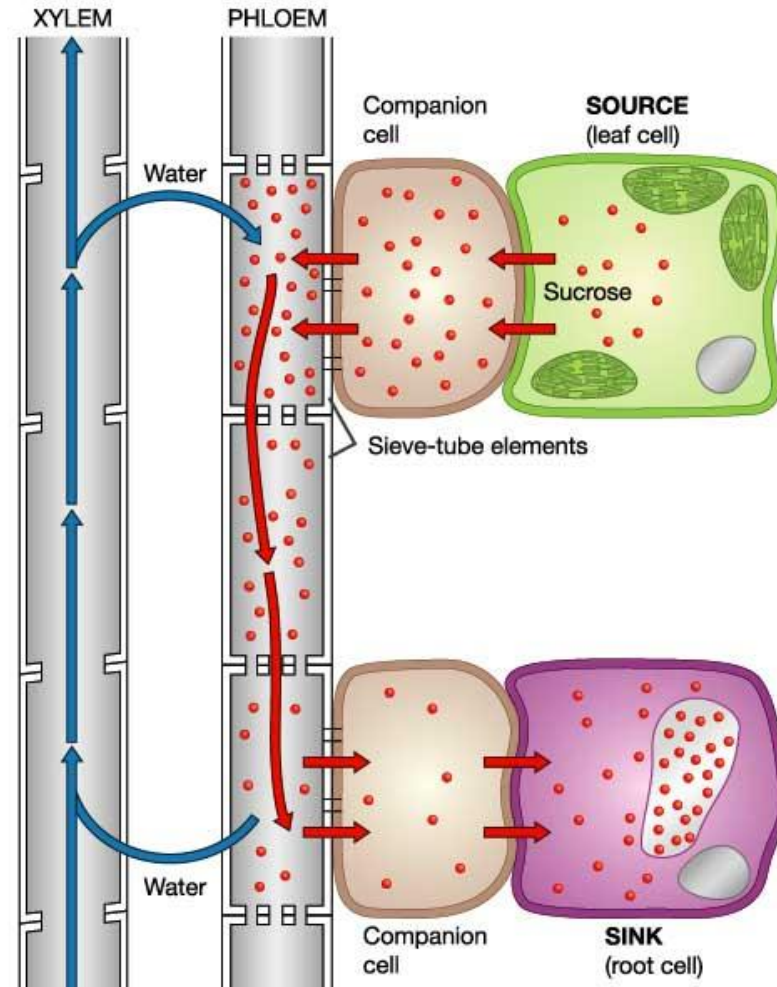


<https://www.youtube.com/watch?v=JFb-CWlz7kE>

Floém aneb cesta asimilátů

Vodivé dráhy ve floému jsou **sítkovice**. Sítkovicemi (floémem) jsou transportovány hlavně cukry (asimiláty), vzniklé v listech procesem fotosyntézy.

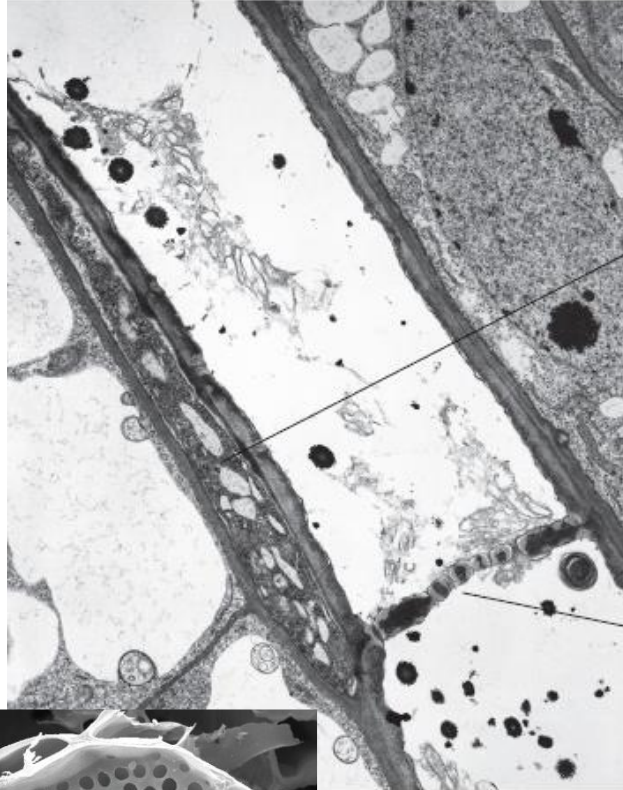
Místo, kam jsou cukry transportovány pro další využití, je nazýván **sink**.



Floém aneb cesta asimilátů

Vodivé dráhy ve floému jsou **sítkovice**

TEM in LS



companion cell

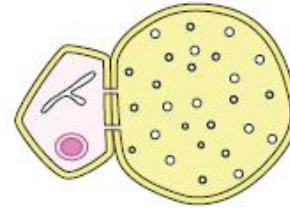
Doprovodné buňky obsahují cytoplazmu, jádro a všechny organely

Perforovaný konec buňky

plasmodesmata – cytoplasmic connections with sieve tube cell cytoplasm

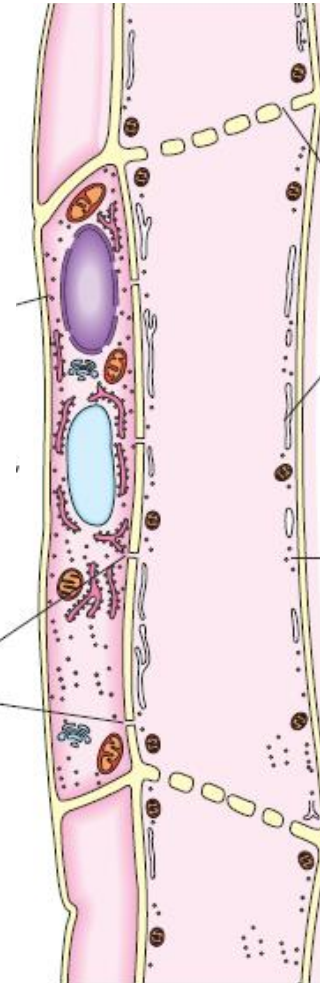
Sítkovice a doprovodné buňky

Perforovaný konec buňky – pohled svrchu



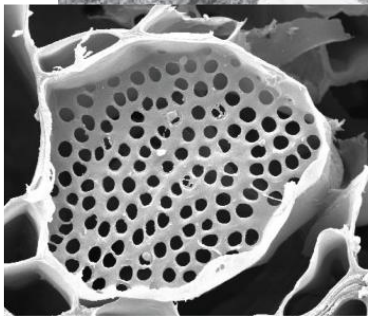
Sítkovice s perforovanými konci buněk

lining layer of cytoplasm with small mitochondria and some endoplasmic reticulum, but without nucleus, ribosomes or Golgi apparatus

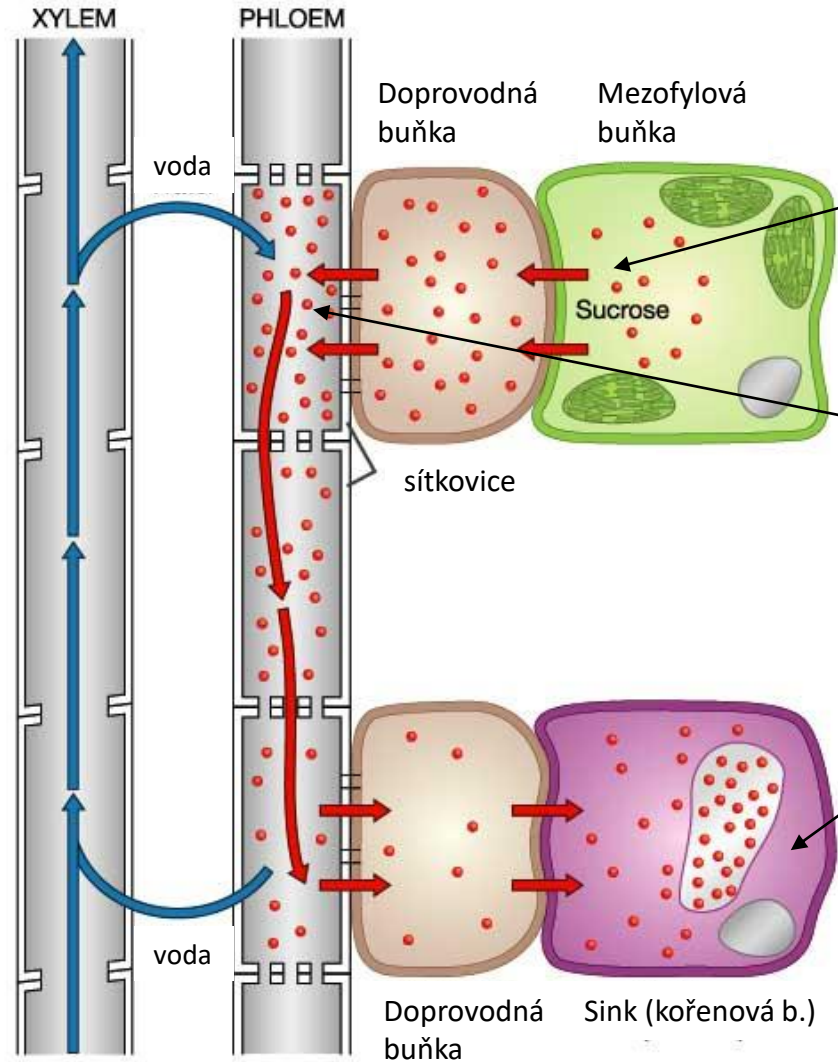


Sítkovice jsou složeny z buněk, které jsou spojeny svými koncovými stěnami. Ty obsahují velké množství otvorů (plasmodesmů), které mohou dosahovat značných velikostí.

Buňky tvořící sítkovice jsou živé, ale nemají buněčné jádro. Proto je doprovázejí další buňky, nazývané **doprovodné**, které jádro obsahují.



Do floému jsou asimiláty „nakládány“ v místě jejich vzniku – v listech



Sacharóza v mezofylových buňkách, vzniklá procesem fotosyntézy, je přenášena proteinovými transportéry přes plazmatickou membránu do doprovodných buněk a dále do sítkovic.

Zde se cukry hromadí, což znamená, že vlivem osmotických sil do sítkovic proudí též voda. Vzniklý tlak posunuje cukry dále sítkovicemi až k místu sinku.

V sinku jiné proteinové transportéry v membránách cukry přenášejí do buněk, kde jsou cukry metabolizovány.

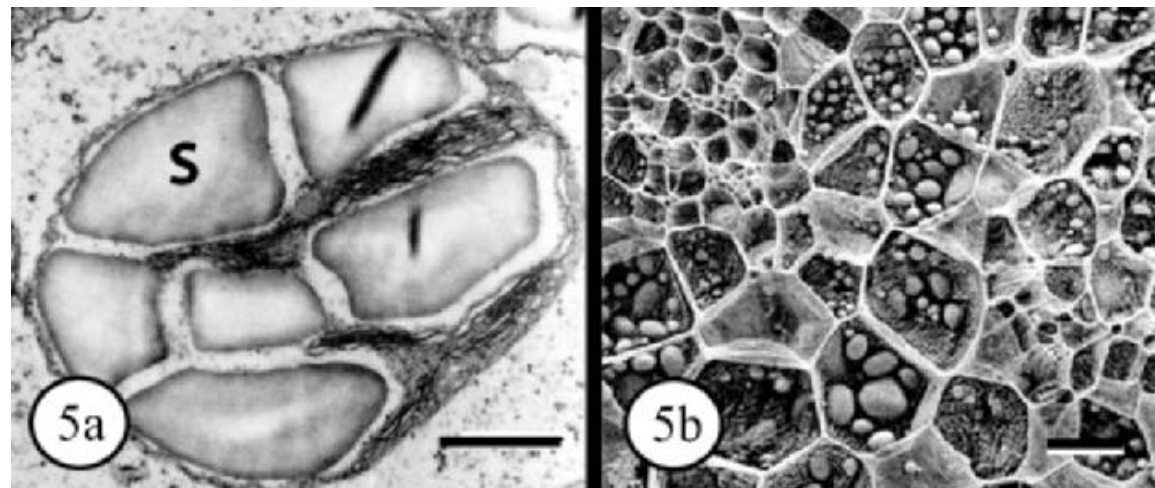
Mechanismus transportu sítkovicemi tedy zahrnuje: aktivní transport cukrů přes membrány, difúzi a osmózu. Osmotické síly v místech s vysokou koncentrací cukrů tlačí cukry plasmodesmy v sítkovicích. Proto mají sítkovice zachovanou plazmatickou semipermeabilní membránu.

Jaké cukry jsou transportovány?

Ve floému je transportována hlavně **sacharóza**; ta se v místě spotřeby rozloží na glukózu a fruktózu a dále se metabolizuje.

Nebo se přemění na **škrob** a uloží se v zásobních orgánech (hlízy, semena aj.).

Až 75% energie ve výživě lidstva pochází ze škrobu, ukládaném v rostlinách. Škrob je proto nejdůležitější látkou rostlin, využívanou lidstvem. Škrob je ukládán ve specializovaných plastidech – amyloplastech (např. hlízách brambor, semenech trav, atd.)

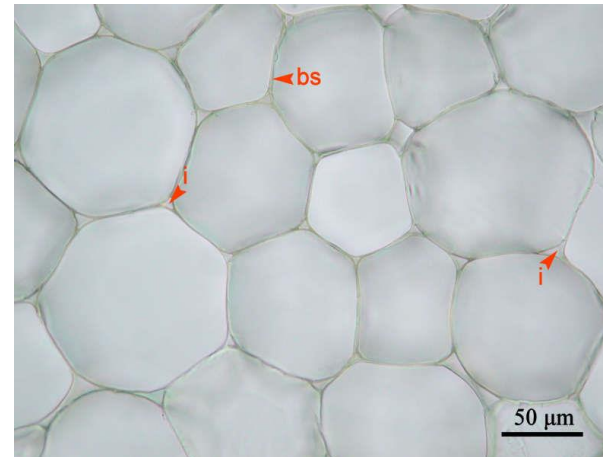
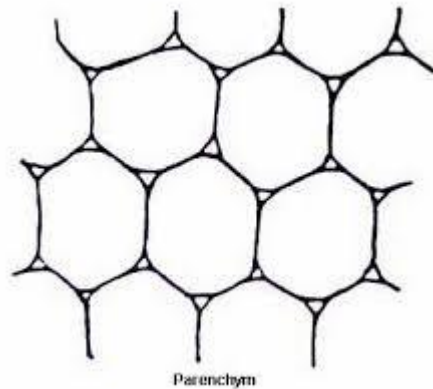


Amyloplast (jahoda)

Amyloplast (hlíza bramboru)

Transport plynů: kyslík a CO₂

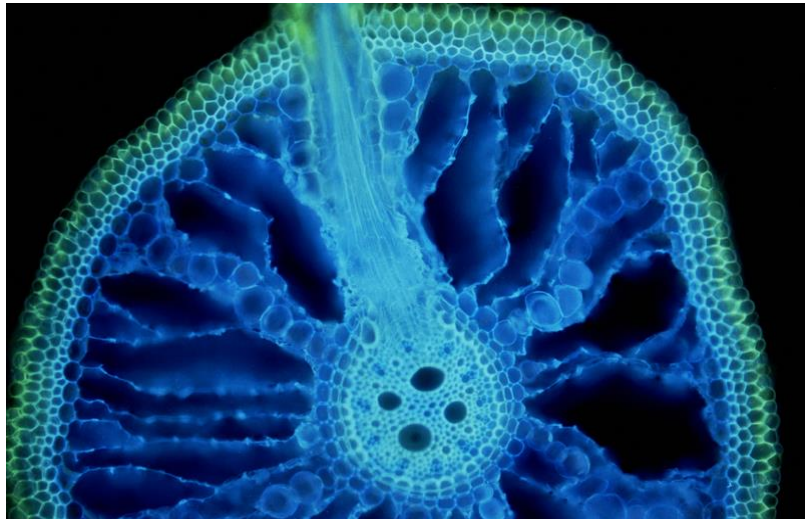
Všechny živé buňky dýchají. Potřebují přísun kyslíku a vylučují oxid uhličitý. Oba plyny mohou volně procházet membránou na povrchu protoplastu; na delší vzdálenosti se pohybují mezibuněčnými prostory v rostlinných pletivech – intercelulárami.



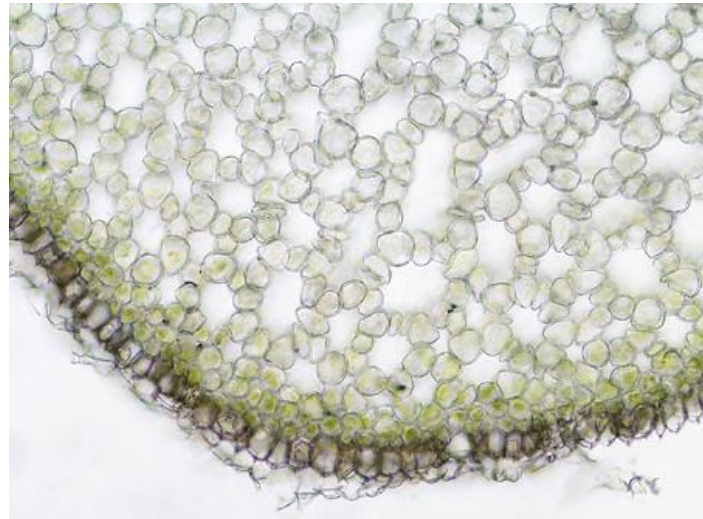
Parenchym dřeně stonku bezu černého
(*Sambucus nigra*)

Transport plynů: kyslík a CO₂

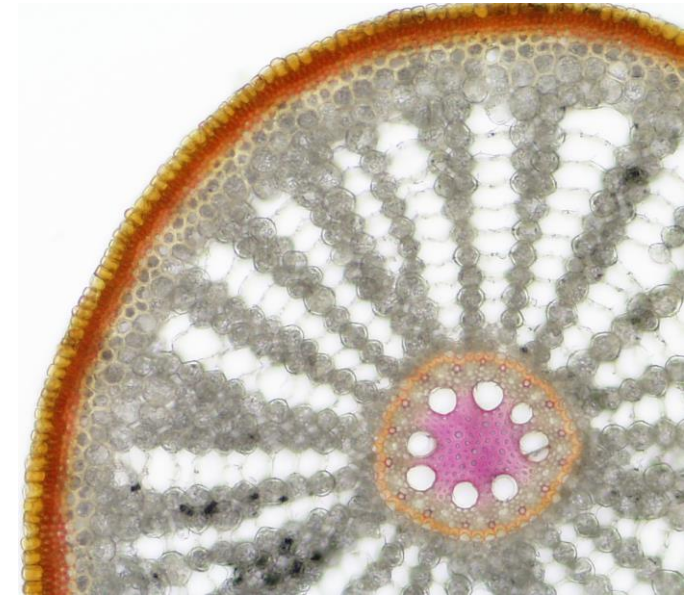
Rostliny rostoucí v mělkých vodách nebo v půdách trvale či dlouhodobě zaplavených musí řešit speciální problém - nedostatek či úplnou absenci kyslíku v zaplavené půdě. V průběhu evoluce u nich došlo k vytvoření speciálních transportních drah, jimiž jsou schopny dopravit plyny v dostatečném množství z atmosféry k buňkám kořenů.



Mezibuněčné prostory v kořenech rákosu

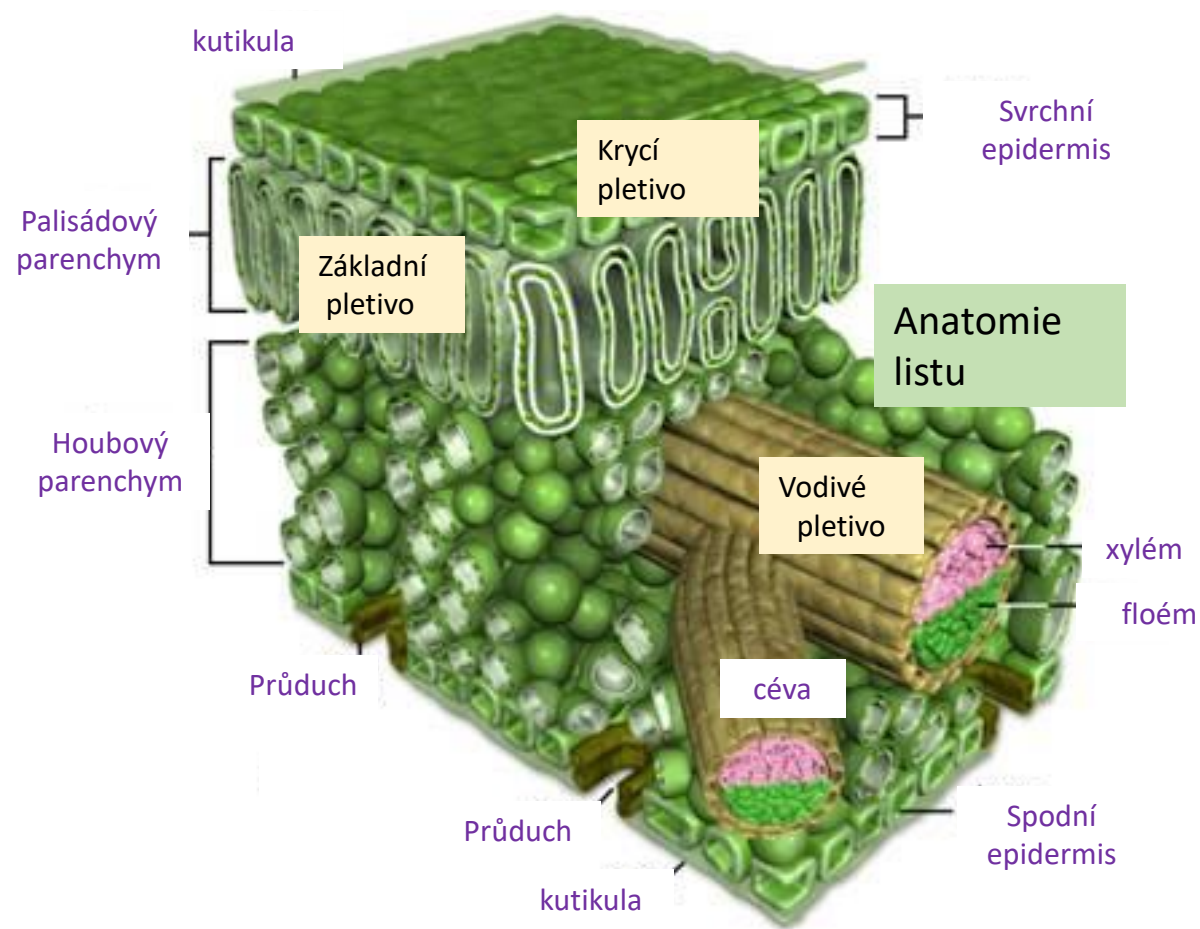


puškvorce



a ostřice.

Plyny v mezofylu listu: speciální případ



Rozsáhlé mezibuněčné prostory v mezofylu listů napomáhají dobré výměně plynů mezi fotosyntetizujícími buňkami listů a vnějším prostředím:

CO₂ přijímán pro **fotosyntézu** a O₂ vylučován jako odpad (převažuje během dne);

O₂ je **prodýcháván** a CO₂ produkováno všemi buňkami (převažuje během noci)

Vypařuje se voda a výdej vodní páry průduchy zajišťuje **transpirační proud**.