



Fyziologie rostlin



Specifika rostlin

Wolffia



Sequoia



Rostliny jsou přisedlé

- Krom reprodukčních buněk, rostliny jsou **sesilní** - žijící přisedle. Omezenost pohyblivosti si kompenzují schopností růstu směrem ke zdrojům, jako světlo, voda, živiny. S přisedlostí také souvisí množství strategií rostlin k **překonávání stresových podmínek** a množství energie vynaložené pro ochranu rostliny.

Ophrys – příklad orchideje, která žije v jižní Evropě, která přežívá obvykle suché a horké léto pouze jako hlíza



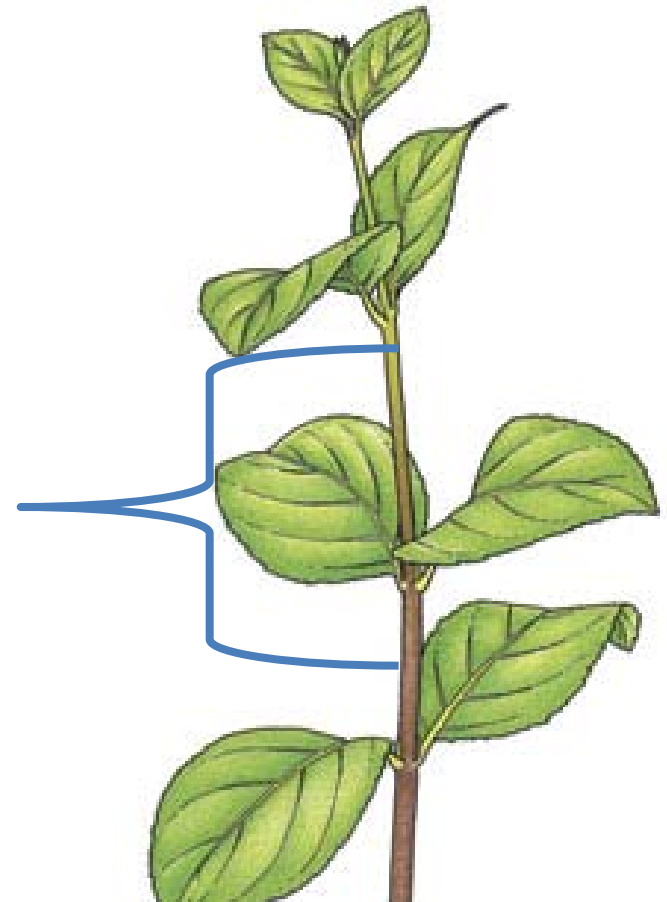
10. *Ophrys muscifera* Huds.

Modularita rostlin

rostlina je složená z předem definovaných jednotek, které vznikají na různých místech a v různém čase dle vnějších a vnitřních podmínek. Základní vegetativní jednotkou stonku je **fytomera**, která se skládá z internodia, nodu a listu s úžlabným meristémem. Růst rostlin je tzv. nedeterminovaný – t.j. neukončený, mohou vytvářet své tělo různými způsoby



fytomera



Vývojová plasticita

orgány rostlin vznikají a modifikují se dle potřeby

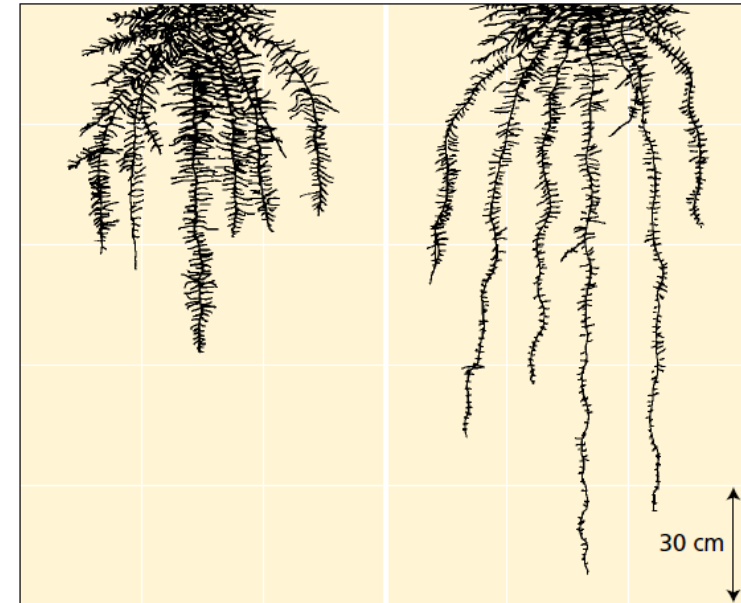


když je rostlina zatemněna jinou, změní se vlastnosti záření (tzv. poměr red:far red). Tato změna je vnímaná fotoreceptory – fytochromy, které vyvolají signál vedoucí k transkripční a k fyziologické odpovědi. Tuto nazýváme tzv. shade escape, která se projevuje zintenzivněním dlouhivého růstu.

High R:FR Low R:FR

suchá půda

vlhká půda

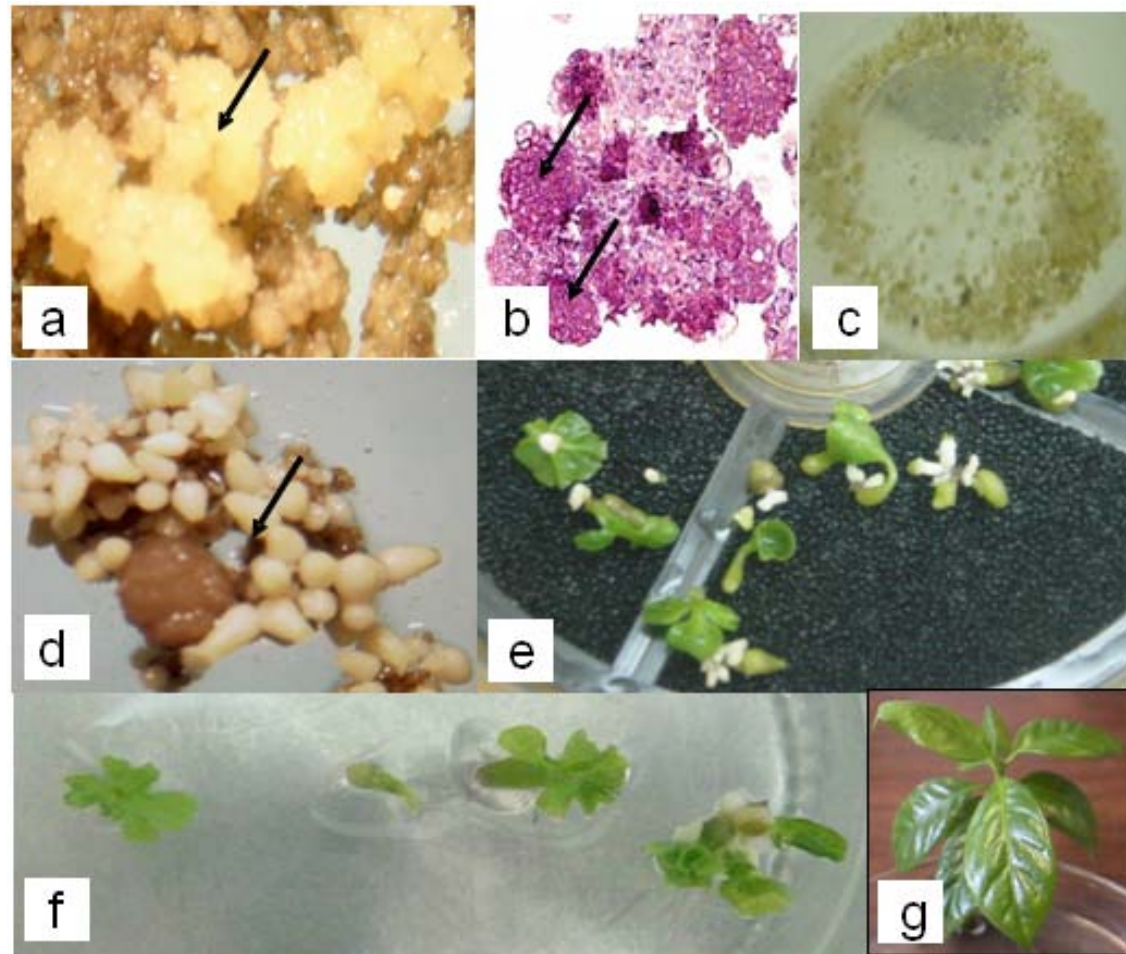


Regenerace rostlin

- úzce souvisí s modularitou
- staré a poškozené orgány často nahrazované novými
- **totipotence** rostlinných buněk – většina rostlinných buněk je schopná (za optimálních podmínek) regenerovat celou rostlinu
- proč rostliny nemají rakovinu?

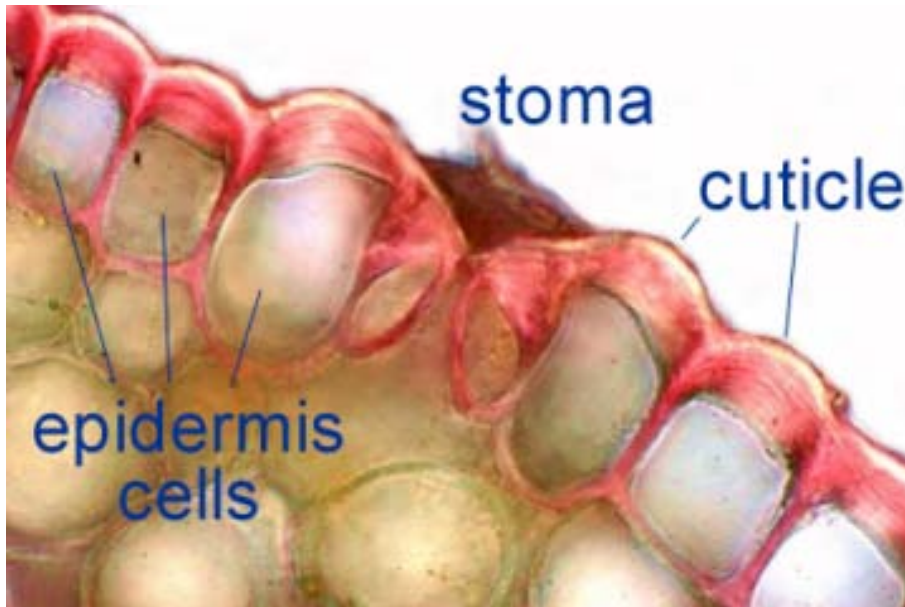


Somatic embryogenesis



rostliny a vodní režim

- Vyšší rostliny neustále odpařují vodu. Vyvinuly si proto řadu mechanismů, kterými regulují ztráty vody a zabráňují vysychání



nižší rostliny (ojediněle i některé vyšší) mají zcela jinou strategii přežití – jsou schopné tolerovat úplné vyschnutí. Tuto vlastnost nazýváme poikilohydrie

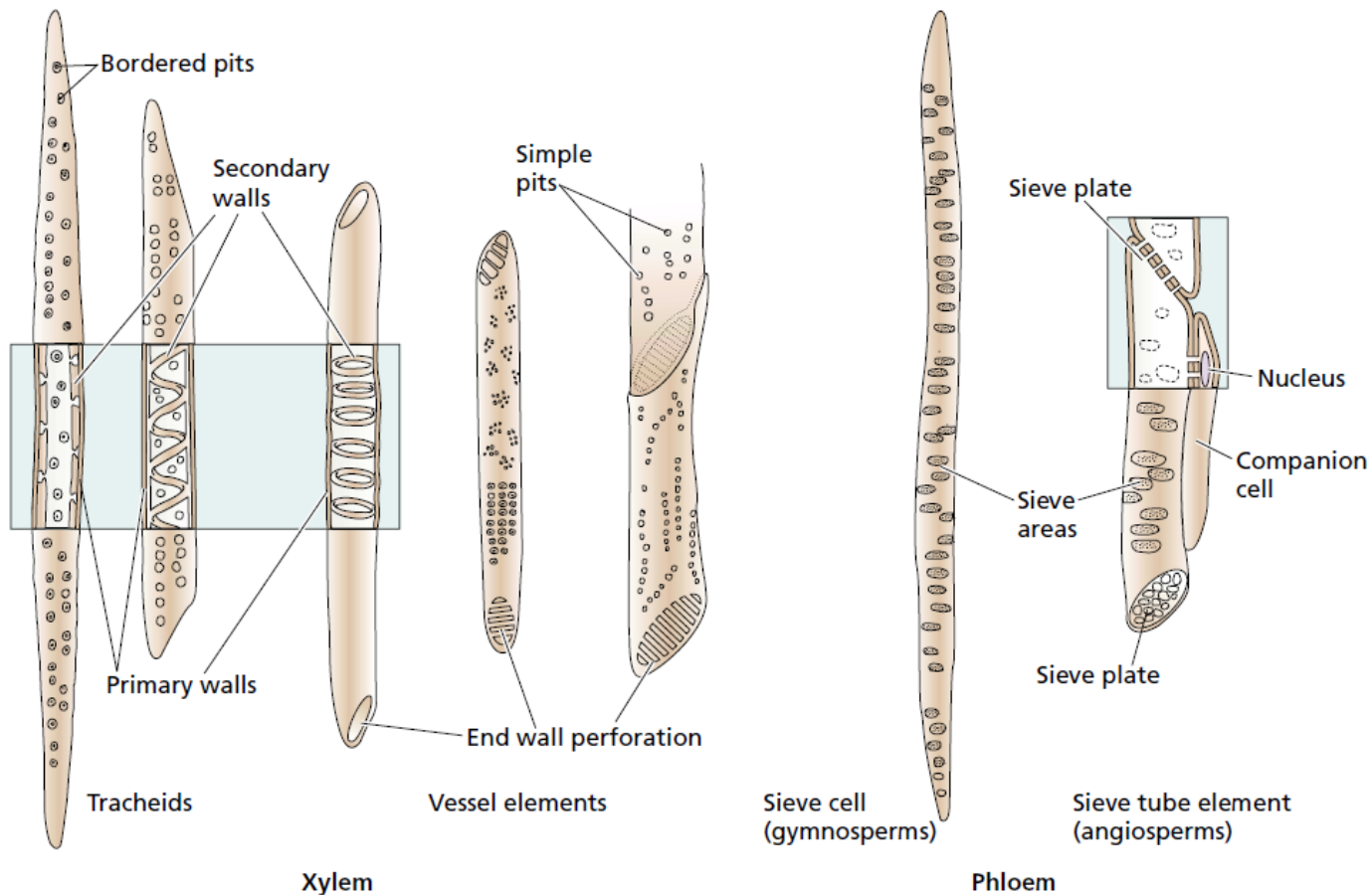


Vodivá pletiva

evoluční trend

evoluční trend

(E) Vascular tissue: xylem and phloem



Modelové organismy

Arabidopsis thaliana



Zea mays



Physcomitrella patens



Jaké modely se používají pro výzkum dřevin?

Arabidopsis thaliana

▪plevel

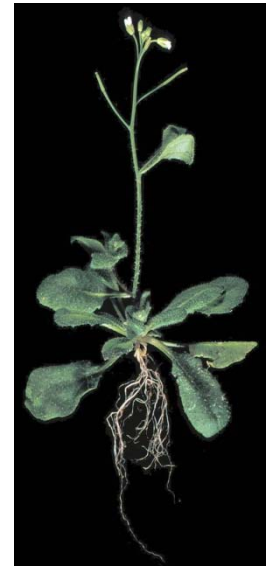
- rychle rostoucí – 6 týdnů generační cyklus (od semene k semeni)
- hodně - až tisíce semen, která jsou malá, dobře klíčí a hodně snesou (třeba 20 minut v 50% roztoku sava)
- není choulostivá

▪malý genom – 125 Mb

- první kytka s osekvenovaným genomem
- 5 chromosomů

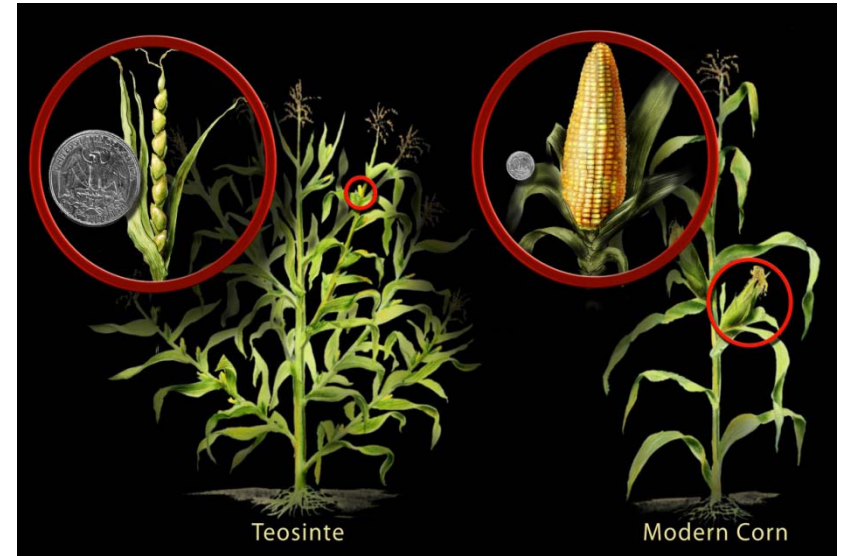
▪rozvoj „forward genetics“

Arabidopsis thaliana popsal Johannes Thal již v 16. století. První mutant byl popsán již v roce 1873. Jako modelový organismus ji poprvé prosazoval F.Laibach v roce 1943. V padesátých letech pak nastal rozmach v tvorbě knihoven mutantů a popisování mutací. Mezi české průkopníky patří J.Veleminský

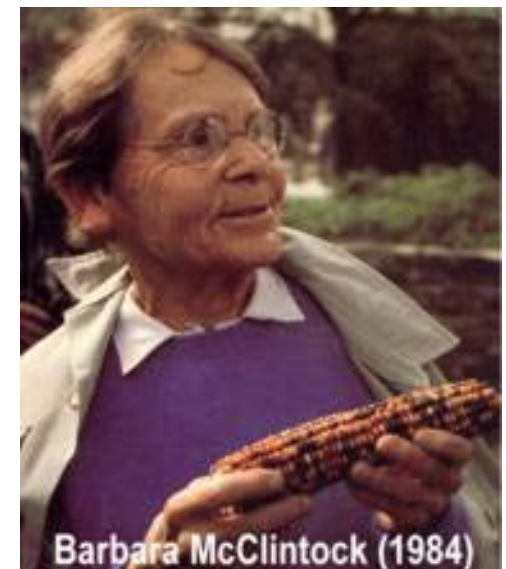


Zea mays

- kulturní plodina
 - šlechtěna indiány již před 8700 lety
 - obrovský ekonomický význam
 - 85% americké kukuřice je transgenní
- oddělené samčí a samičí květenství
- velký genom – 2300 Mb, 10 chromosomů. Osekvenován v roce 2007.



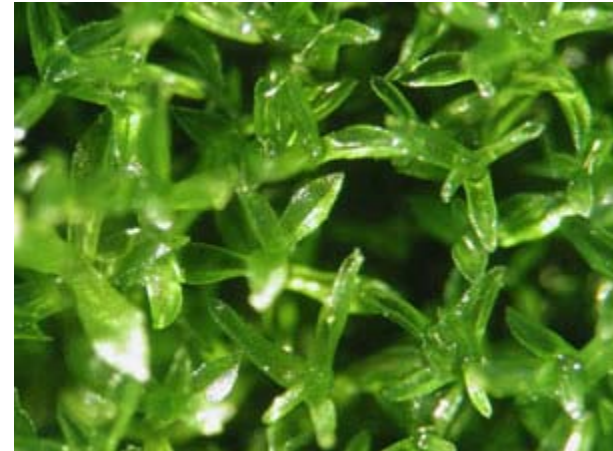
pomocí mozaikovitého černého zbarvení zrn kukuřice předpovídala Barbara McClintock existenci mobilních genetických elementů – transposomů. Ty mohou přerušit dominantní alelu W (bílá zrna) a umožnit funkci recesivní W⁺ (černá zrna). Když se transposom vyčlení z W, jeho funkce se obnoví.



Barbara McClintock (1984)

Physcomitrella patens

- zástupce nižších rostlin
- 511 Mb
- schopnost **homologní rekombinace** – hlavní výhoda tohoto modelového organismu, lze cíleně knock-out-ovat geny a celé rodiny genů nástroj reverzní genetiky
- recentně osekvenovaná



Další modelové organismy

Nicotiana tabacum – buněčná linie BY2, která se pěstuje jako suspenze, vhodné pro studium buněčného cyklu, cytoskeletu, atd.

Glycine max – opět zemědělské důvody

Populus trichocarpa

- Model dřevin - velice důležité pro výzkum sekundárního těla rostlin
- Rychle rostoucí
- 550 Mb, 19 chromosomů osekvenován v roce 2006



© 2008 Arbor Day Foundation



sklizeň topolů v
americkém Oregonu.
Těmto topolům je teď 7
let!

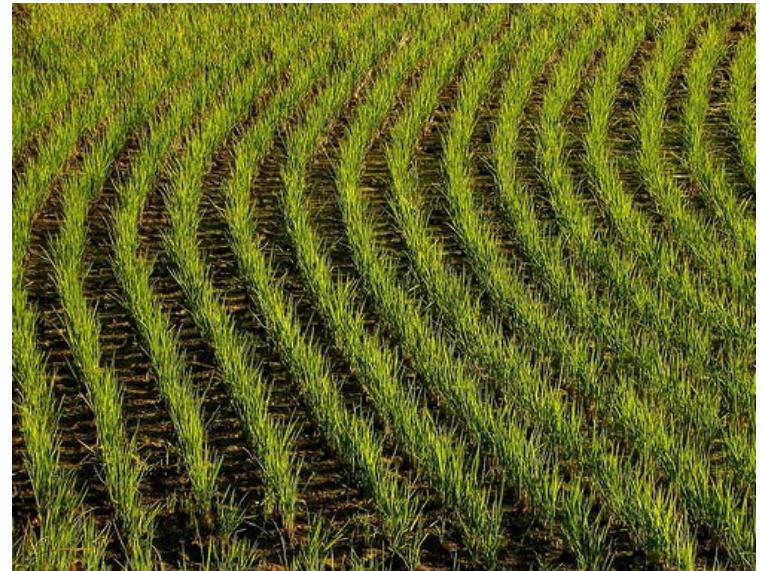
Wullschleger S. D. et.al.
Plant Cell 2010:14:2651-2655

Oryza sativa

- opět zemědělské důvody
- 466 Mb, 12 chromosomů
- osekvenovaná v roce 2005



Až 20% kalorické spotřeby lidstva je právě z rýže



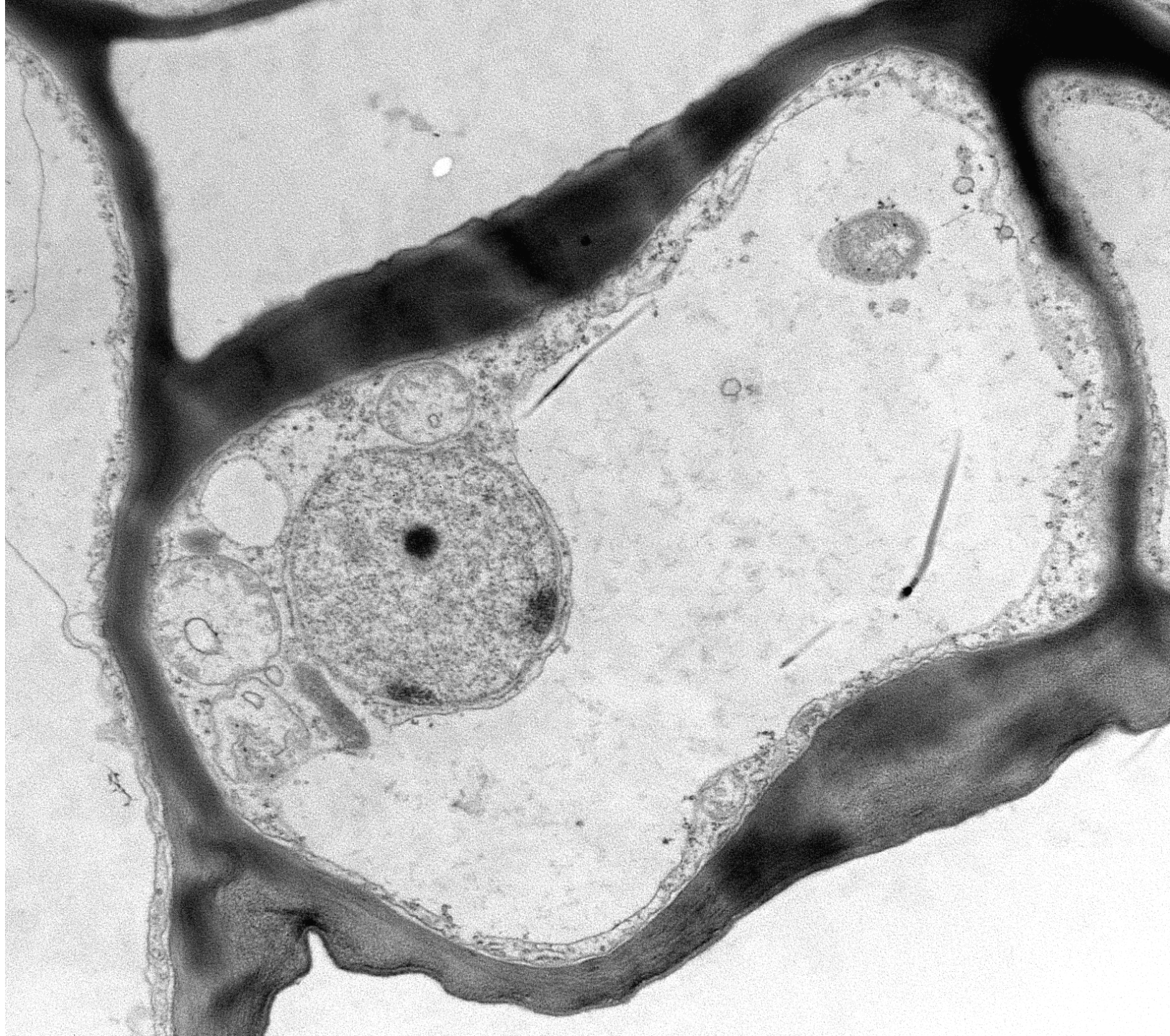
Rostlinná buňka, část 1

dnes:

- jádro
- cytoplasma, plasmatická membrána
- vakuola
- buněčná stěna
- endomembránový systém

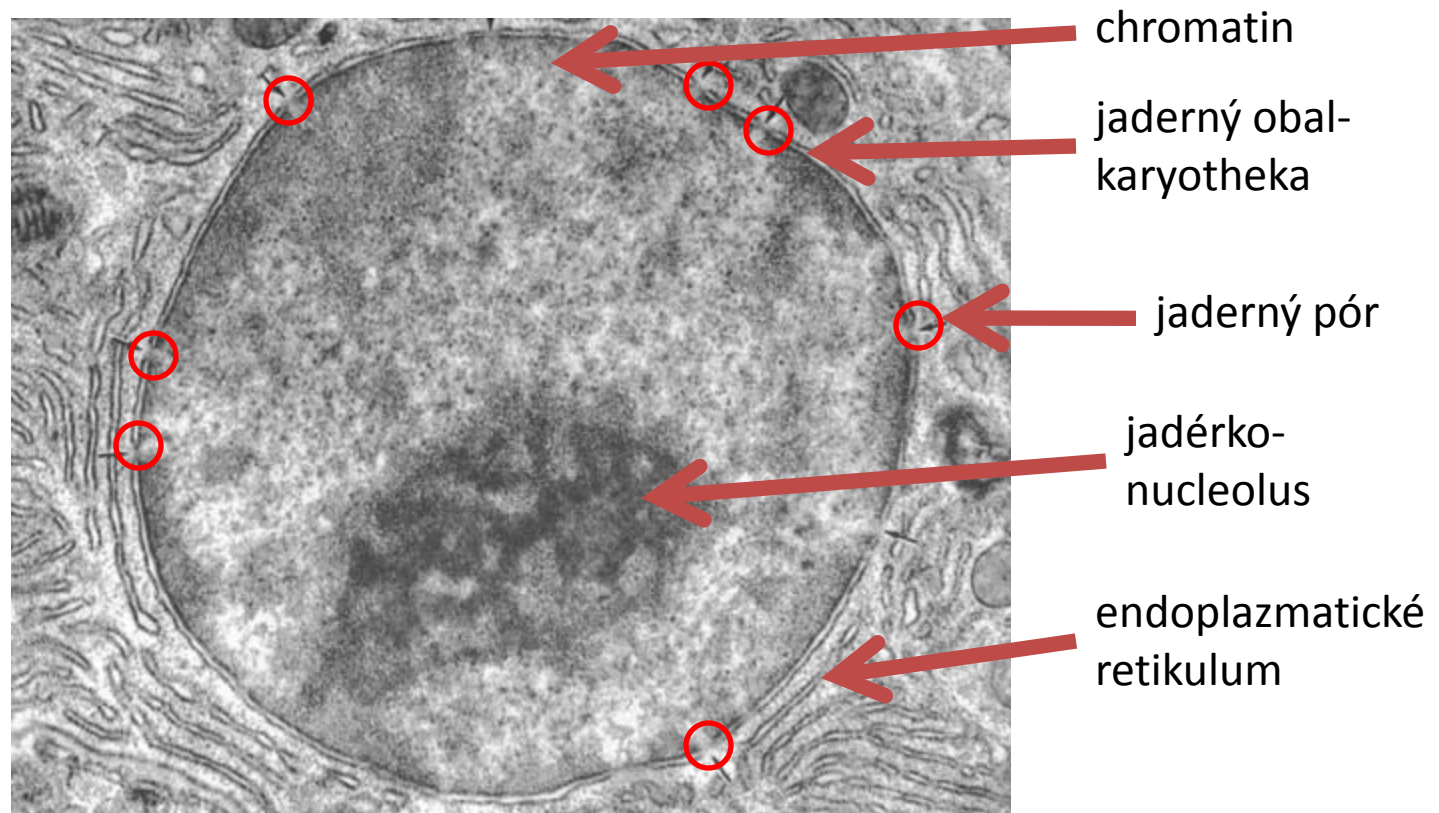
příště:

- plastidy
- mitochondrie
- peroxisomy
- cytoskelet
- buněčný cyklus
- plasmodesmata

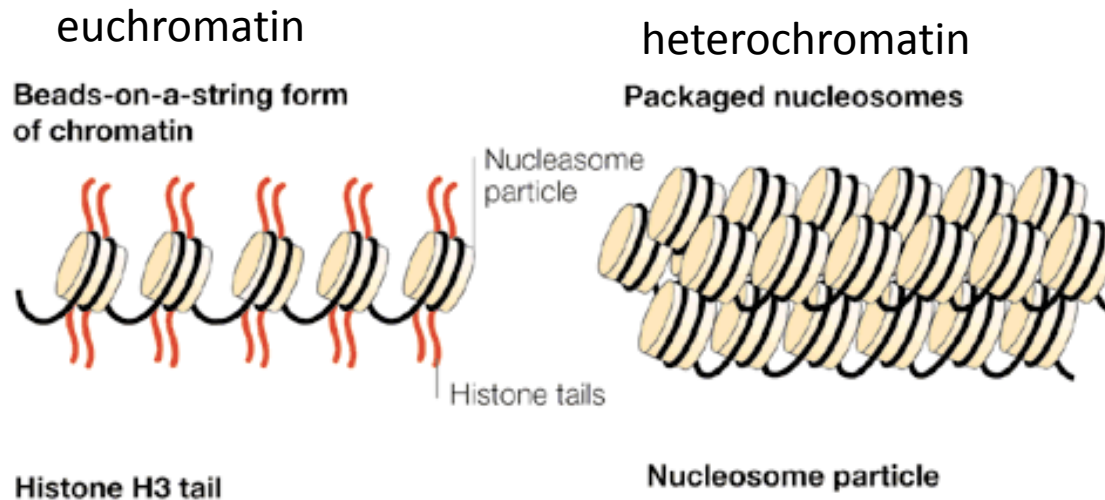


Jádro

- nese a uchovává genetickou informaci
- syntetizuje mRNA
- skladovací a signální kompartment umožňující syntézu řadu regulačních makromolekul (siRNA, proteiny)



Chromatin často podléhá remodelaci



Histony H2A, H2B, H3 a H4 tvoří histonové jádro, kolem kterého se obtáčí DNA.

Acetylace histonů chromatin rozvolňuje a umožňuje přístup transkripčnímu aparátu. Opakem je deacetylace, která chromatin kondenzuje. Příkladem je regulace kvetení pomocí Flowering locus D – histon deacetylázy inaktivující transkripci Flowering locus C – hlavní inhibitor kvetení.

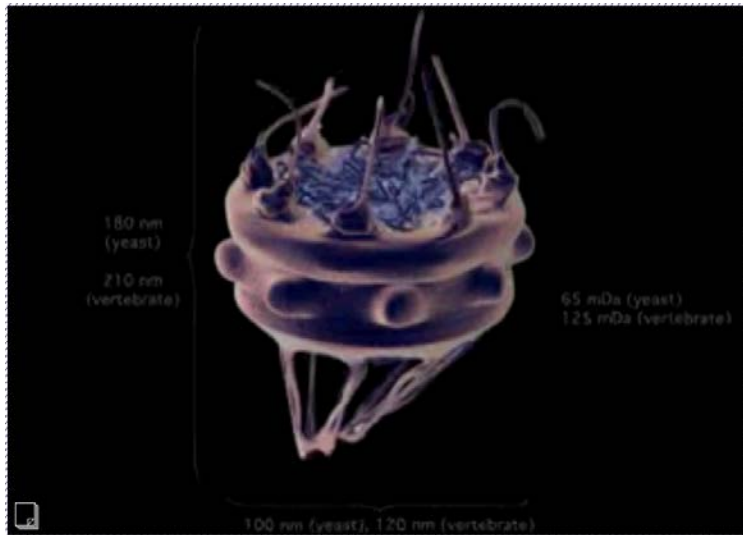
Transkripční faktory (TF)

- obecné – součástí každé transkripce
- specifické – konkrétní geny jsou aktivované v konkrétních situacích. Mohou expresi ovlivňovat **pozitivně** (aktivátory) i **negativně** (represory). Aktivita specifických TF může být tkáňově specifická, nebo regulovaná například **fosforylací**.
- příkladem je třeba reakce na světlo regulovaná TF HY5. HY5 je specificky degradován za účasti COP1, který se ve tmě přemísťuje do jádra a na světle do cytoplazmy.

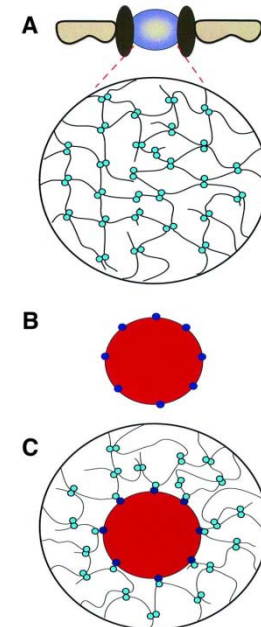
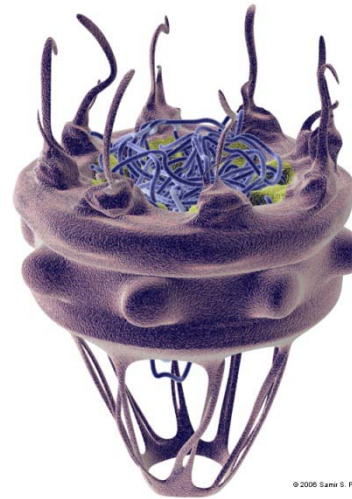


Jaderná membrána

- z dvou paralelních membrán
- vnější membrána propojena s ER
- slouží jako nukleační jádro cytoskeletu
- až 30 % povrchu tvoří **jaderné póry**
- jaderné póry zabezpečují specifický transport bílkovin a RNA z jádra.
- malé proteiny do 40 kDa mohou pórem procházet nespecificky.



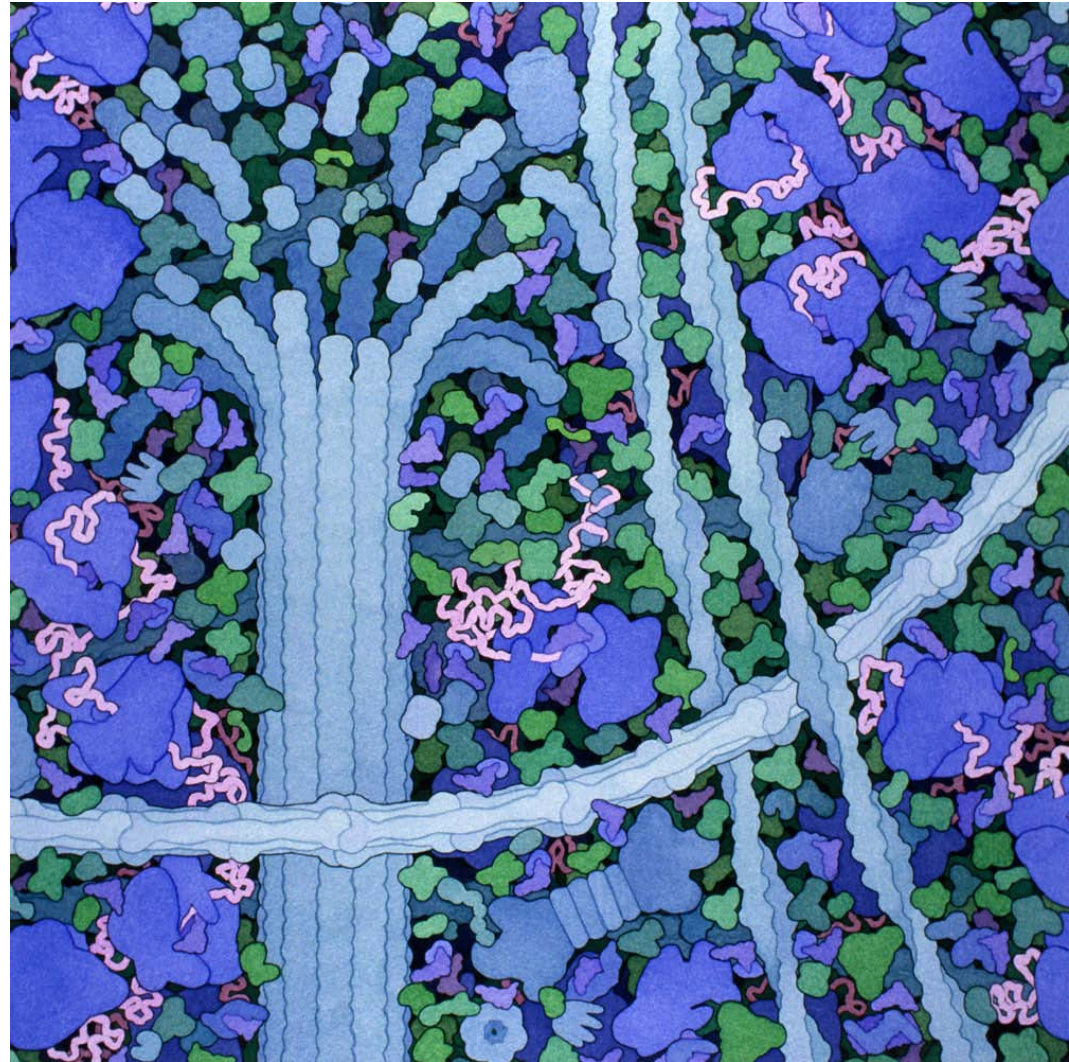
- jaderné póry jsou tvořené asi 30 druhy **nukleoporinů**
- speciální třída nukleoporinů – FG nukleoporiny obsahují hydrofóbní FG domény, které navzájem interagují a tvoří hustou dynamickou síť v centrální části (A). Transportéry RNA a bílkovin mají na svém povrchu podobné hydrofóbní domény (B) které jim umožní dostat se přes hustou síť FG nukleoporinů.



Cytoplasma

- obsahuje minerální ionty (kromě vápníku)
- metabolity
- rozpuštěné plyny
- makromolekuly – bílkoviny, nukleové kyseliny

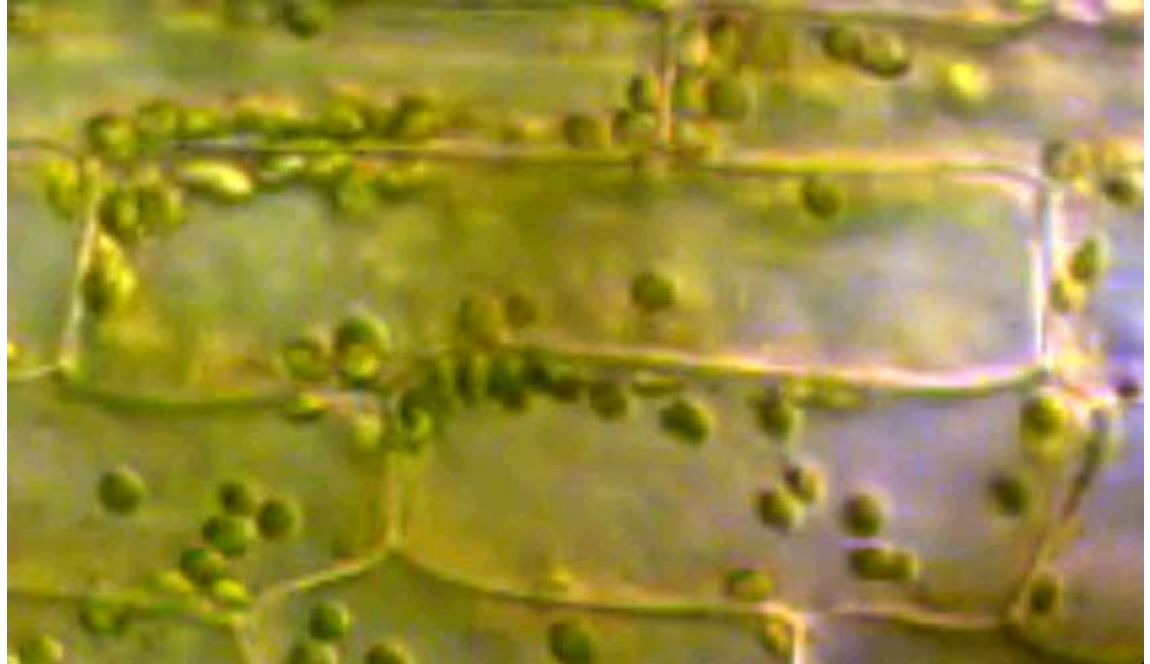
v cytoplasmě probíhá řada důležitých dějů, hlavně translace a degradace bílkovin, ale fungují v ní i tisíce signálních drah sloužící k nejrozmanitějším účelům. Cytoplasma je velice viskózní a hustota koloidních částic je tak vysoká, že představa cytoplazmy jako vodného roztoku je nesprávná.



umělecká představa cytoplazmy – viskózní želatina plná proteinů

Cytoplazma je v neustálém pohybu

Cytoplazmatický streaming umožňuje homogenizaci cytoplazmy, rychlejší pohyb organel a rychlejší šíření signálů. Více či méně ho lze pozorovat v každé buňce. Na vzniku streamingu se podílí aktinové mikrofilamenty, po kterých se myosinovými motory pohybují organely



v gigantických buňkách *Chara* (zelená řasa) se cytoplasma pohybuje až 75 $\mu\text{m/s}$!!!

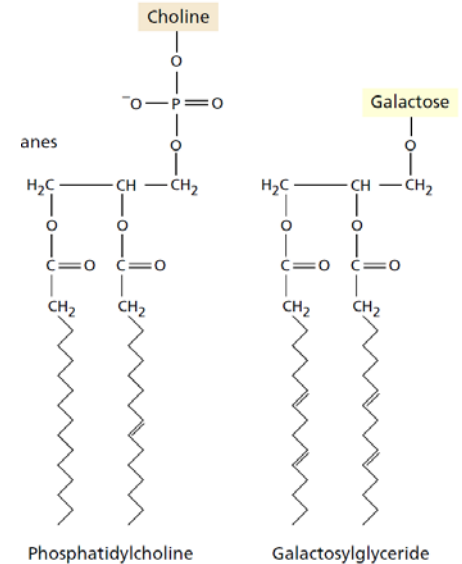
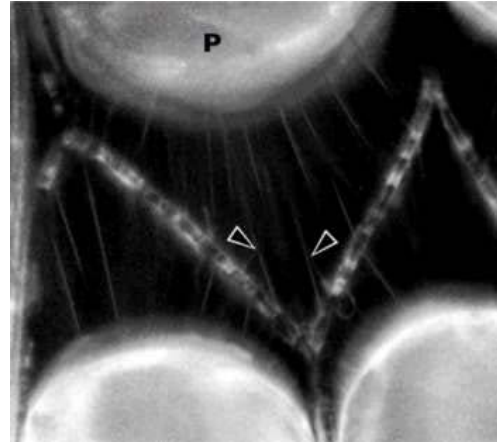
cytoplazmatický streaming v *Elodei* vyvolaný pohybem chloroplastů, které unikají nadměrnému osvětlení.

http://www.youtube.com/watch?v=PFtzs_cUddI

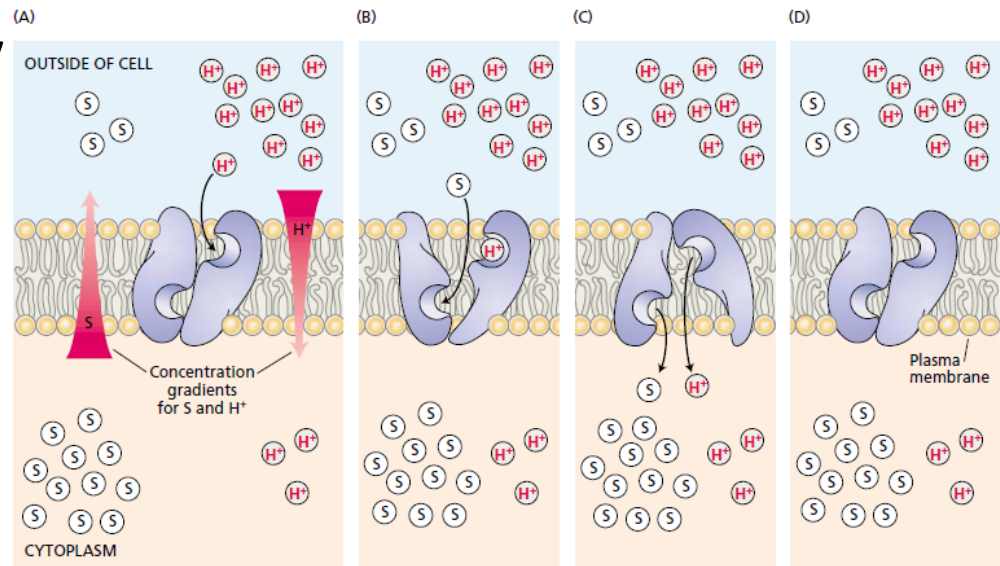
Cytoplasmatická membrána

Neboli **plasmalema**. Stejně jako jiné biologické membrány, je tvořená fosfolipidovou dvouvrstvou s obsahem sterolů a s mnoha proteiny. Ty mohou být transmembránové (prostupovat membránou), nebo tzv. periferní - zasahovat do membrány jen částečně. Plasmalema je do značné míry propojena s buněčnou stěnou. Důkazem toho jsou **hechtovy provazce**, které vznikají při plazmolýze. Na plasmalemě vzniká činnost protonové pumpy P-H⁺ ATPasy, protonový gradient a membránový potenciál cca -150mV. Ten se pak využívá pro transportní procesy.

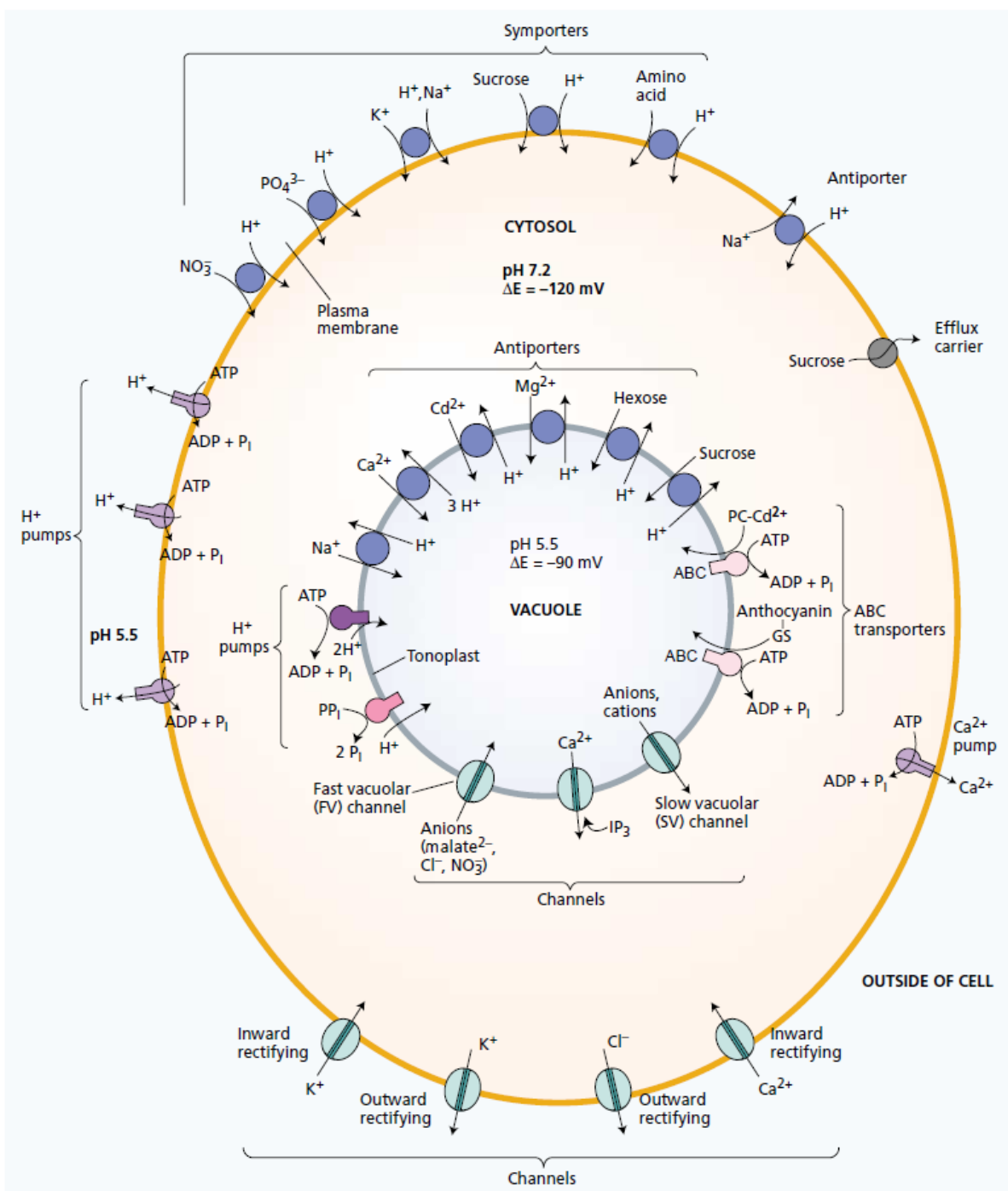
Hechtovy provazce



Solute Transport 97



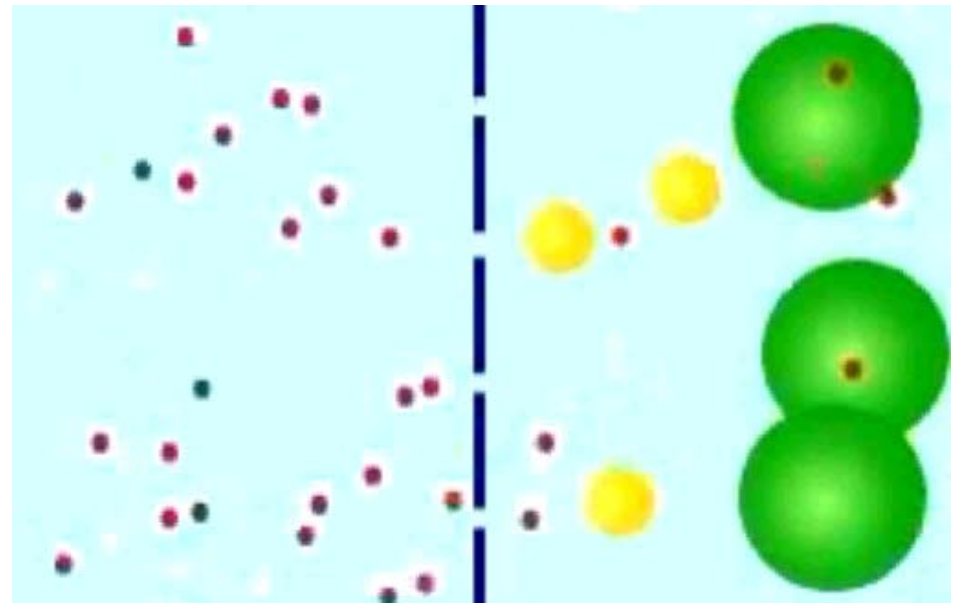
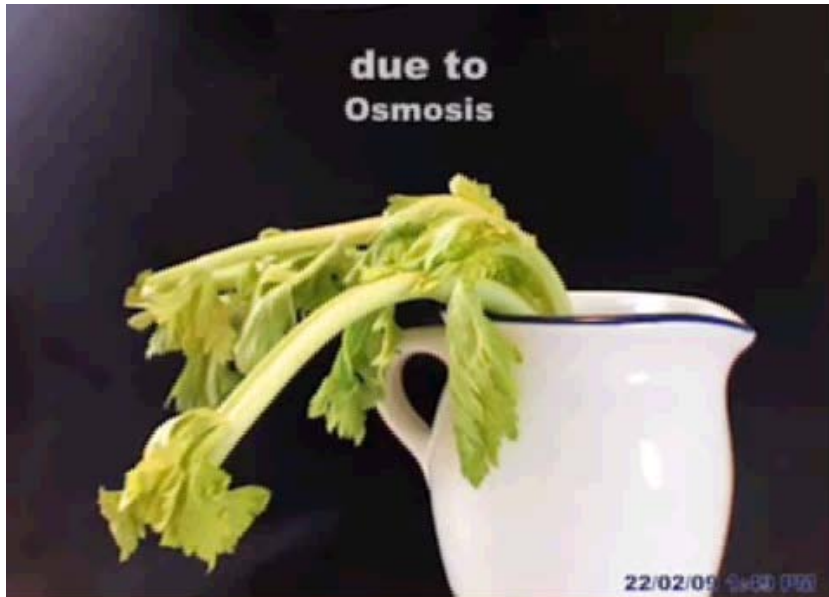
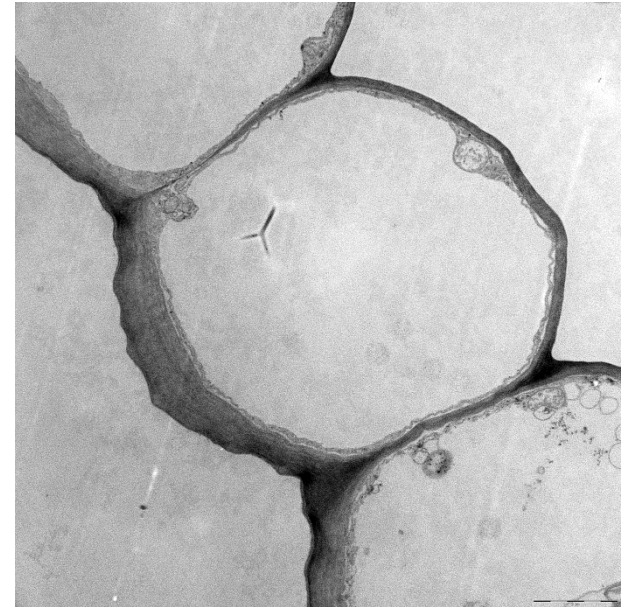
příklady transportů, při kterých se jako zdroj energie využívá gradient protonů



Centrální vakuola

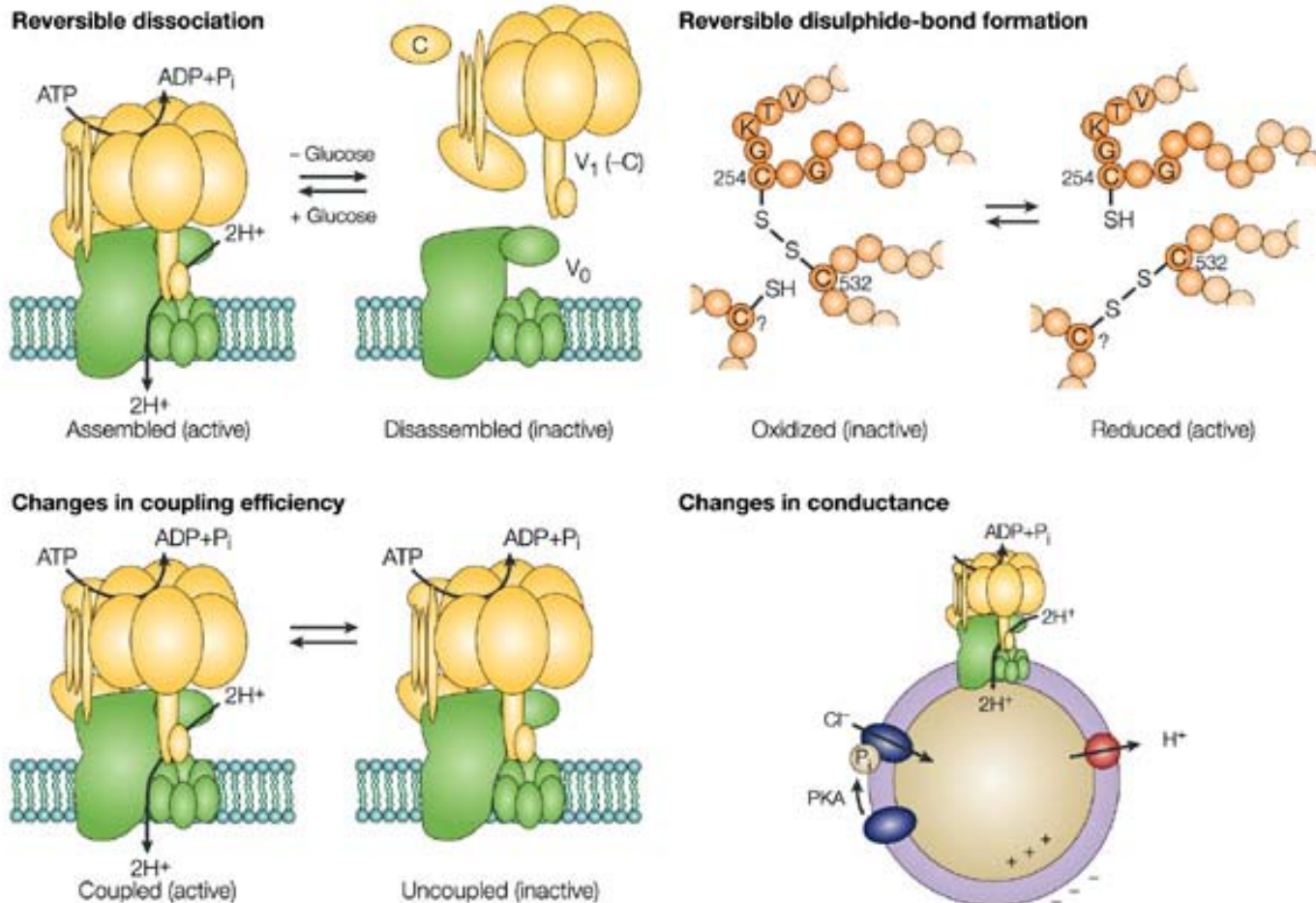
- ohraničena membránou – **tonoplastem**
- několik vakuol mladé buňky splývají ve velkou centrální vakuolu
- odpovědná za udržování turgoru – růstová a stavební funkce

vakuola vytváří tlak na plasmalemu a buněčnou stěnu. Tento tlak je primární hnací silou pro rozvolňování buněčné stěny a růst



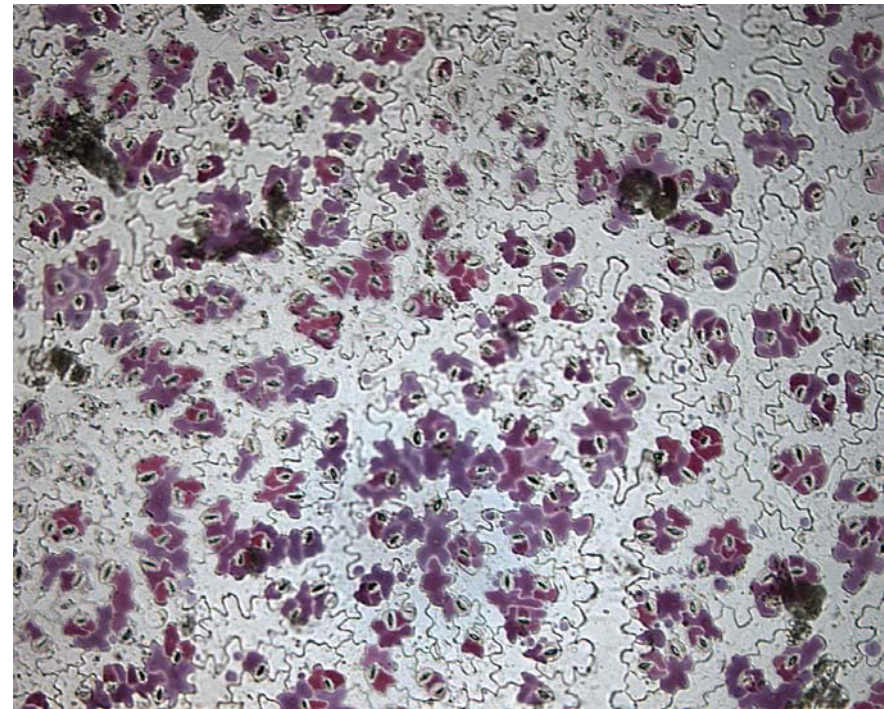
Vakuola

- udržuje homeostázi v buňce
- pH nižší než v cytoplasmě, na povrchu protonové pumpy čerpající energii z ATP i pyrofosfátu (PP)

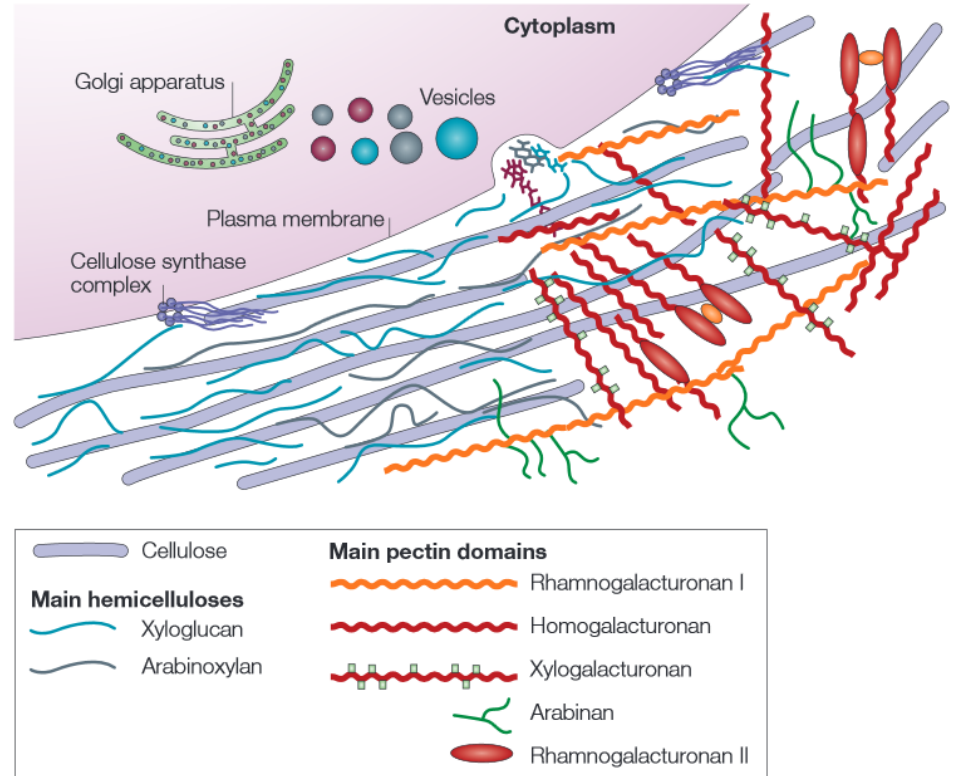
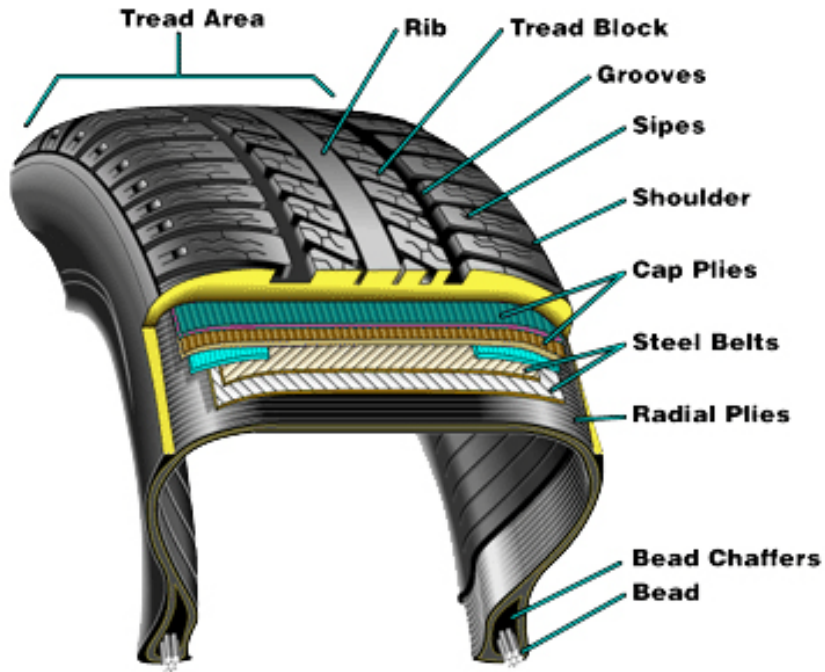


Další funkce vakuoly

Ve vakuole se ukládají živiny, např. sacharóza, minerální látky, organické kyseliny, proteiny a pod. Obsahuje řadu sekundárních metabolitů - anthokyany, flavony, flavonoly. Slouží také jako zásobárna fytohormonů, nebo je místo pro jejich degradaci. Ty chrání rostlinu před UV zářením, lákají opylovače, nebo hrají jiné role.



Buněčná stěna



Buněčná stěna

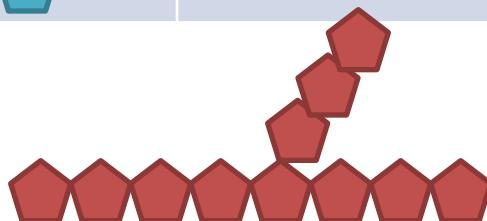
Celulóza	polymer 1-4 β -D glukózy	
Pektíny	homogalakturonan	
	rhamnogalakturonany RG1 a RG2	
	arabinany	
	galaktany	
Hemicelulózy	xyloglukany	
	xylany	
	glukomannany	
	arabinoxylany	
	Kalóza polymer 1-3 β -D glukózy	
Strukturní proteiny	prolin rich proteins, glycine rich proteins, hydroxyproline rich glycoproteins	
Lignín		
biopolyestery	kutín	Sekundární buněčná stěna
	suberín	

Polysacharidy buněčné stěny

hexózy		pentózy		deoxy cukry		uronové kyseliny	
glukóza		xylóza		ramnóza		glukuronová	
galaktóza		arabinóza		fukóza		galakturonová	
manóza		apióza					



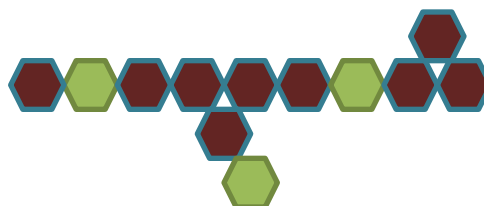
celulóza



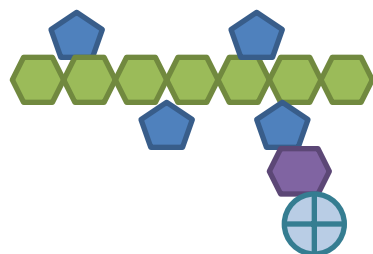
arabinan



xylan



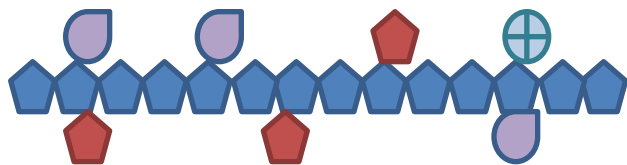
glukomannan



xyloglukan



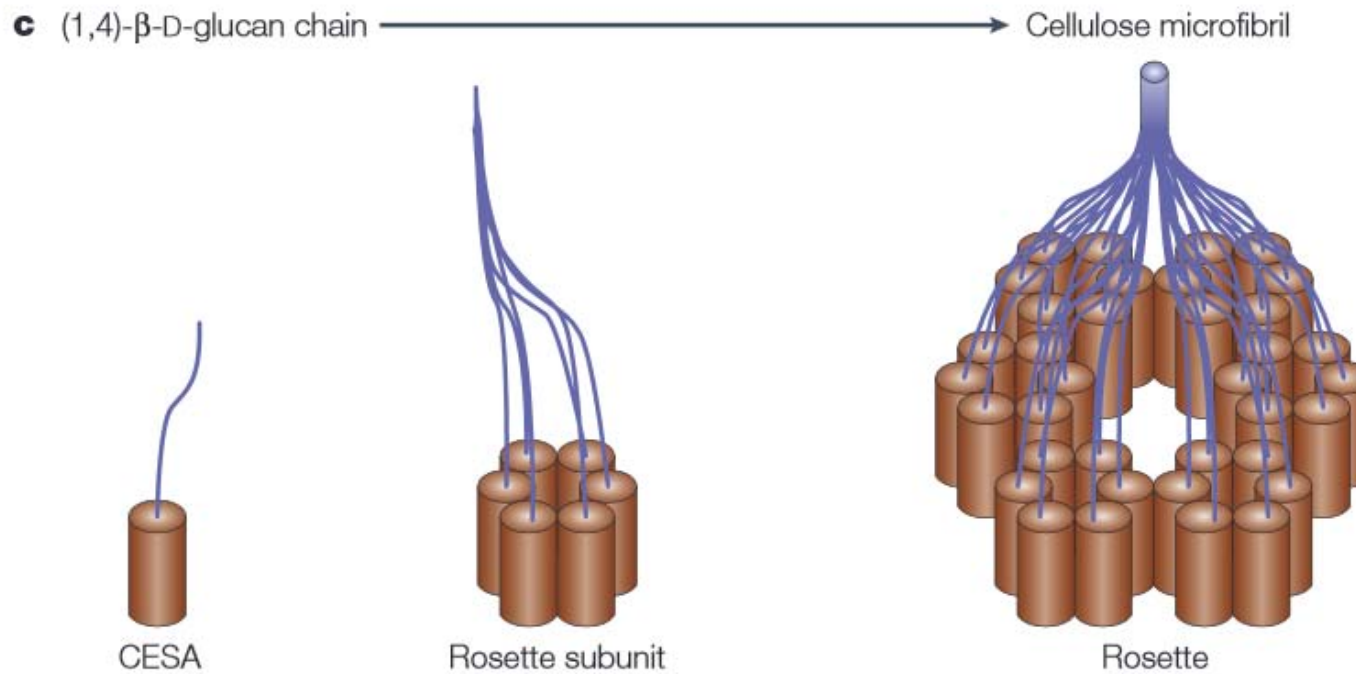
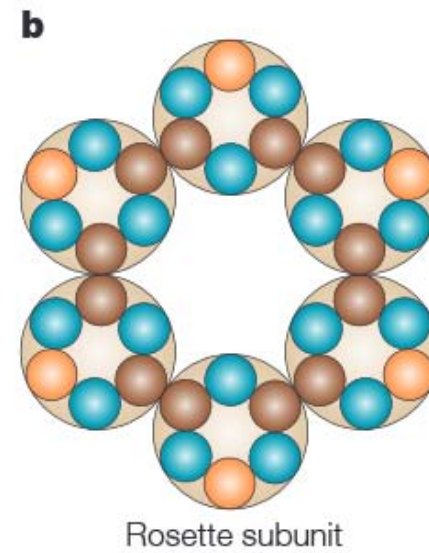
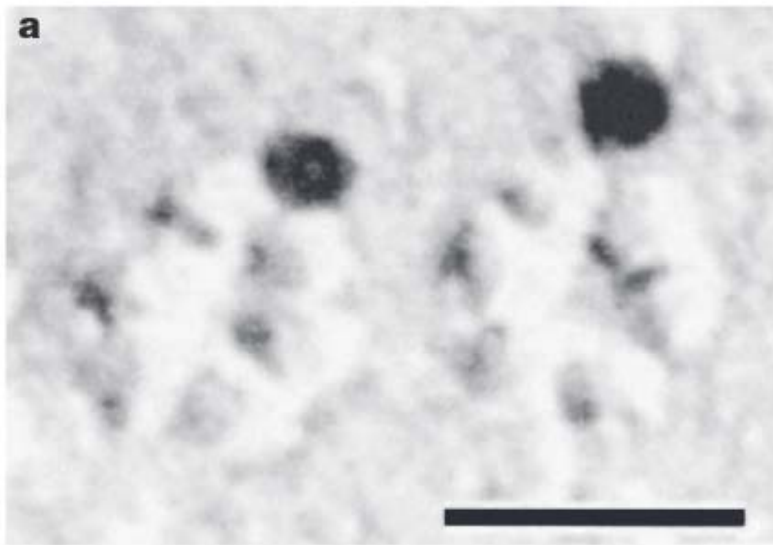
homogalakturonan



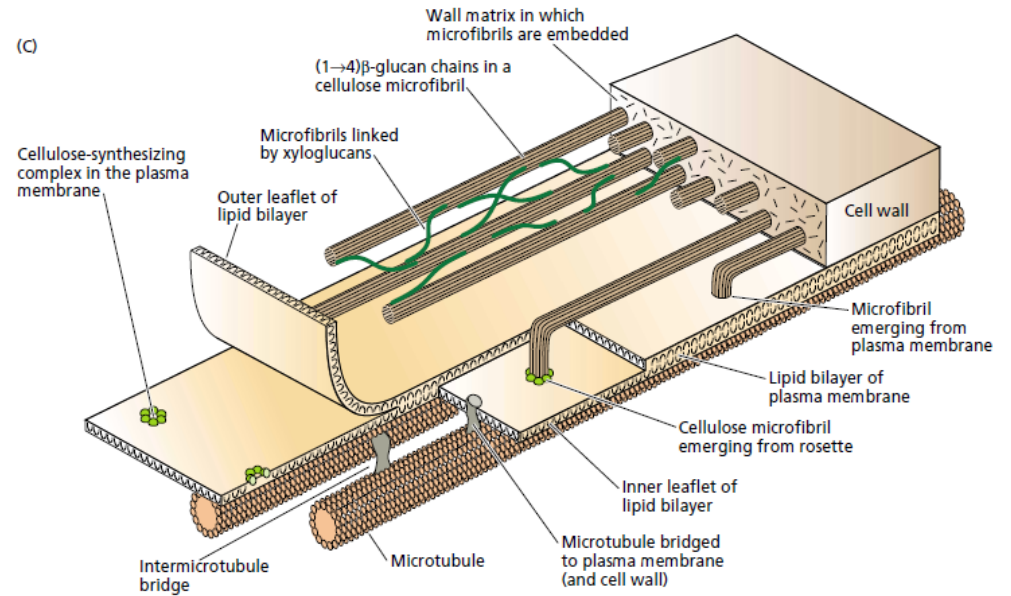
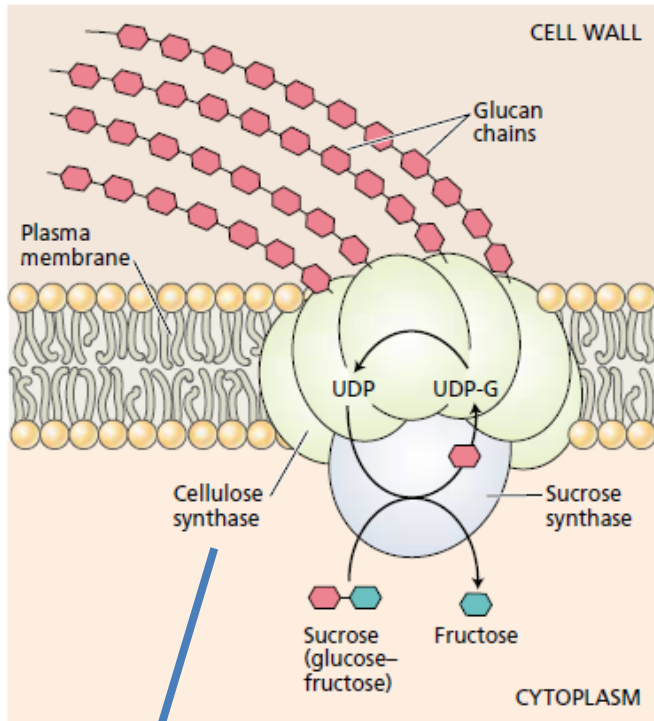
glukoarabinoxylan



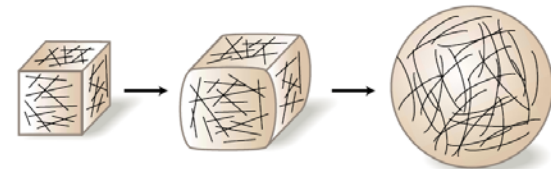
ramnogalakuronan RGI



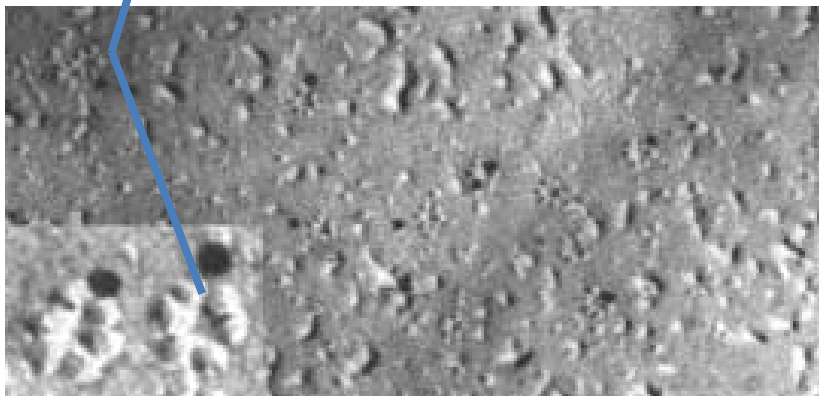
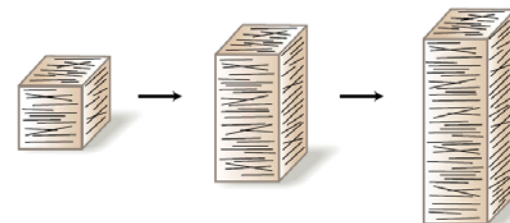
Celulóza



(A) Randomly oriented cellulose microfibrils



(B) Transverse cellulose microfibrils



Mikrotubuly ovlivňují orientaci
ukládání celulózy a tedy i
morfogenezi buněk

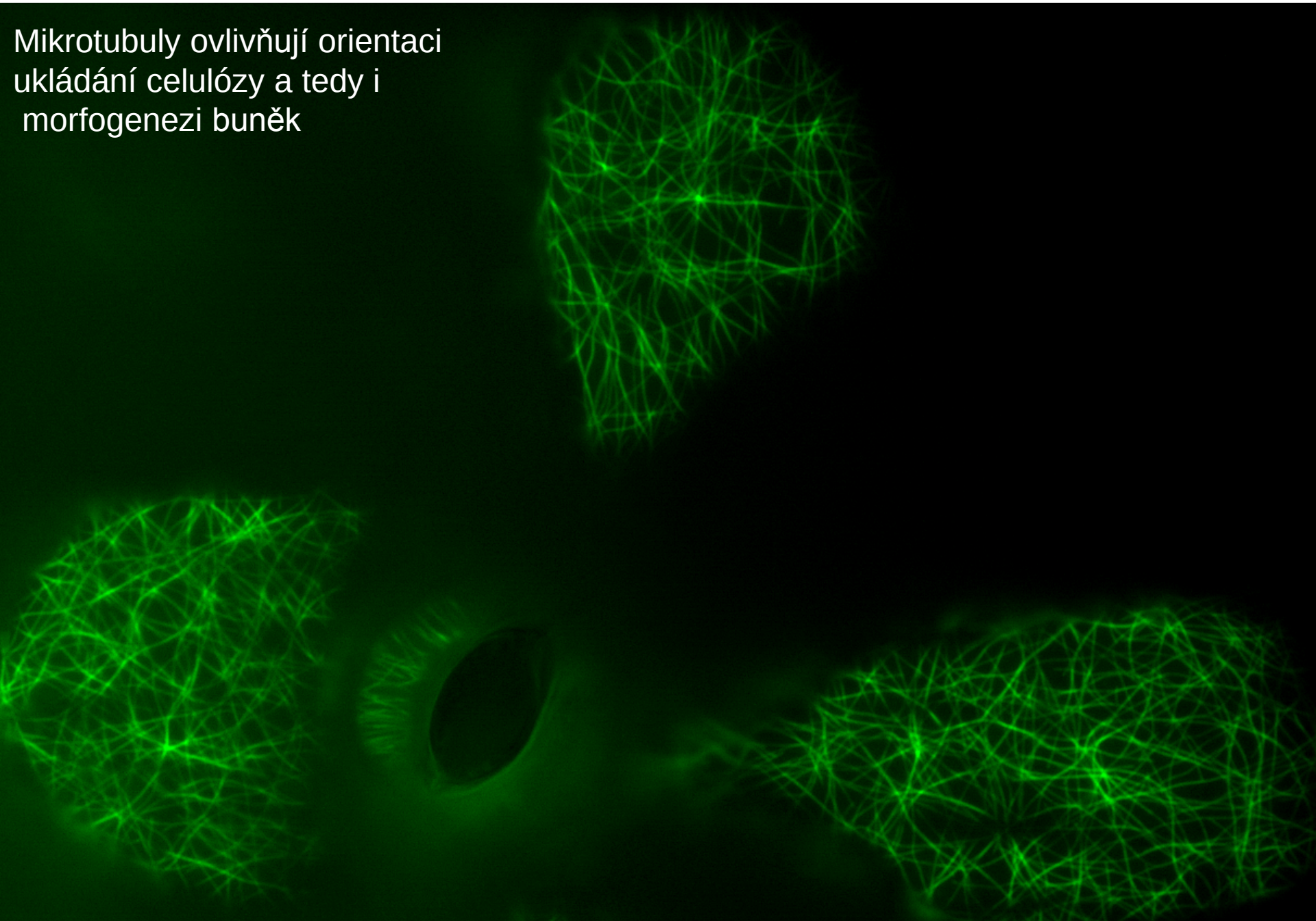
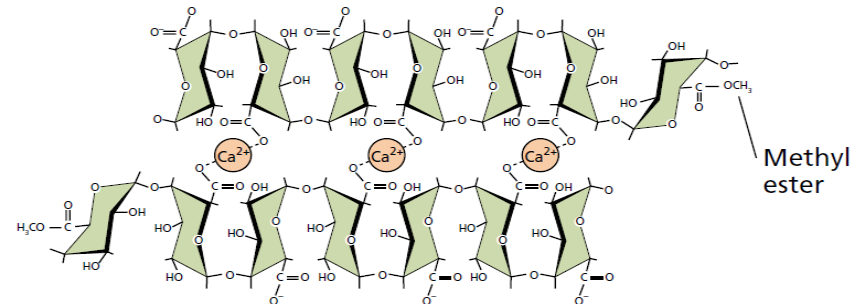
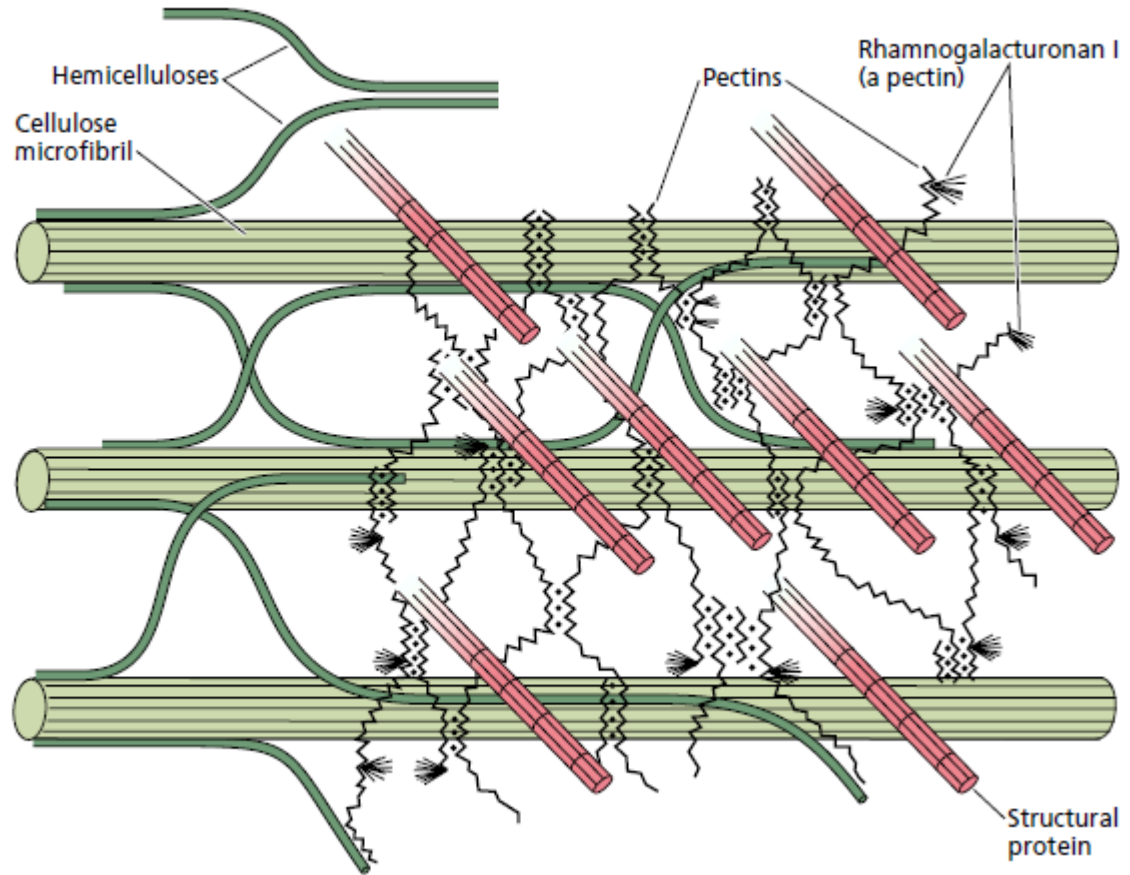


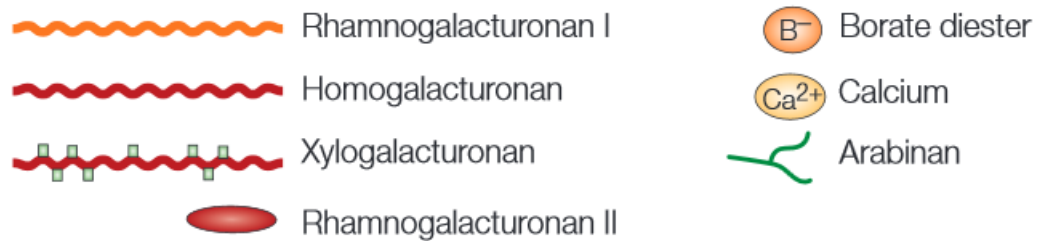
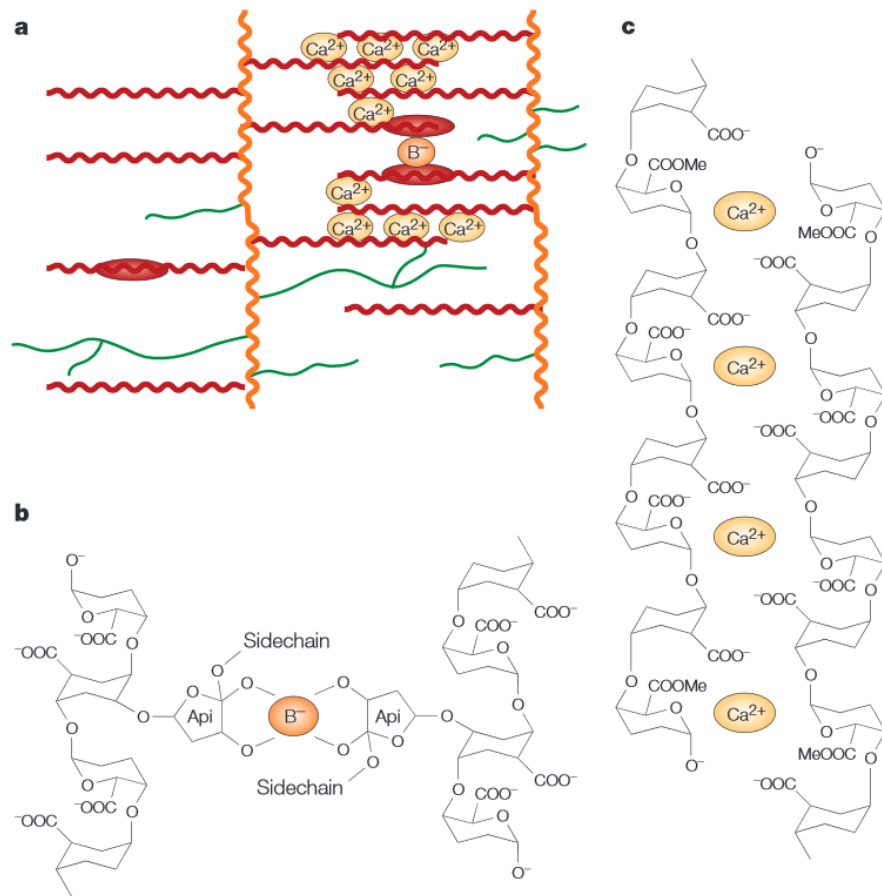
Foto: Amparo Rosero

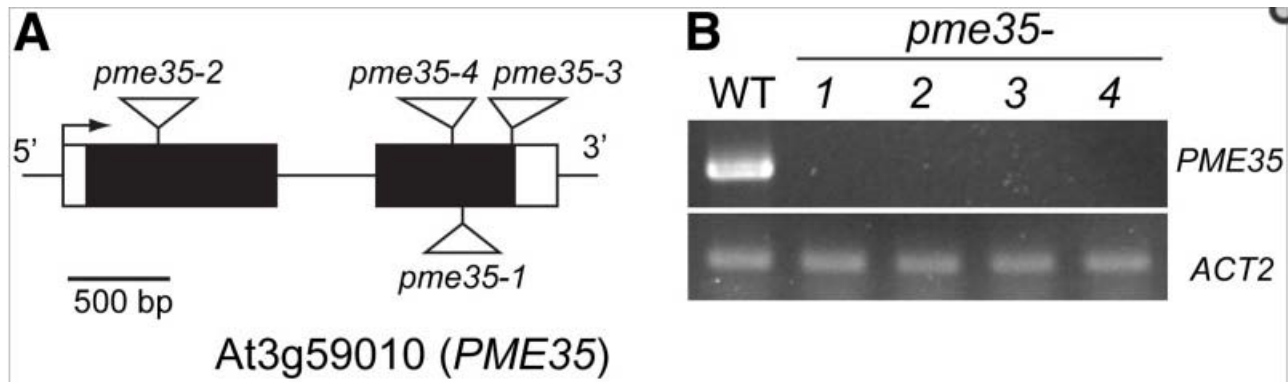
Hemicelulózy a pektiny

výsledné vlastnosti buněčné stěny jsou ovlivněné řadou interakcí mezi polysacharidy. Hemicelulózy a celulóza mezi sebou tvoří vodíkové můstky. Ty jsou rozvolňované enzymy - **expanziny**. Tyto dobře fungují při nízkém pH. Pumpováním protonů do buněčné stěny se tedy stěna rozvolňuje. Tento jev se nazývá **kyselé růst**.

Pektiny RG1 vytváří gel, kterého vlastnosti určuje podíl vápníkem crosslinkovaných řetězců (tzv. eggboxy). Jejich vzniku zabraňuje esterifikace v sekretorické dráze. Míra esterifikace tedy určuje charakter pektinů RG1. V buněčné stěně se nachází pektin methylesterázy, které odstraňují methylesterové skupiny bránící navázání vápníku. RG2 u jednoděložných vytváří borátové diester.







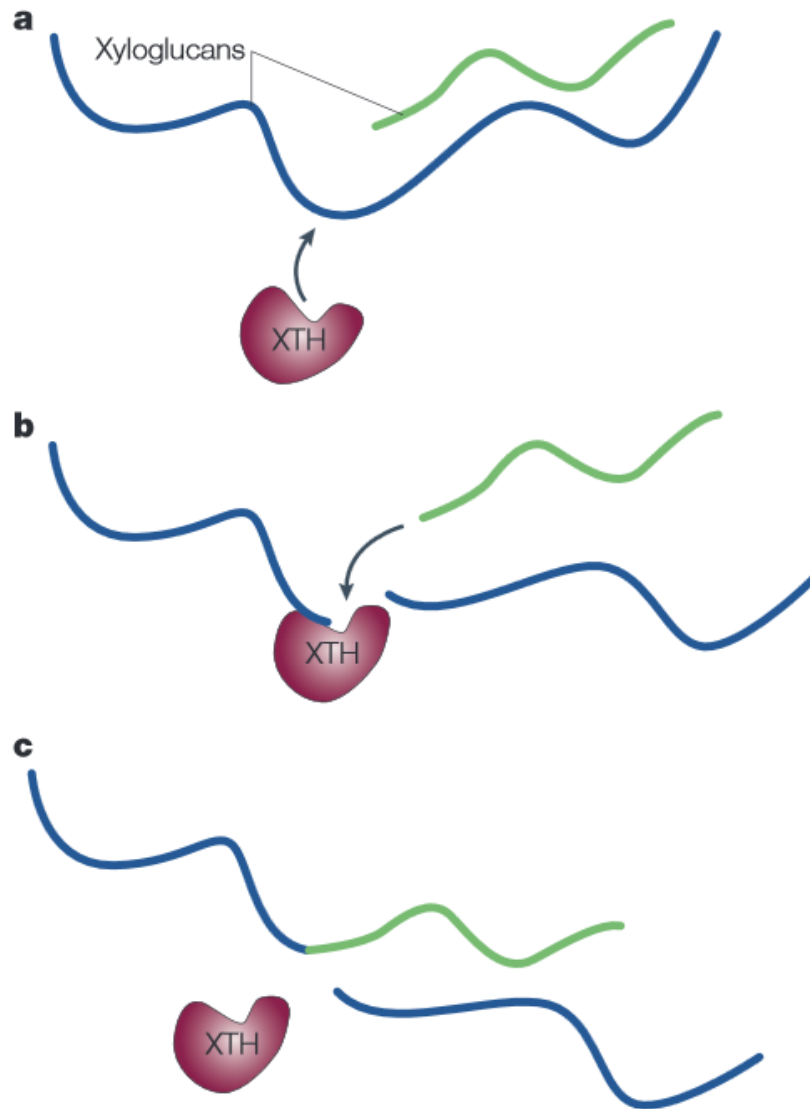
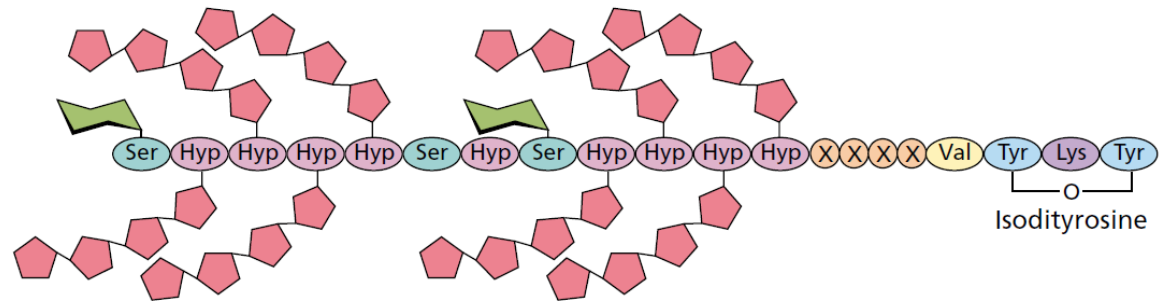
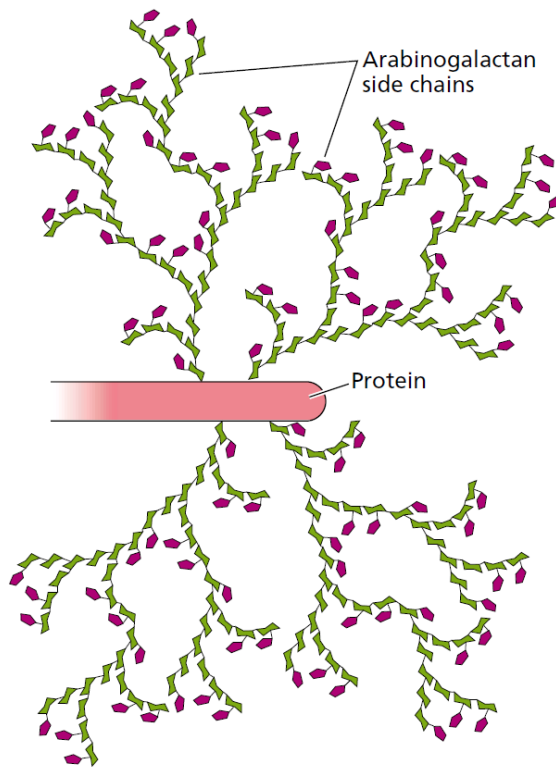


Figure 4 | **The activity of xyloglucan endotransglucosylase/hydrolase (XTH) as an endotransglucosylase.** The

Strukturní proteiny

arabinogalaktanový protein
- až 90% hmotnosti tvoří cukry

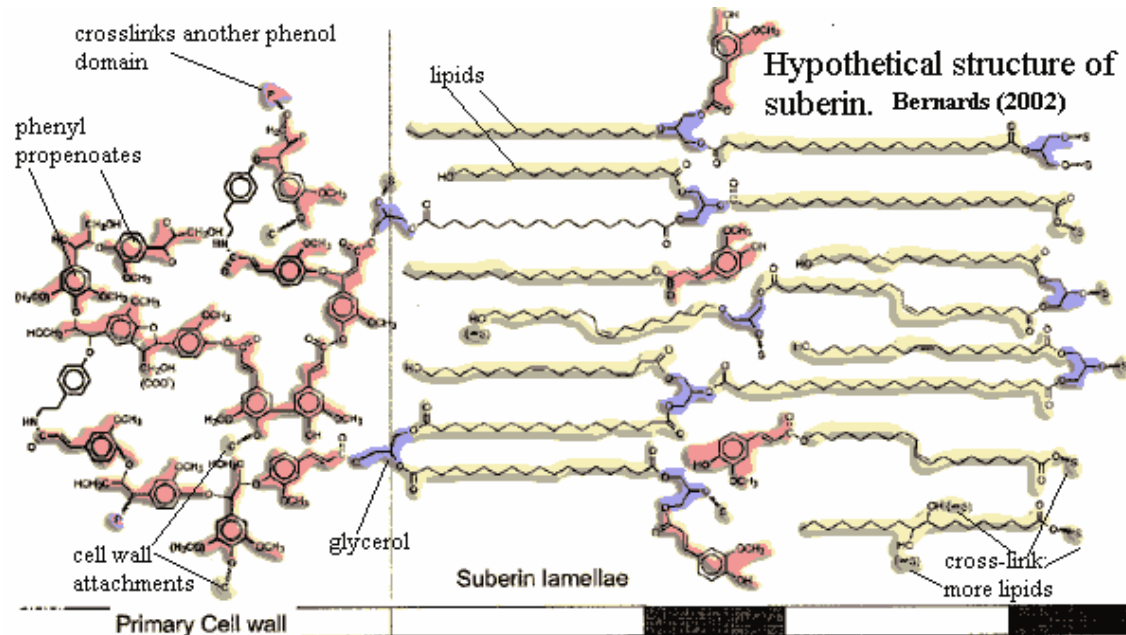
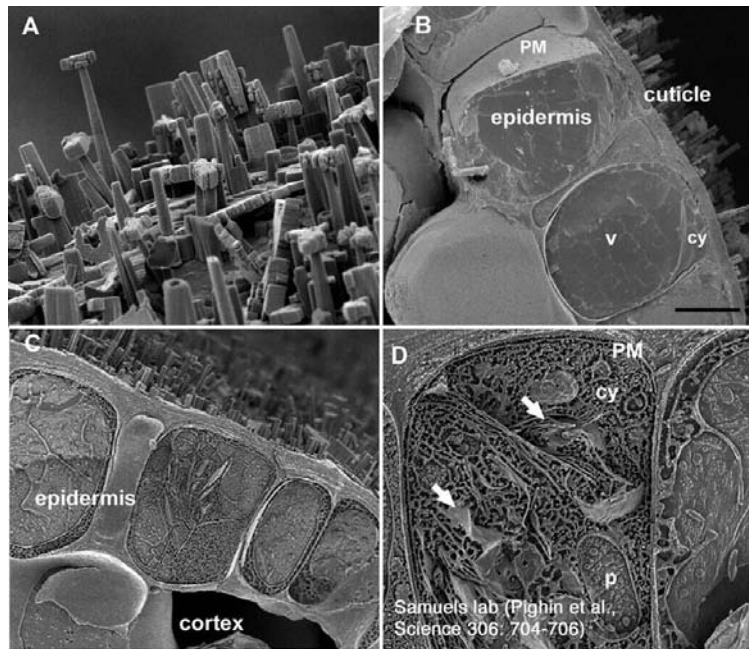


extenzin (od extenzivně glykosylovaný)
pozor, neplést s expansiny! Tyrosinové domény
slouží k vzájemnému propojení extenzinů.

určitě víte, že hydroxyprolin není jedna z 20
kódujících aminokyselin. Vzniká hydroxylací
prolinu prolyl hydroxylázou, je to tedy
příklad posttranslační modifikace

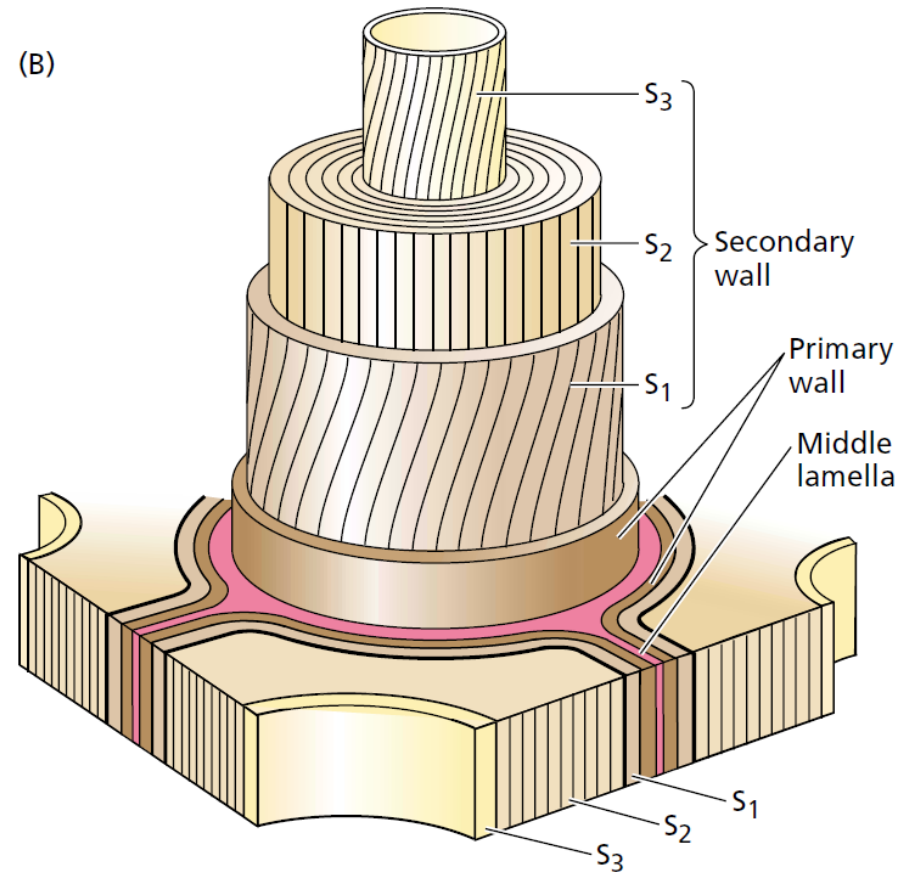
Suberin a kutin

suberiny jsou složeny z hydrofobní alifatické a aromatické části. Suberin v některých buňkách tvoří tzv. suberinovou lamelu, která je integrovaná aromatickou částí do primární buněčné stěny a alifatická část vytváří velice silnou hydrofobní bariéru. Suberiny jsou typické pro nepropustné vrstvy podzemních částí rostlin, jako endodermis a někdy exodermis. Kutinu schází aromatická část a spolu s jinými vosky tvoří kutikulu, která je charakteristická pro nadzemní části rostliny.



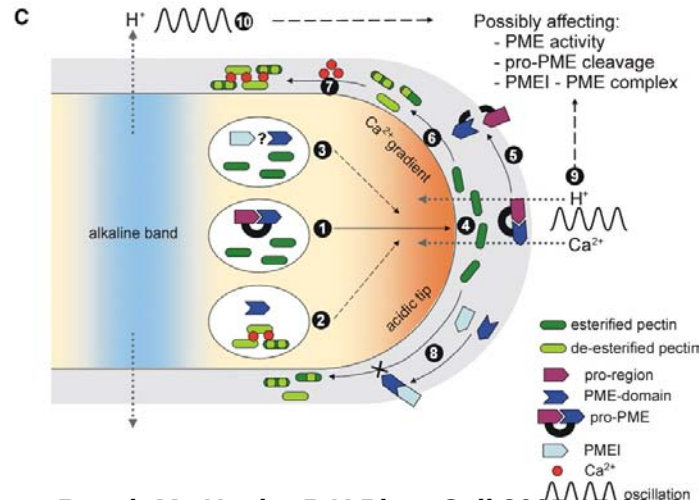
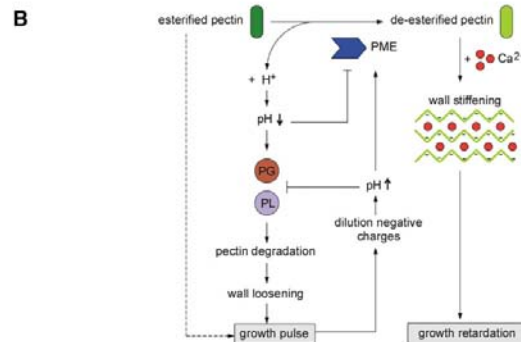
Stavba buněčné stěny

- střední lamela - tvoří se v telofázi za pomoci fragmoplastu, dominantní roli mají komponenty syntetizované v Golgi. Více uslyšíte u buněčného cyklu.
- primární buněčná stěna - již obsahuje značné množství celulózy.
- sekundární buněčná stěna - až 30% ligninu, může mít více vrstev. Často také obsahuje kutin a suberin.



Růst buněčné stěny VS růst buňky

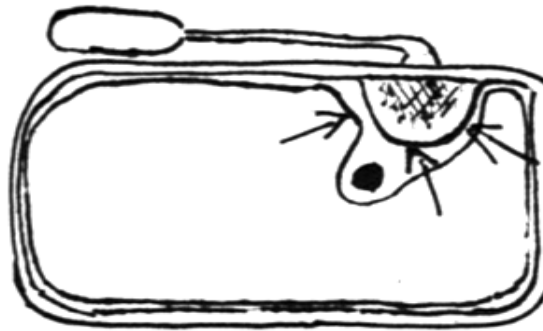
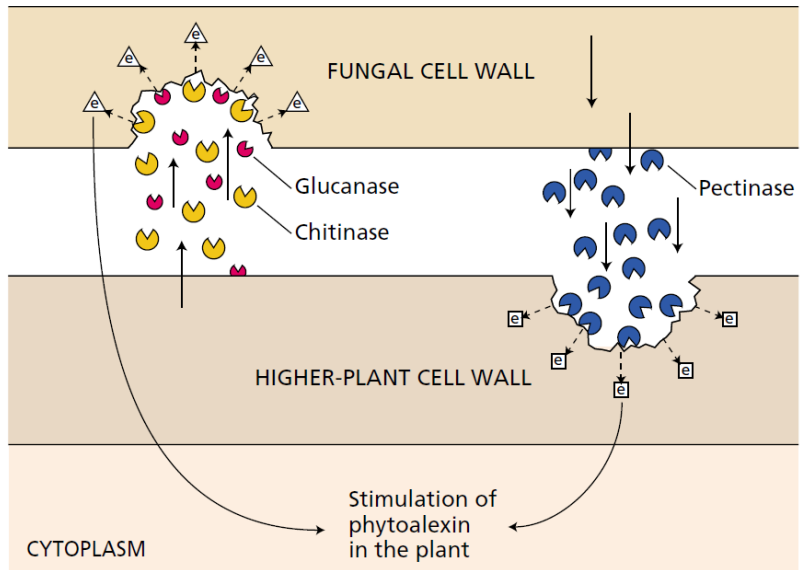
Regulation of PME Activity in Pollen Tubes. (A) Example of the distribution of relatively deesterified pectins and esterified pectins in *N. tabacum* pollen tubes by means of JIM5 and JIM7, respectively, immunolabeling.



Bosch M , Hepler P K Plant Cell 2005;17:3219-3226

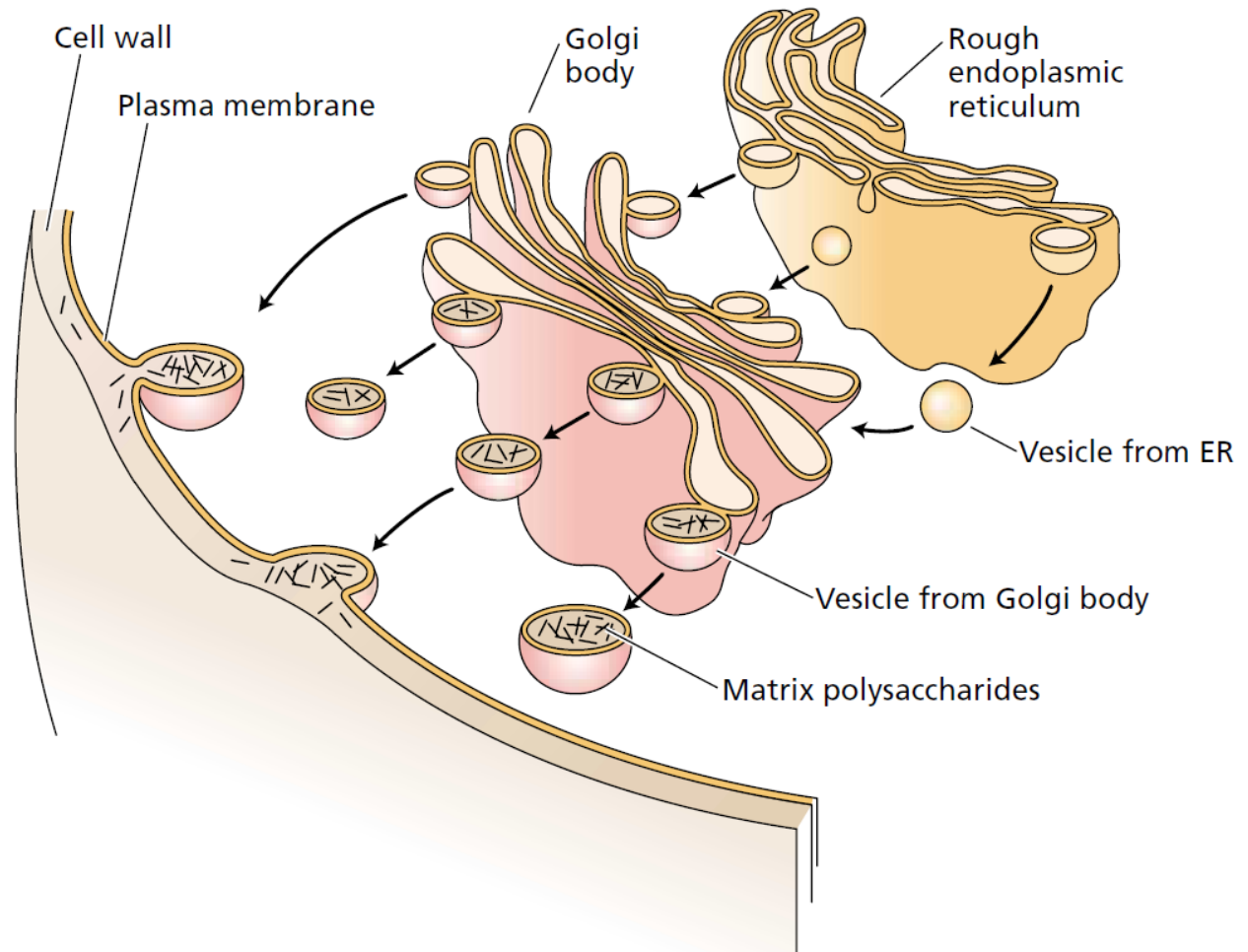


stěna, to je boj

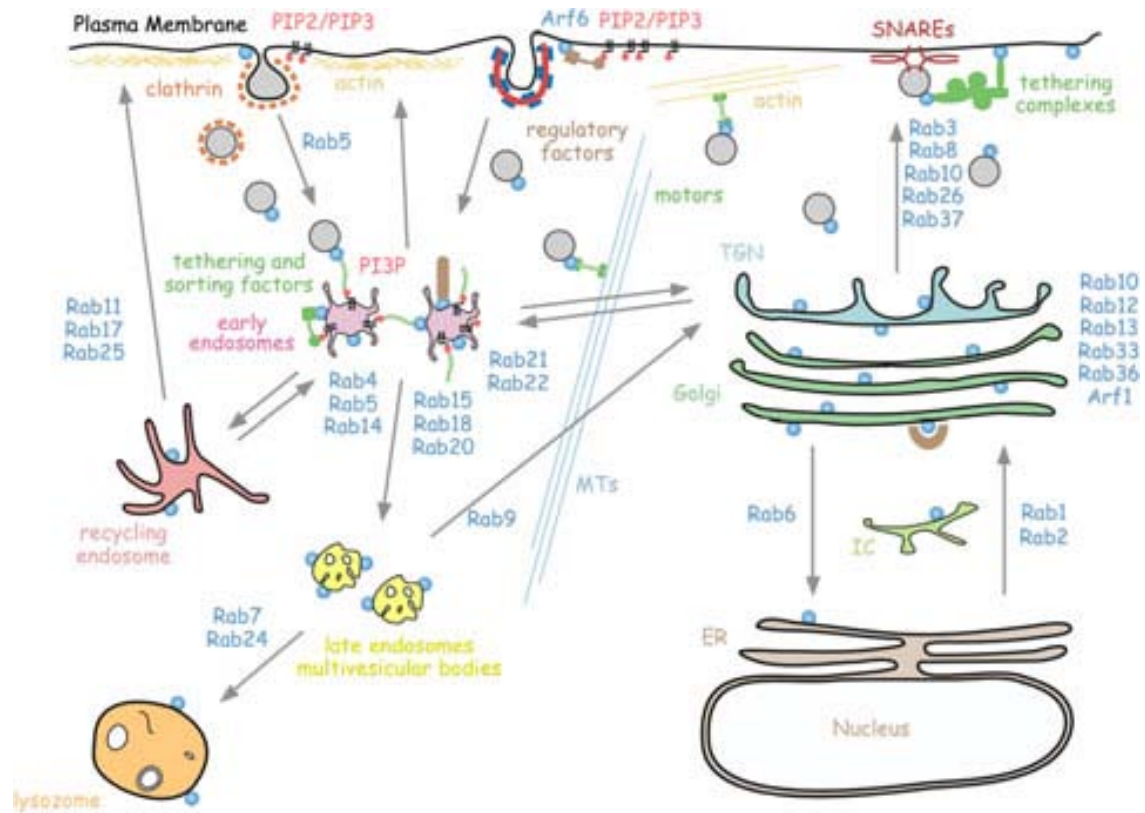
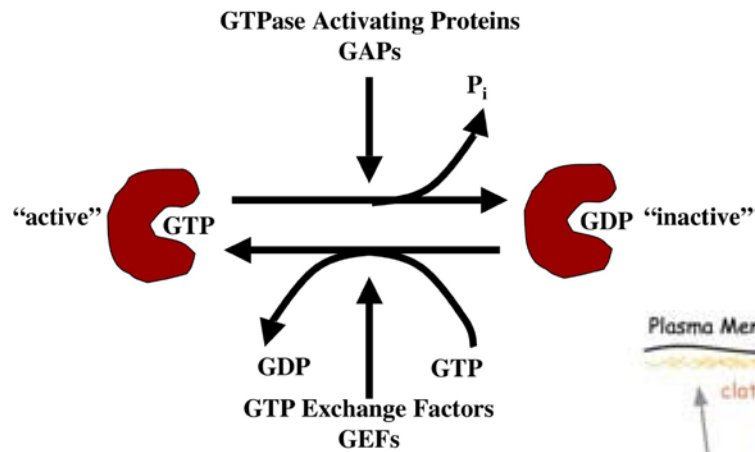


Endomembránový systém

endomembránový systém je nezbytný pro vznik buněčné stěny. Hemicelulózy a pektiny jsou syntetizované v Golgiho aparátu a sekretorickými vezikuly se dopravují do buněčné stěny, stejně jako prekuzory lignínu

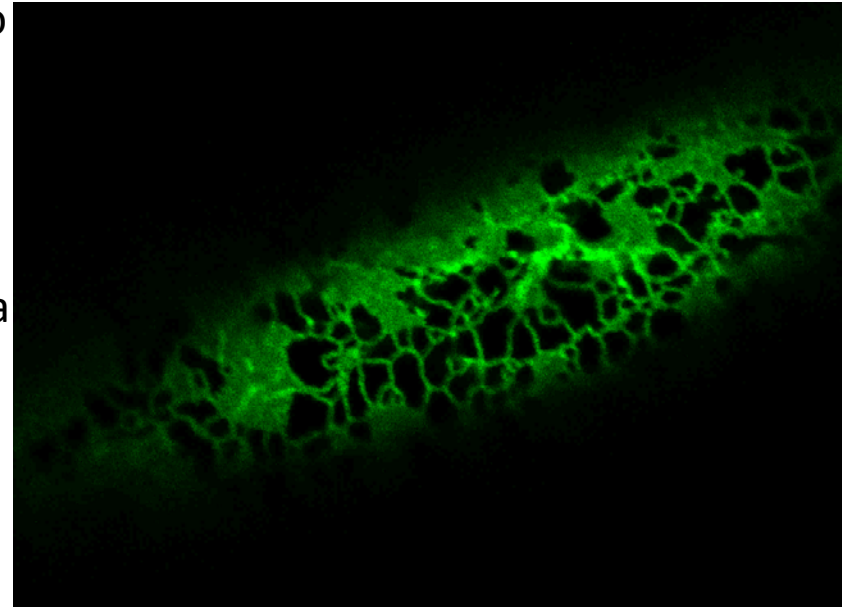


Důležitou roli v endomembránovém systému sehrávají malé GTPázy.



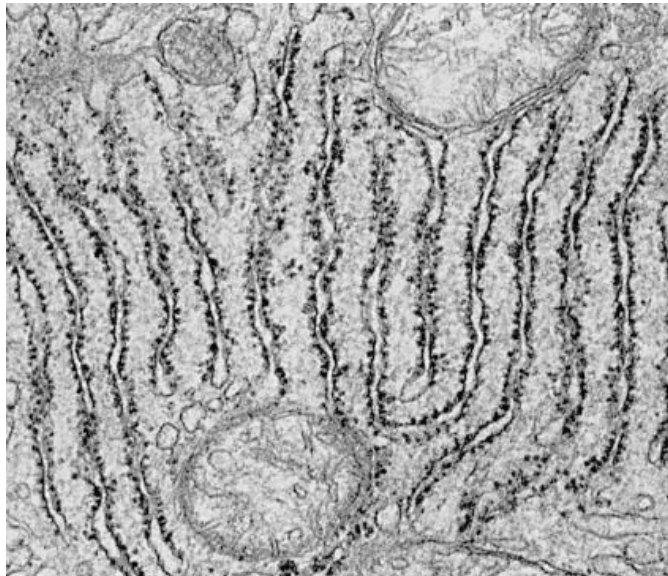
Endoplazmatické retikulum (ER)

ER je výchozím kompartmentem endomembránového systému. Je velice univerzální a velice proměnlivý kompartment, složený z **tubulů** a **cisteren**. Funkčně rozlišujeme **drsné** a **hladké** ER. Drsné ER (vzhled způsoben množstvím ribozomů) je místem pro syntézu proteinů. Hladké ER je místem syntézy lipidů a dodává materiál pro všechny membrány endomembránového systému a plasmalemy. Materiál pro syntézu - mastné kyseliny, však pocházejí z plastidů. Také se zde syntetizují zásobní triacylglyceroly - tvorba tzv. **oleosomů**

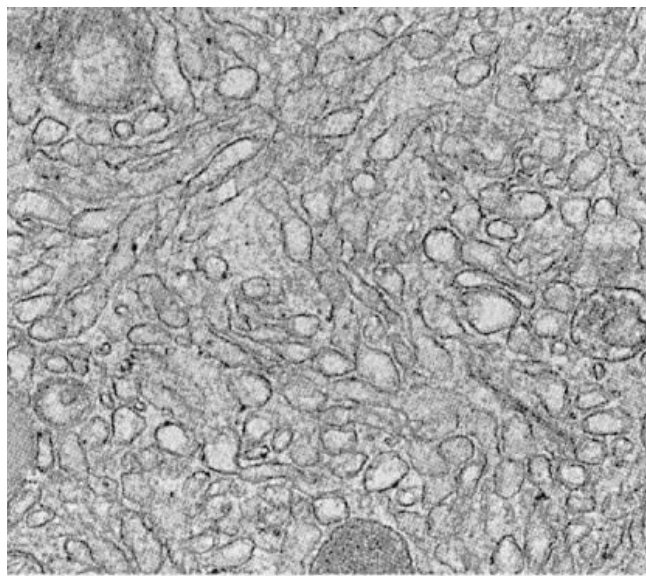


kortikální ER v rostlinné buňce se neustále mění a pohybuje. Na videu jsou patrné tubuly i cisterny.

Toto video vytvořili vaši spolužáci na kurzu naší katedry MB130C30 - Praktikum z rostlinné buňky pod vedením Dr. Schwarzerové



drsné ER

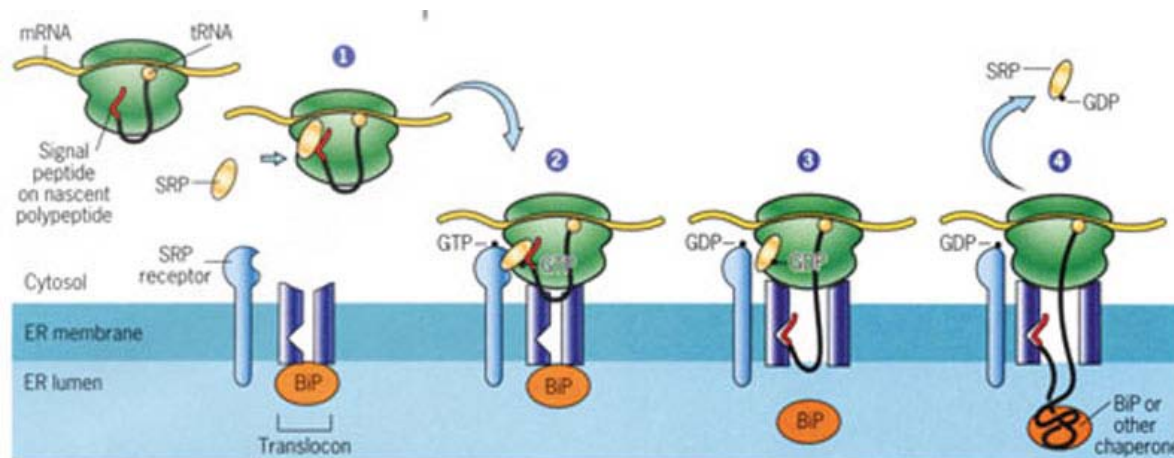


hladké ER

Ribozomy na drsném ER

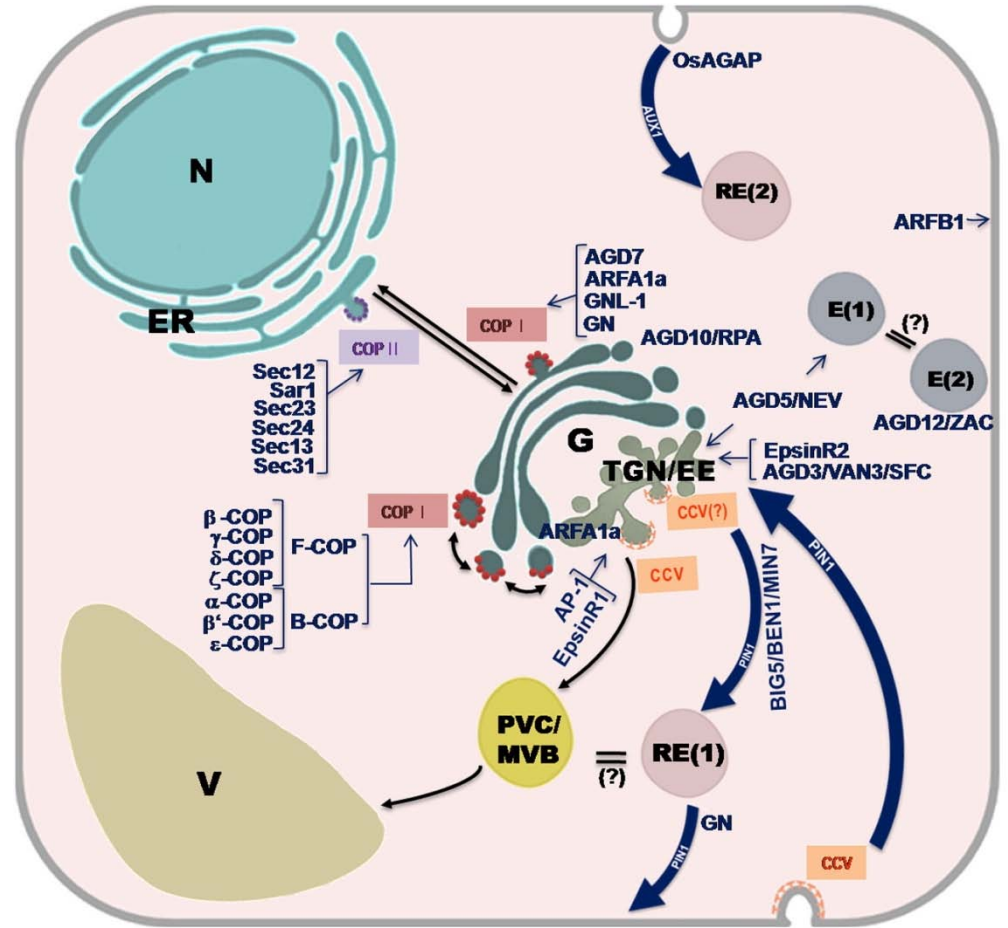
Proteiny, které se mají dostat do ER mají na jejich N-konci signální peptid. Ten je rozpoznán GTPázou SRP (Signal Recognition Particle). SRP s peptidem a ribozomem se naváže na SRP receptor (také GTPáza) a zprostředkuje vazbu ribozomu na **translokon** - kanál sloužící pro transport proteinů skrz ER. Ten se otevře, SRP a SRP receptor hydrolyzují GTP a uvolní se. Tím se uvolní translace a protein putuje do centrálního póru translokonu. Signální peptid je odštěpen signální peptidázou.

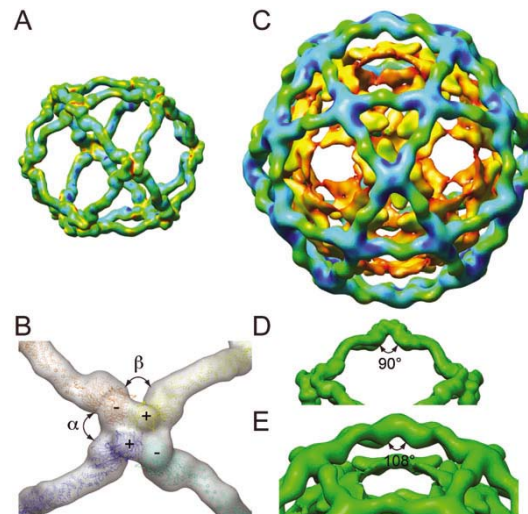
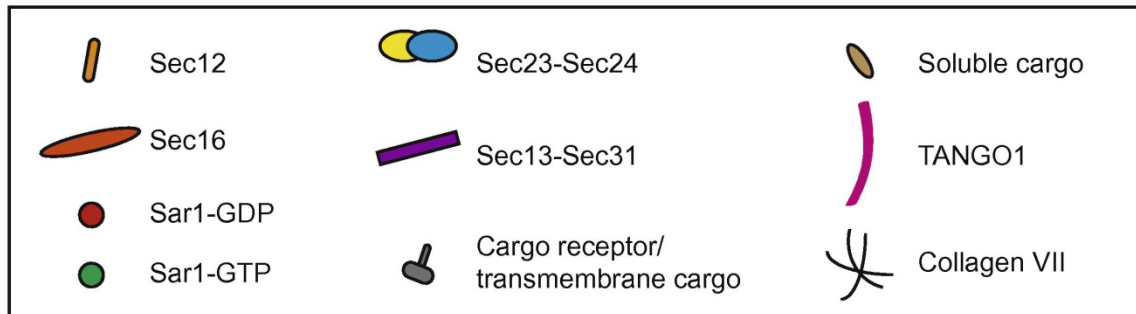
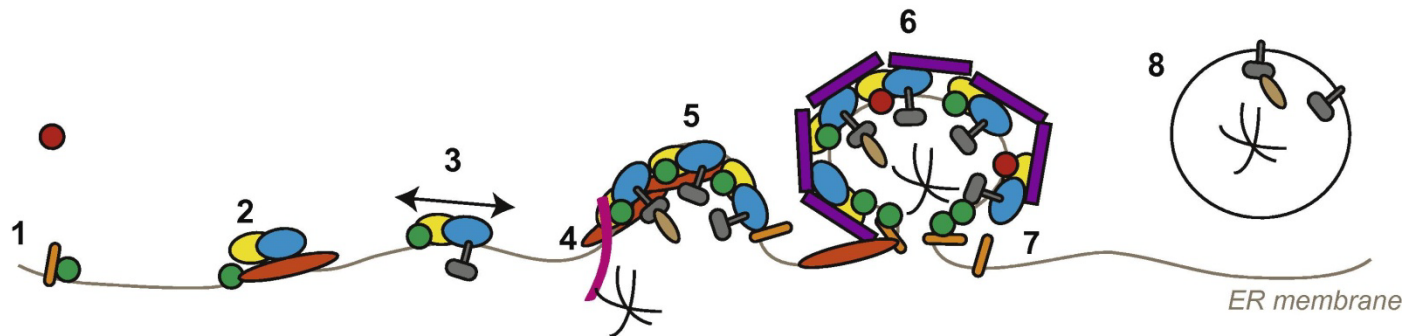
Proteiny mohou dále putovat sekretorickou dráhou, nebo zůstat v ER. Residentní bílkoviny ER - **retikuloplasminy** - se vyznačují signální sekvencí **HDEL** (u rostlin) nebo **KDEL** (u živočichů). Z ER mohou vzniknout i zvláštní organely- proteinová tělíska, sloužící obvykle jako zásoba aminokyselin



Komunikace mezi ER a Golgi

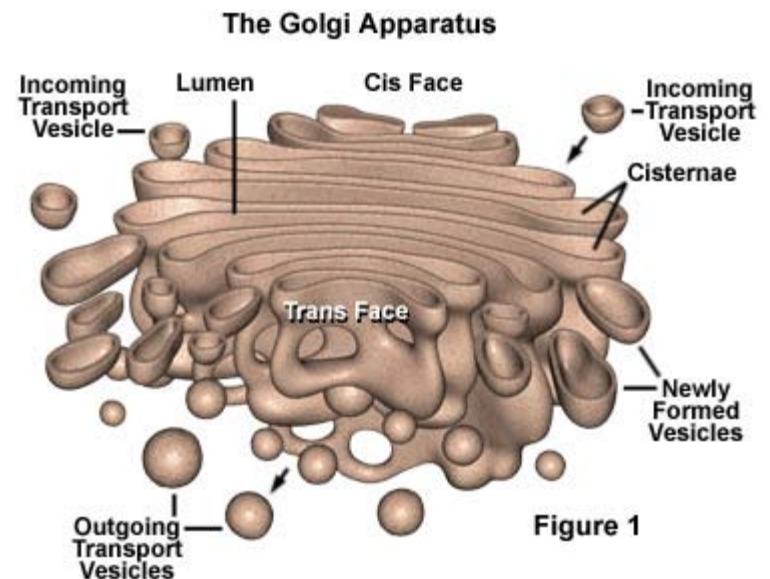
- transport mezi ER a Golgi je sprostředkován **coat proteiny** - **COP**
- transport z ER do Golgi nazýváme **anterogradální**. Tento transport odehrává pomocí **COP II** vezikul.
- transport z Golgi do ER nazýváme retrogradální a zabezpečují ho **COP I** proteiny
- sestavování těchto váčků řídí malé GTPázy z rodiny ARF a SAR a také jejich GEFs a GAPs.

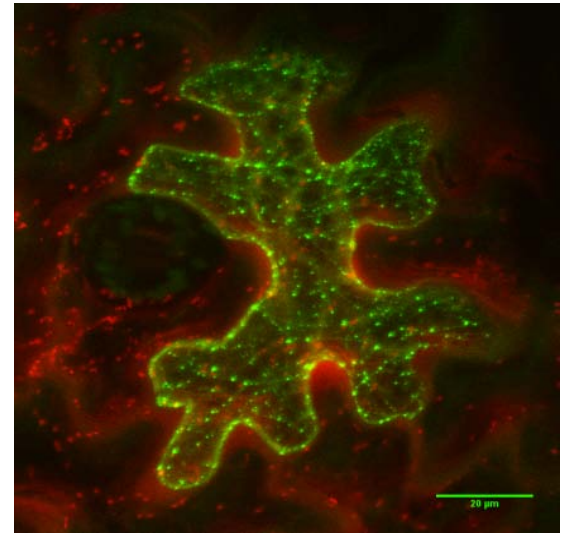
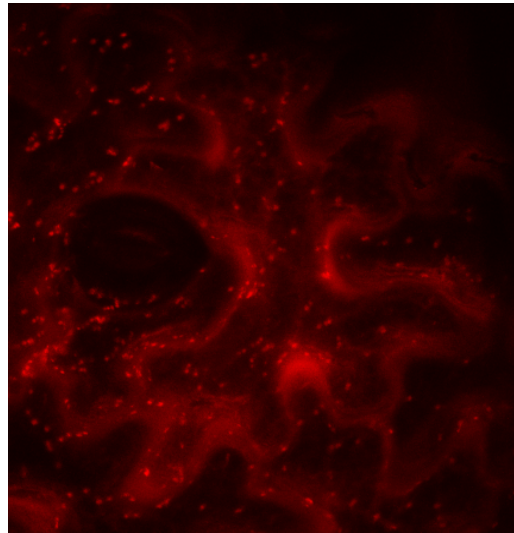
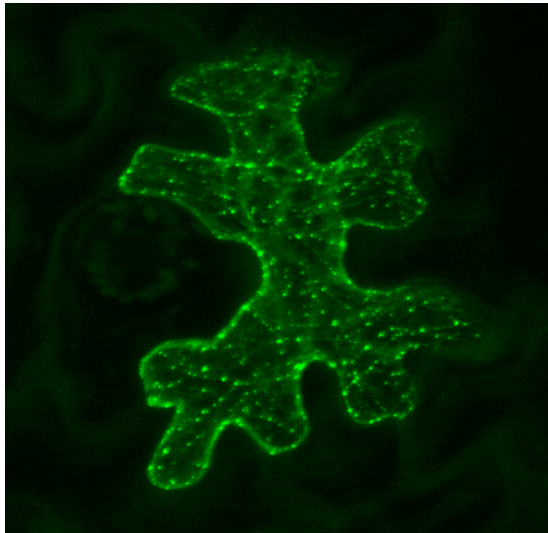




Golgiho aparát

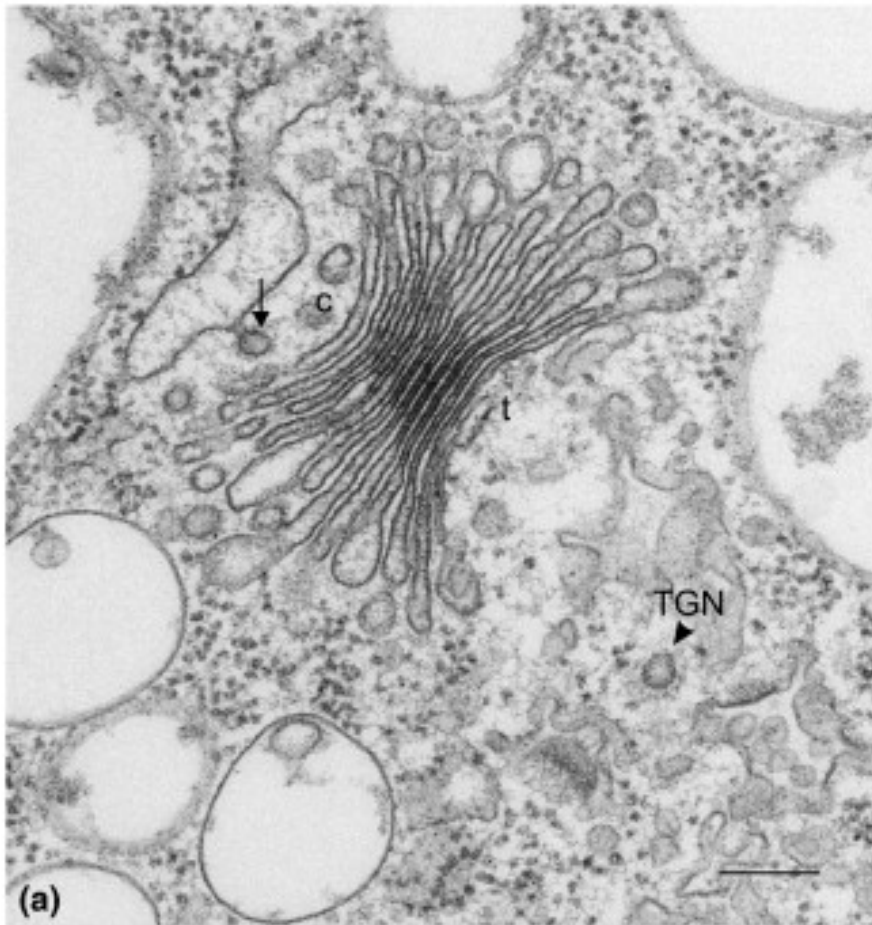
- centrum endomembránového transportu
- syntéza, třídění a úprava makromolekul (O glykosylace)
- továrna na polysacharidy buněčné stěny
- tvořen z váčků - diktyosomů



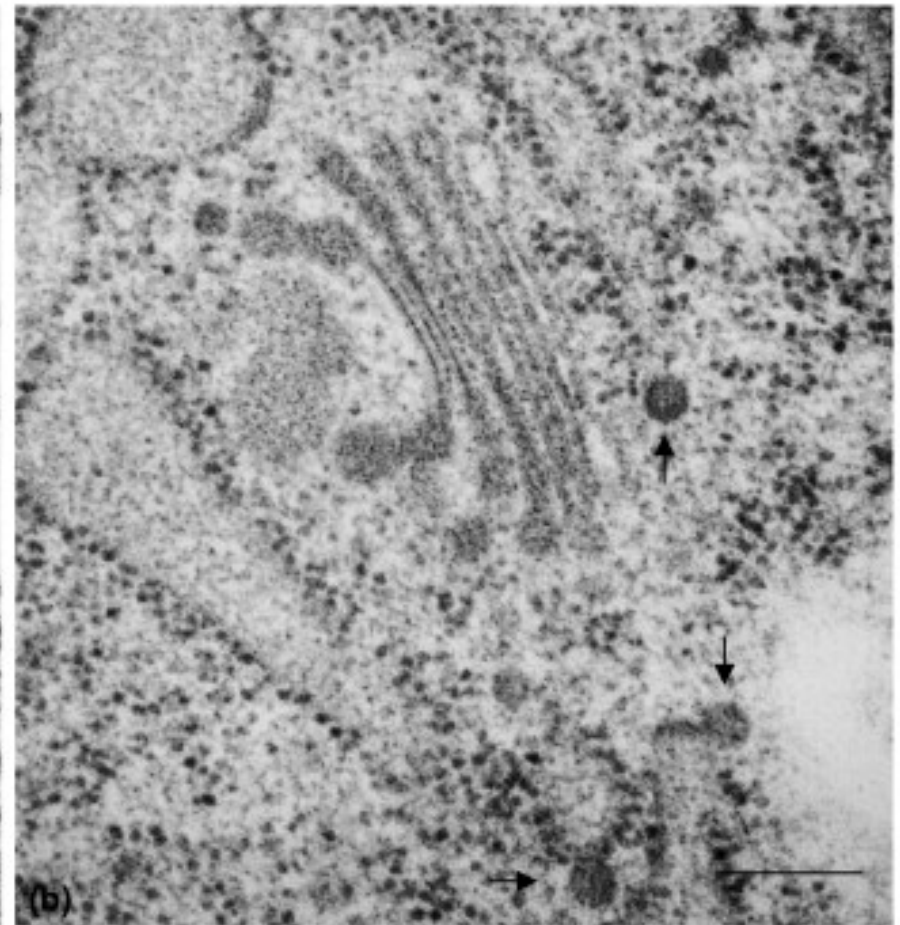


Golgiho aparát (GA)

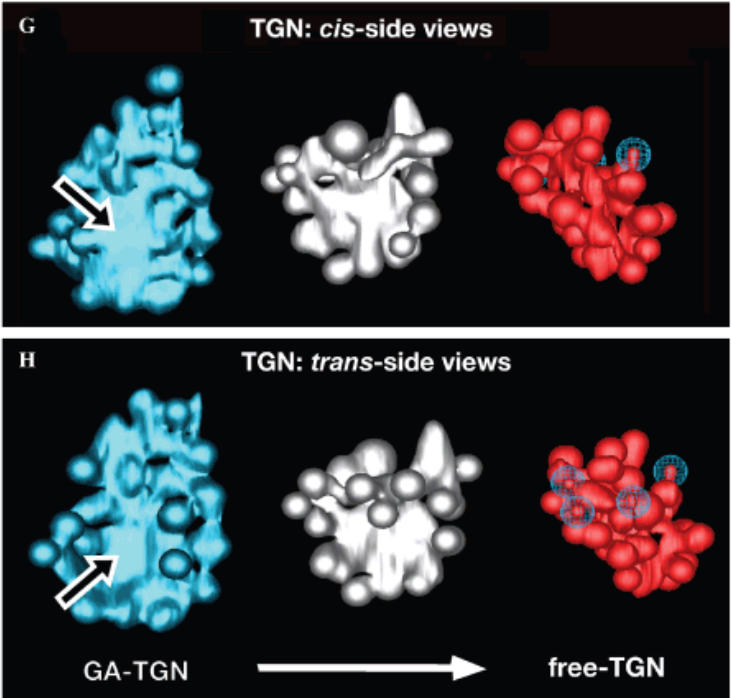
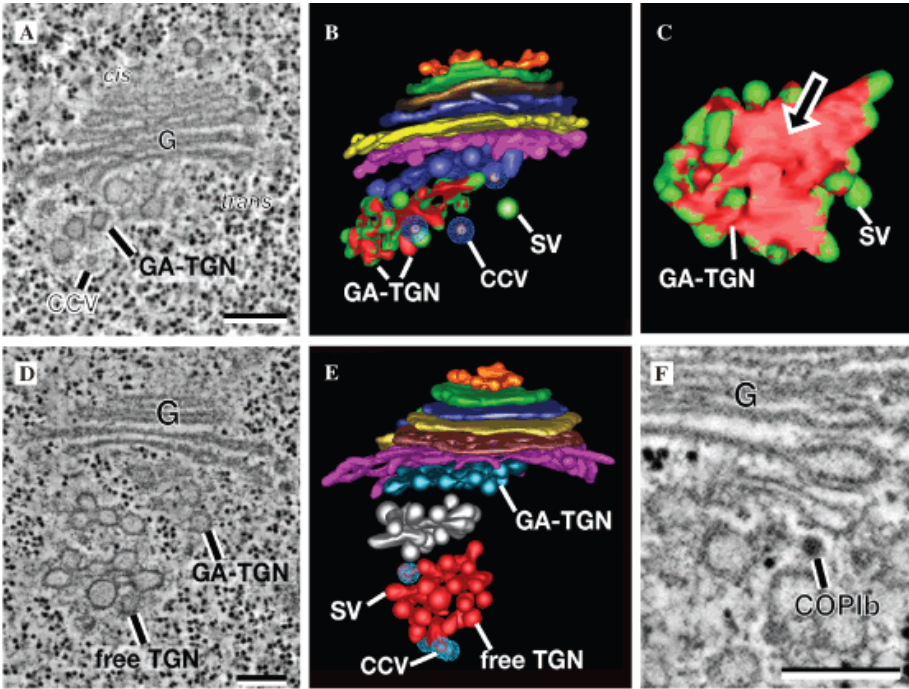
Chlamydomonas noctigama
-statický GA

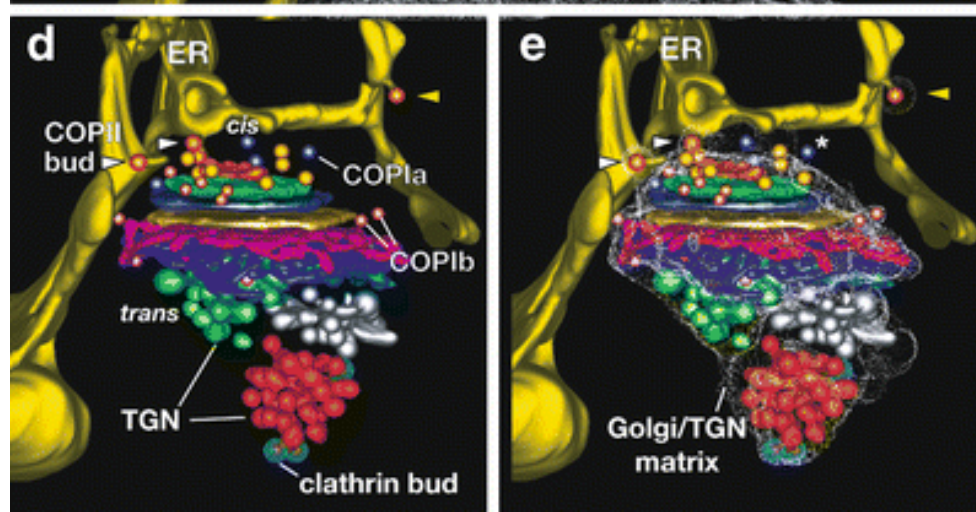
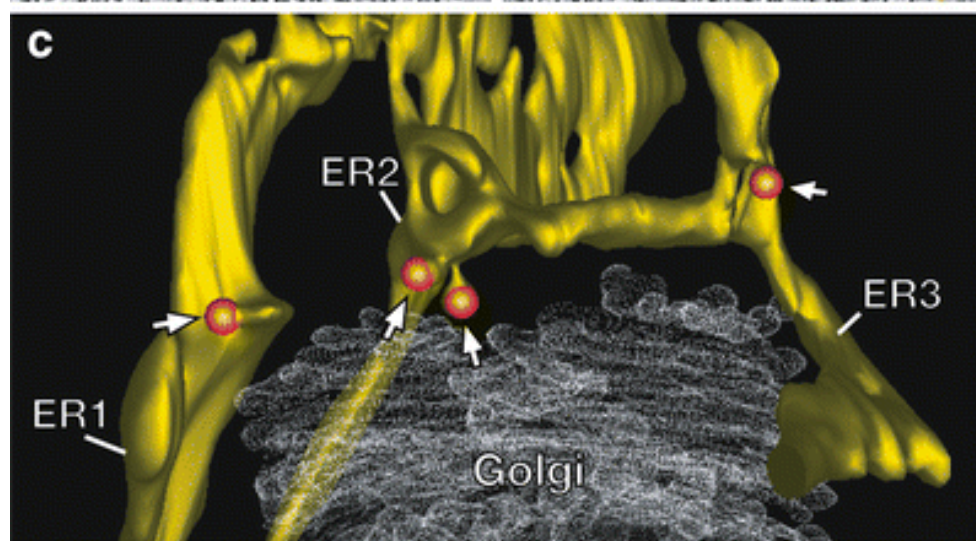
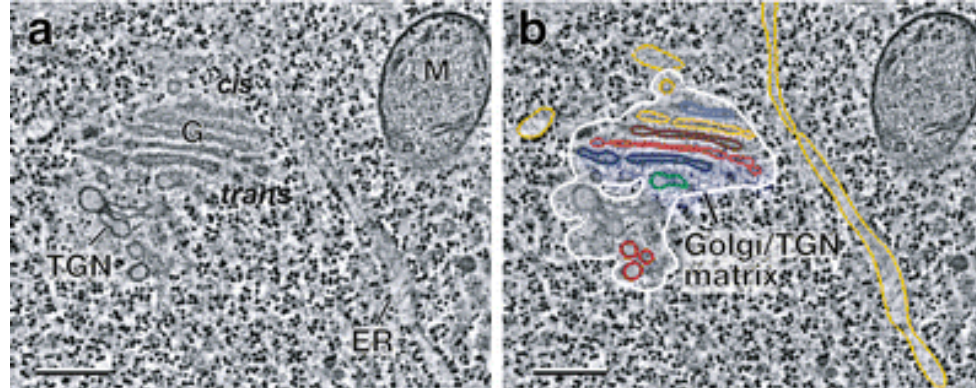


Arabidopsis thaliana
-mobilní GA



Electron Tomography of RabA4b- and PI-4K β 1-Labeled Golgi Network Compartments in



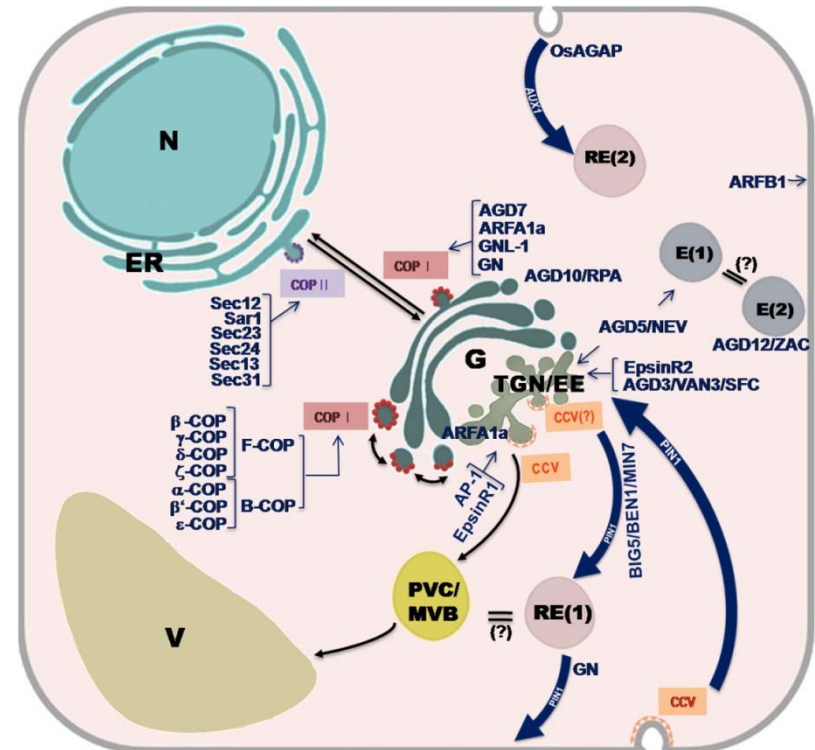
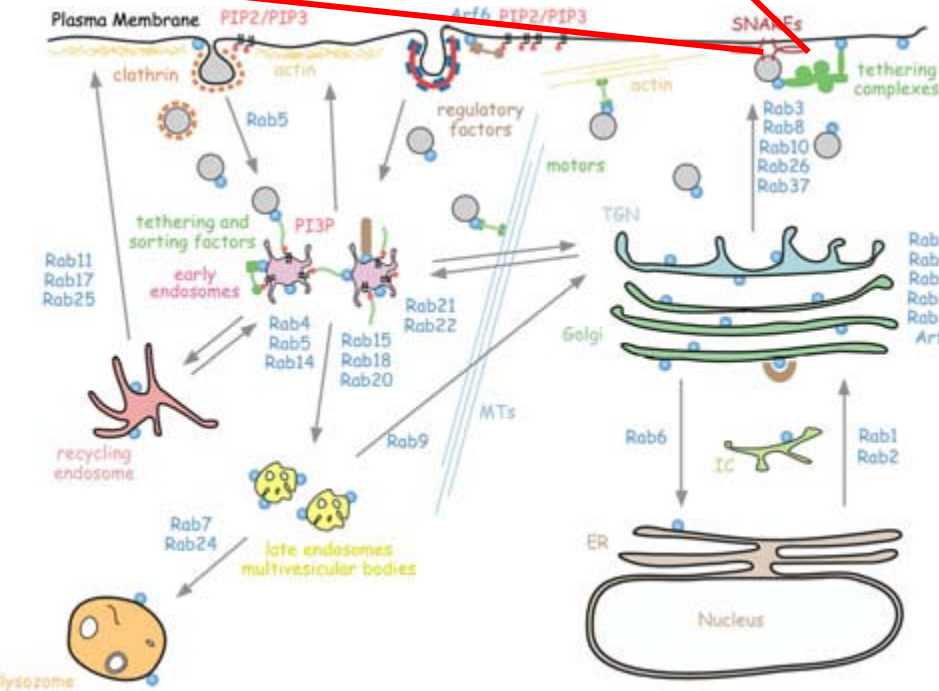
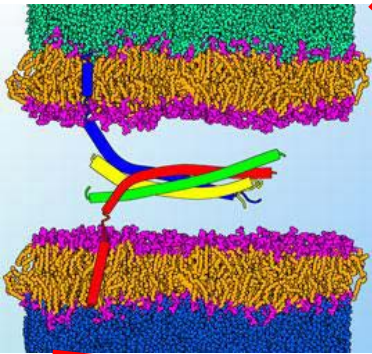


I don't know you so well, but you're lookin' all right

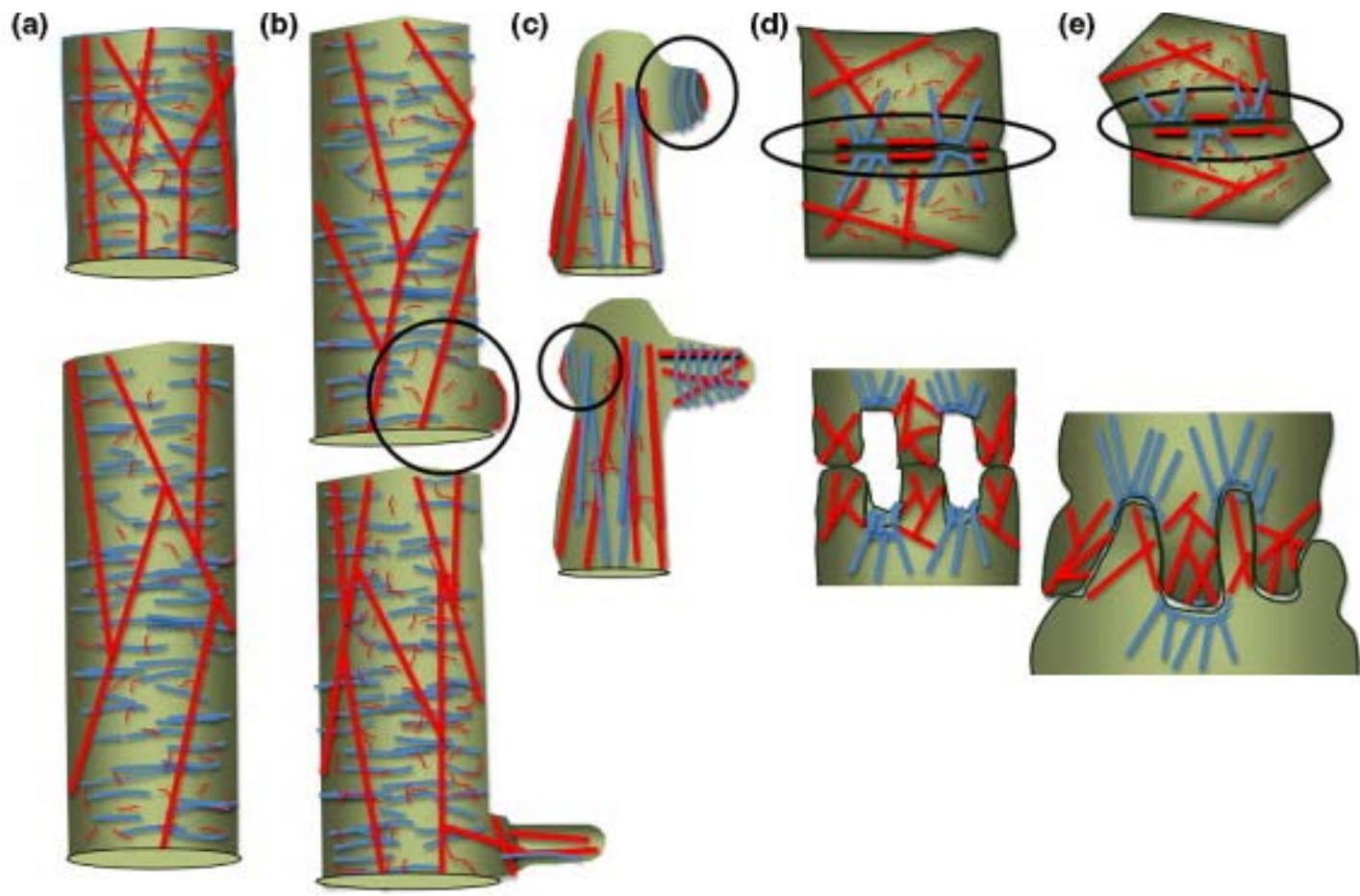
Podívejte se také na: <http://www.youtube.com/watch?v=6N7wJKNdNgY>

Komunikace GA s ostatními kompartmenty

- GA komunikuje jak s plasmalemou, tak i s prevakuolárními kompartmenty (PVC) a recyklačními endosomy (RE)
- identita endomembránových kompartmentů je zabezpečena pomocí malých GTPáz z rodiny RAB (rat brain)
- vezikuly opouštějící GA a plasmalemu jsou obalené dalším typem coat proteinu - **clathrinem** (ccv=clathrin coated vesicles)



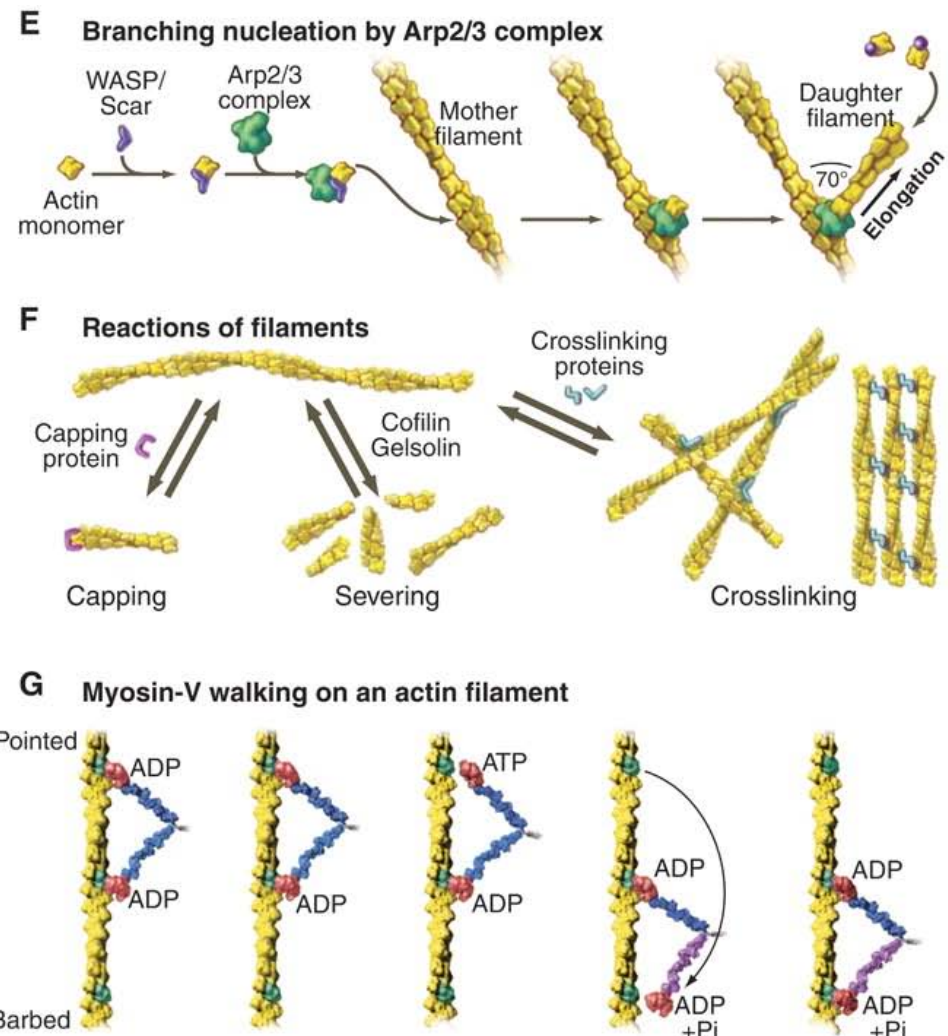
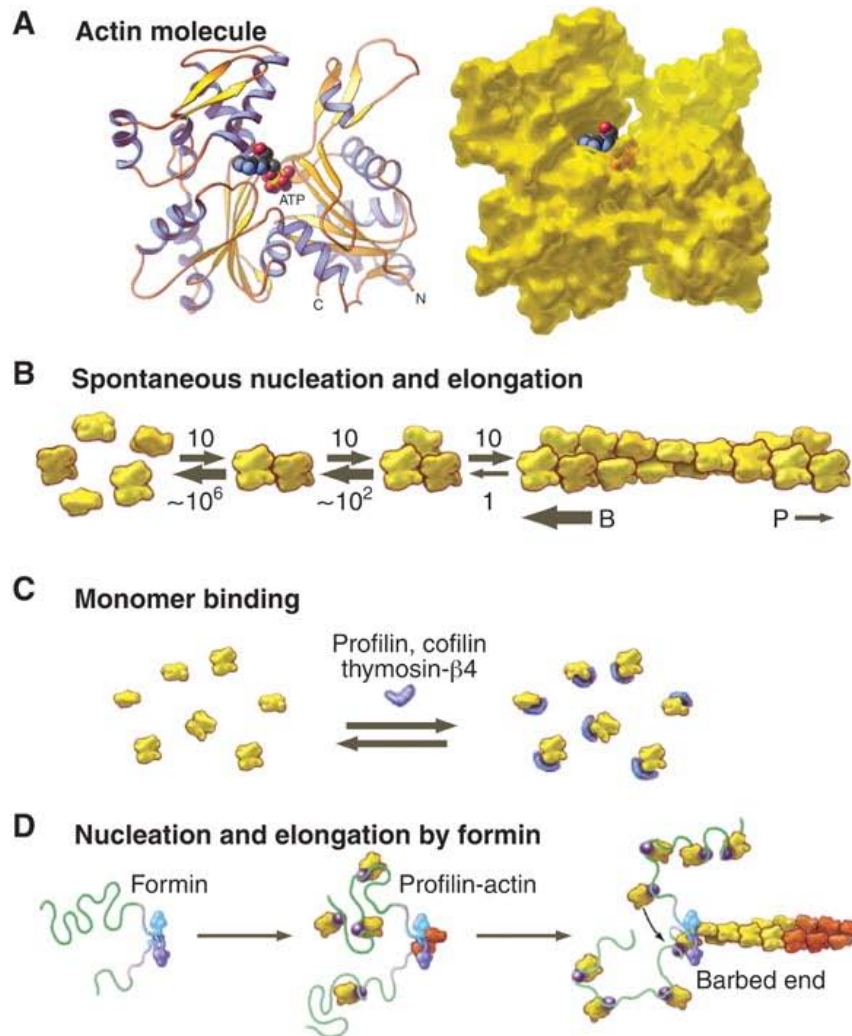
Cytoskelet



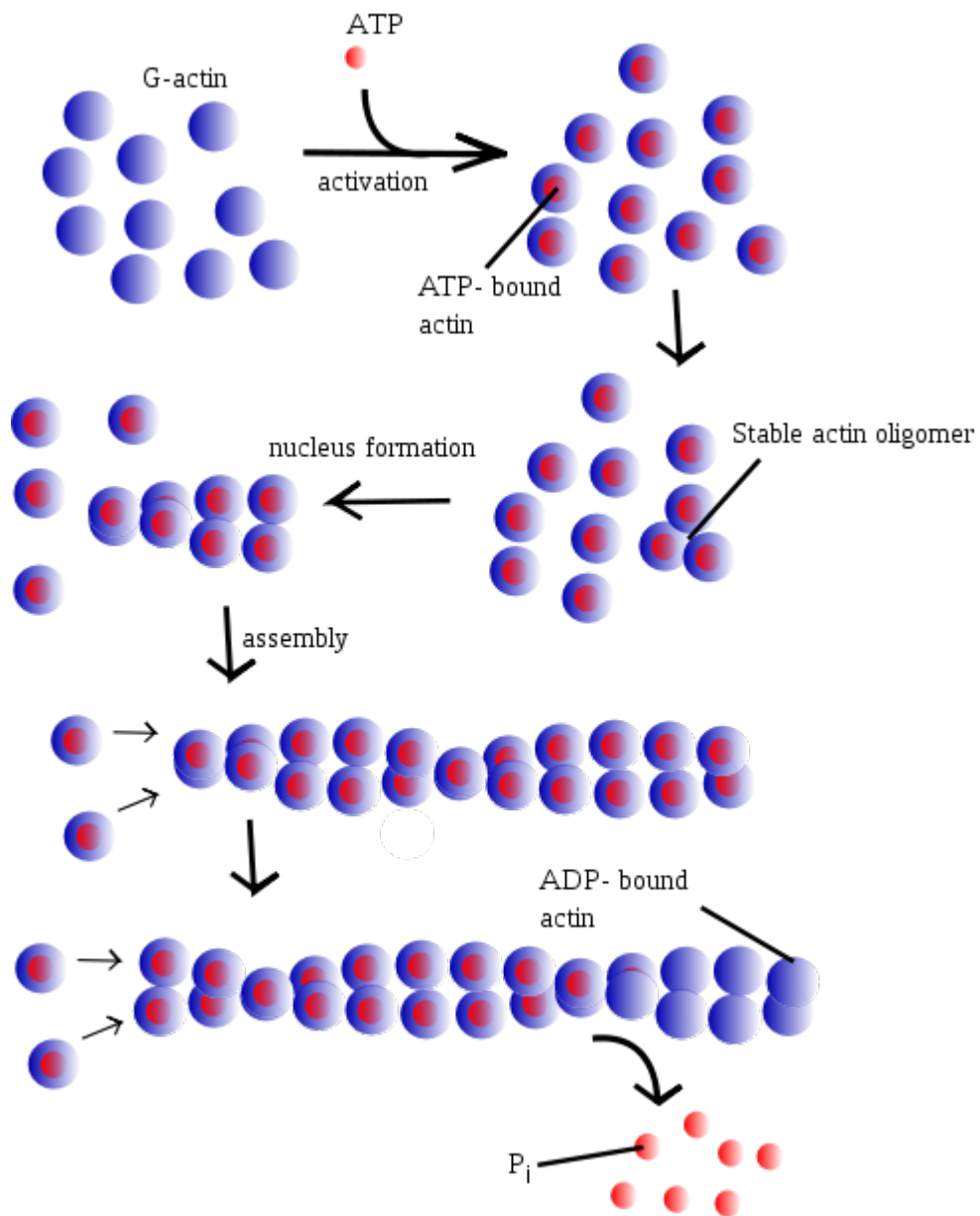
Aktin a mikrofilyamenty



video z laboratoře Chrise Steigera

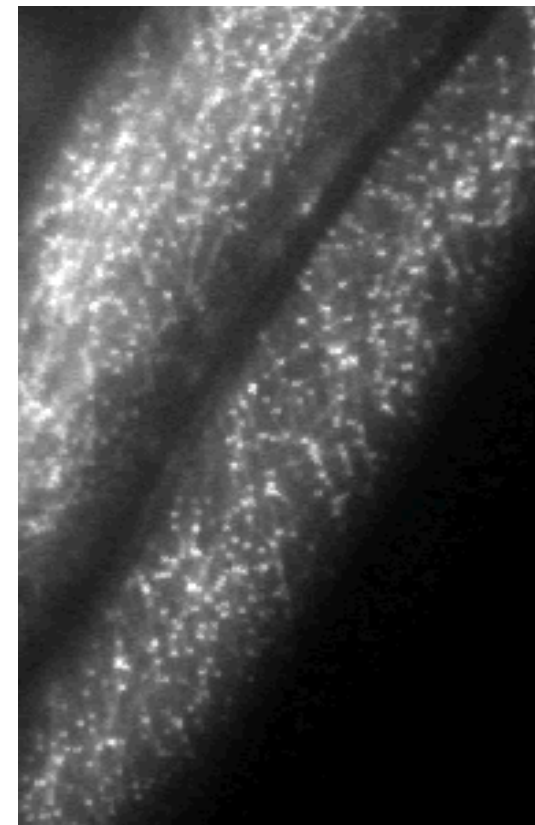
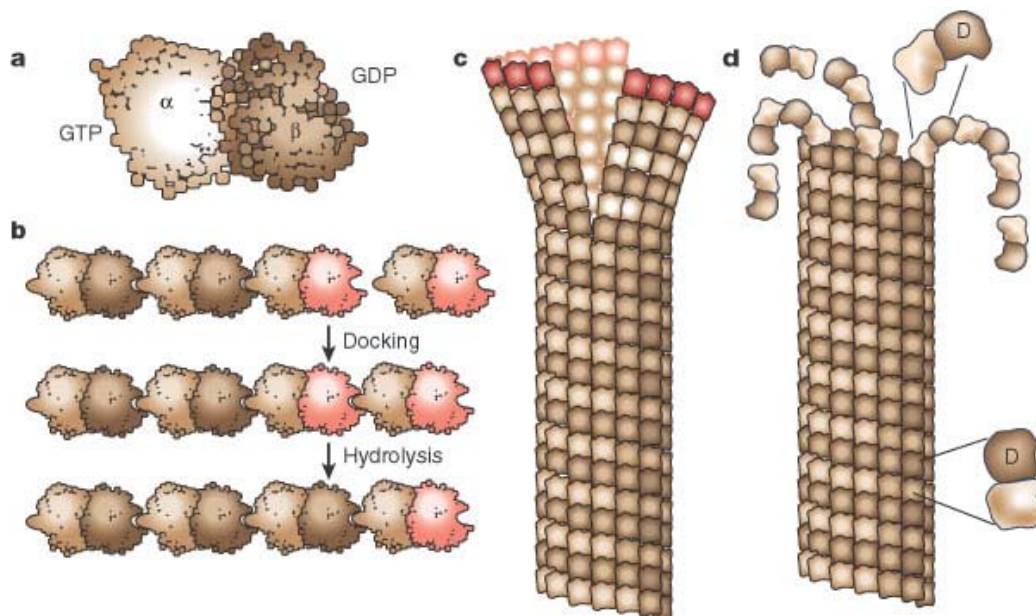


Pollard et al.:Science. 2009 Nov 27;326(5957):1208-12.

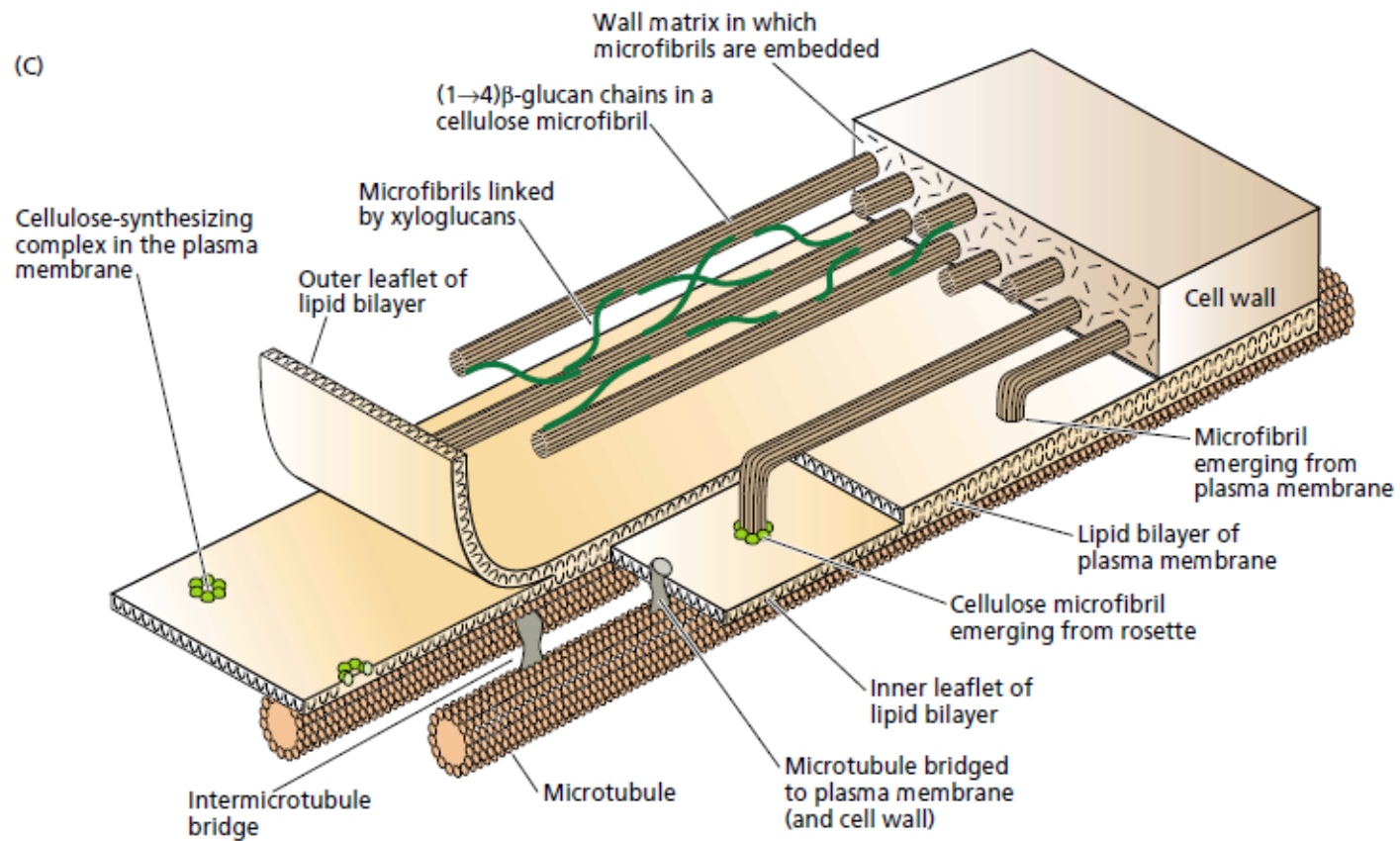


Tubulin a mikrotubuly

- dimer α a β tubulinu, také GTPázy, 50 kDa
 - mikrotubul je složený z přiléhajících **protofilament**
 - mikrotubuly mají stabilní - konec a nestabilní + konec. - konec je stabilizován γ -tubulinem
 - rostliny postrádají centrioly. Jejich roli plní plasmalema v interfázi a povrch jaderné membrány v mitóze
- MAPS- microtubule associated proteins - umožňují mikrotubulům interagovat s plasmalemou, organizovat se do svazků a interagovat s organely. **Příkladem je fosfolipasa D, která připojuje mikrotubuly k plasmalemě**



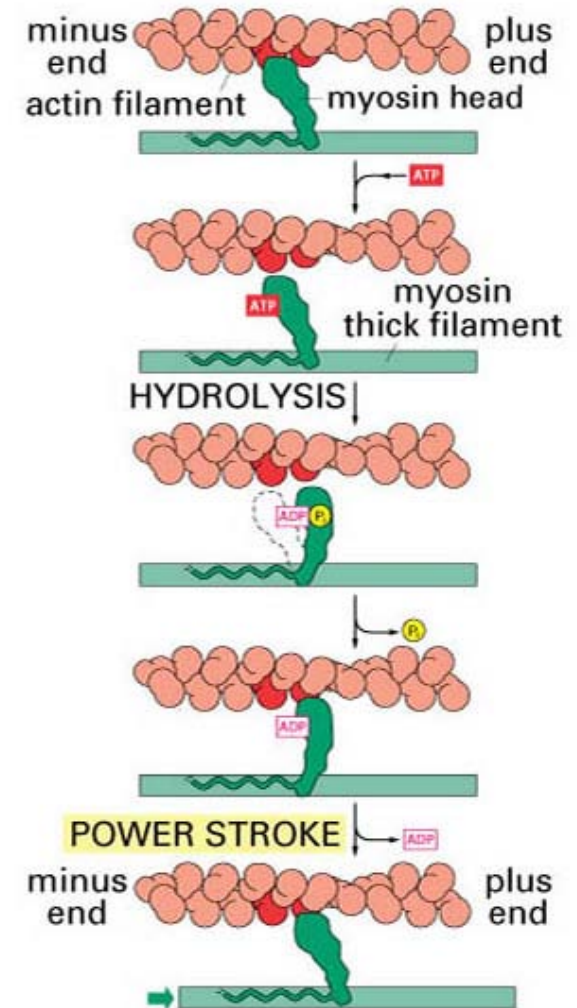
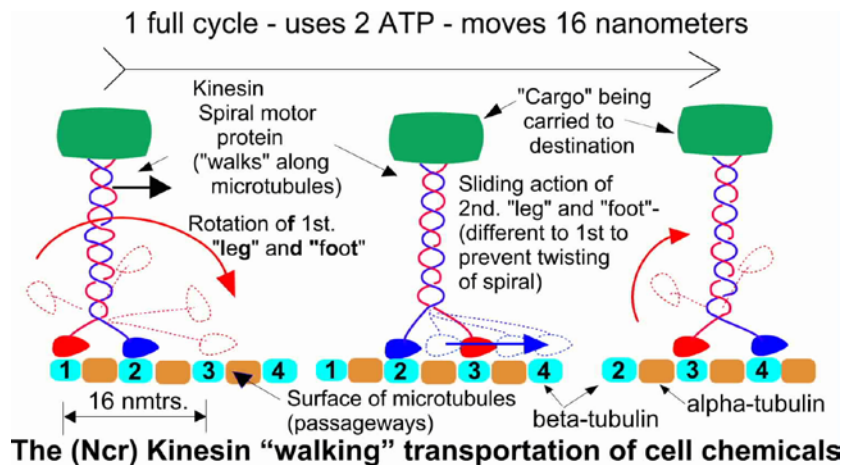
(C)



Motorové proteiny

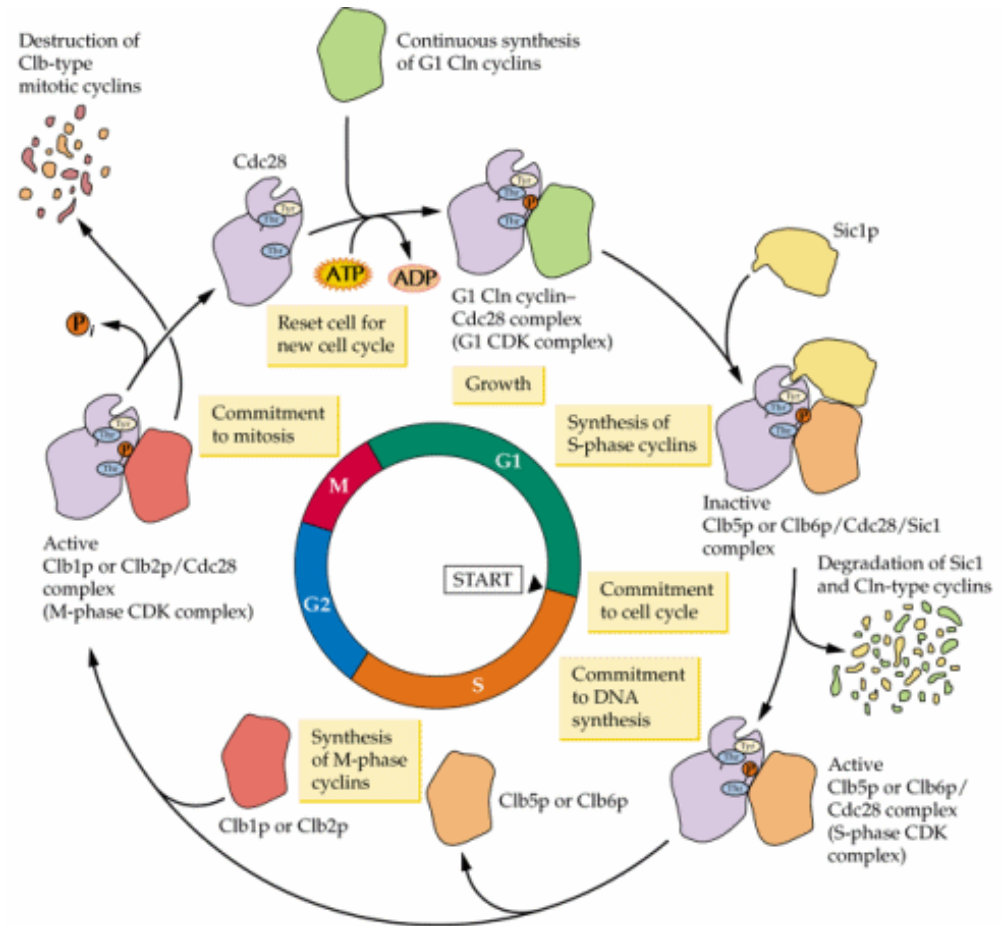
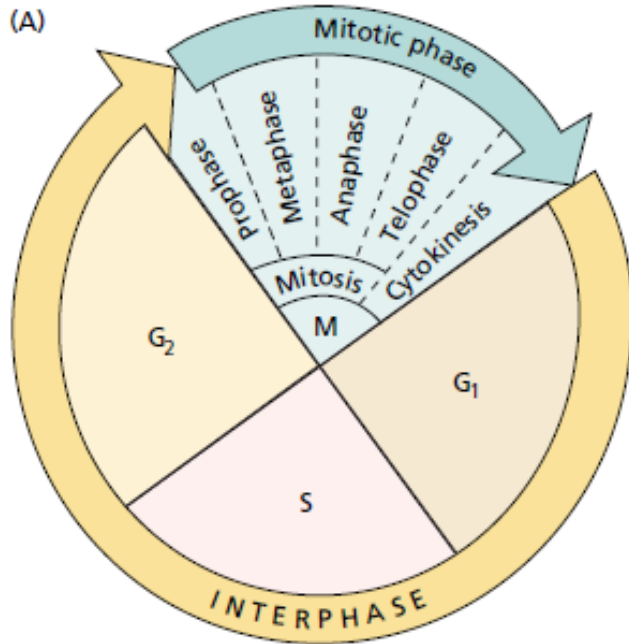
- po filamentech aktinu se pohybují myoziny
- po mikrotubulech se pohybují kinesiny směrem k + konci a dyneiny směrem k - konci. Dyneiny ale u rostlin nejsou popsány (to neznamená, že neexistují)

pohyb se odehrává za hydrolýzy ATP

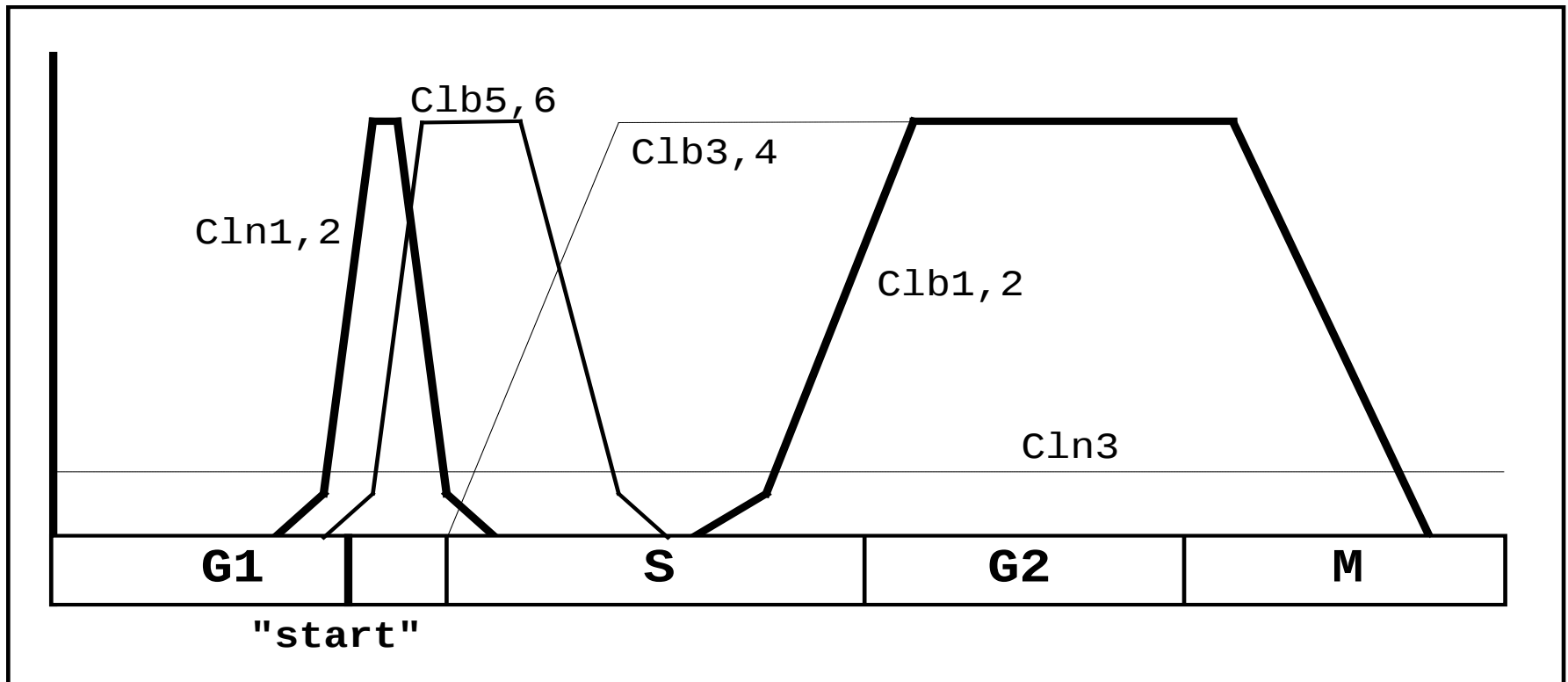




Buněčný cyklus

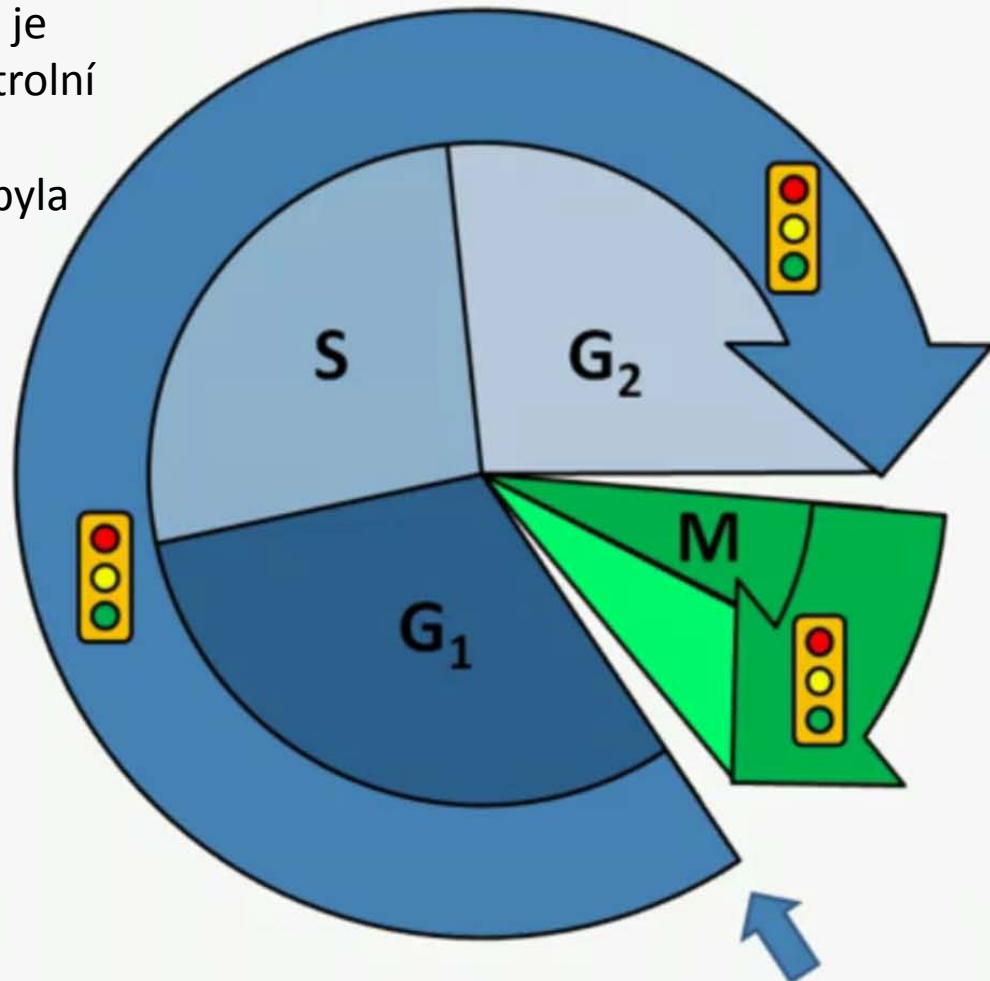


Buněčný cyklus jako vlny cyklinů



Kontrolní body buněčného cyklu

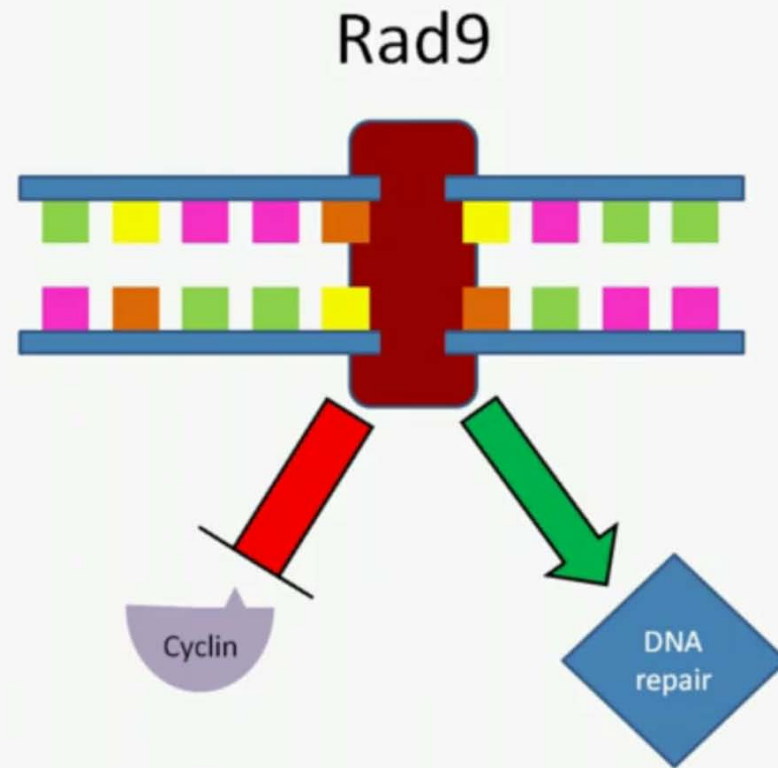
zajišťují, že buňka nebude pokračovat v buněčném cyklu v případě, že je něco v nepořádku. Důležité kontrolní body jsou 3. Na přechodu G₁ a S fáze je důležité, aby DNA nebyla poškozená. Také zde hrají roli vnější podněty a fytohormony. Kontrola kvality DNA probíhá také v G₂ kontrolním bodě. Další důležitý kontrolní bod je počas metafáze - nepřichycené kinetochory blokují oddělení všech ostatních sesterských chromatid



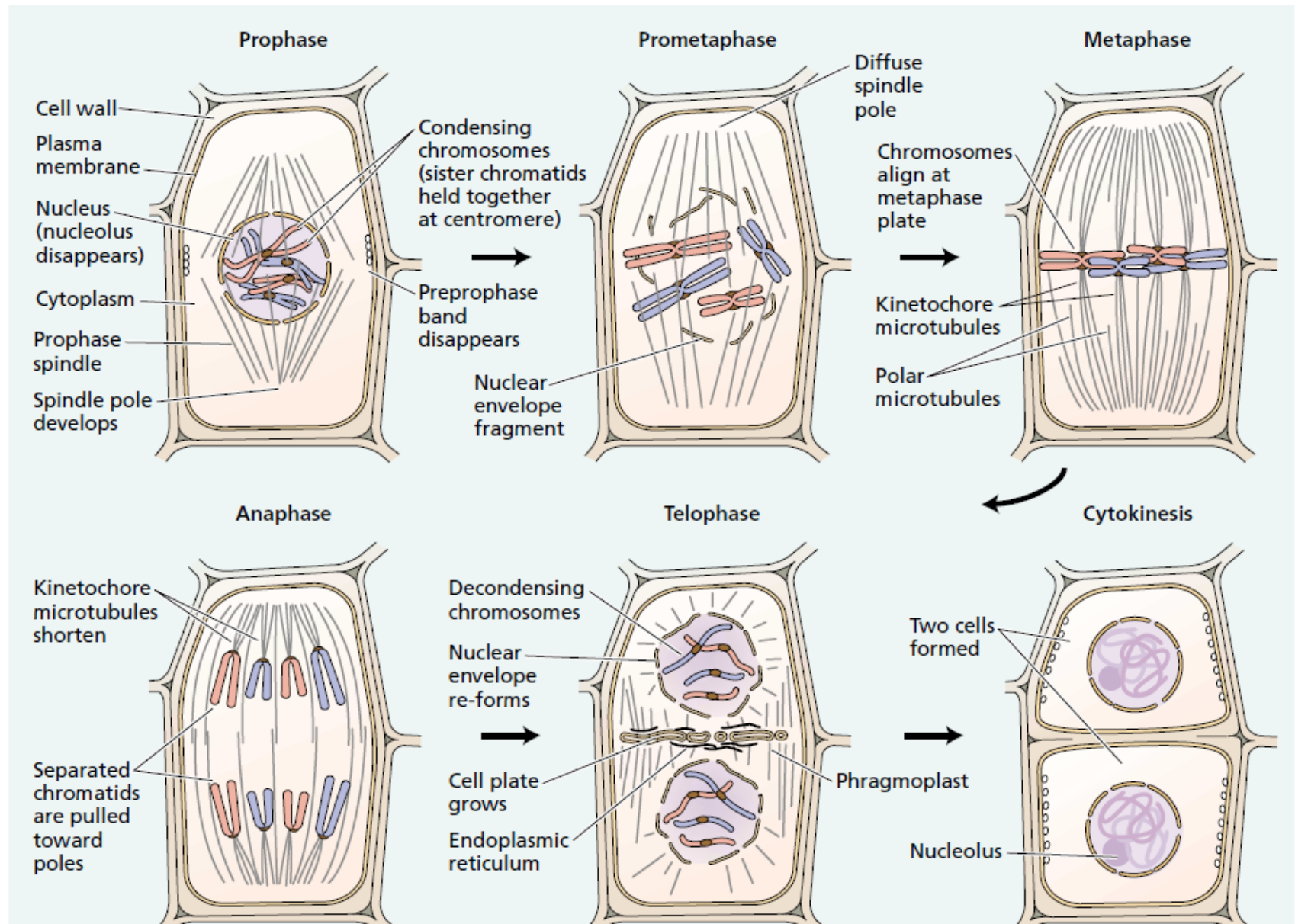
Kontrolní mechanismy buněčného cyklu

příklad kontrolního mechanismu buněčného cyklu - protein Rad9 váže zlomy v DNA. Navázaný inhibuje cykliny a brání tak buňce v pokračování buněčného cyklu. Zároveň stimuluje opravný aparát. Buněčný cyklus bude pokračovat jen v případě opravy poškozeného řetězce.

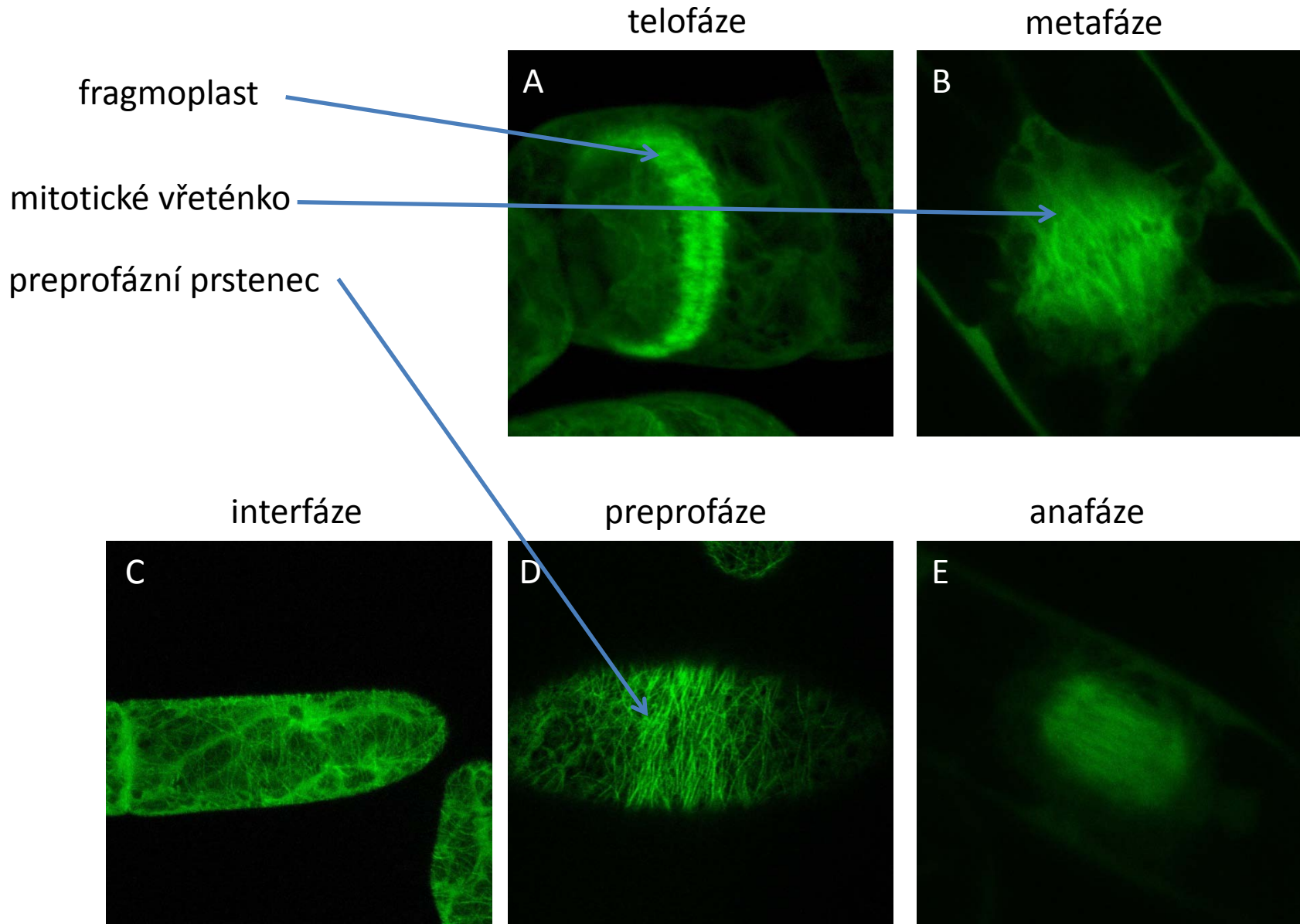
tento mechanismus byl popsán u kvasinek. AtRad9 u *Arabidopsis thaliana* byl popsán na základě homologie s kvasinkovým proteinem. Prvopočátek jeho výskumu u rostlin je tedy bioinformatický. Úvod do Bioinformatiky i Buněčný cyklus přednáší doc. Cvrčková



Mitóza



mitotické figury - poznáte je?

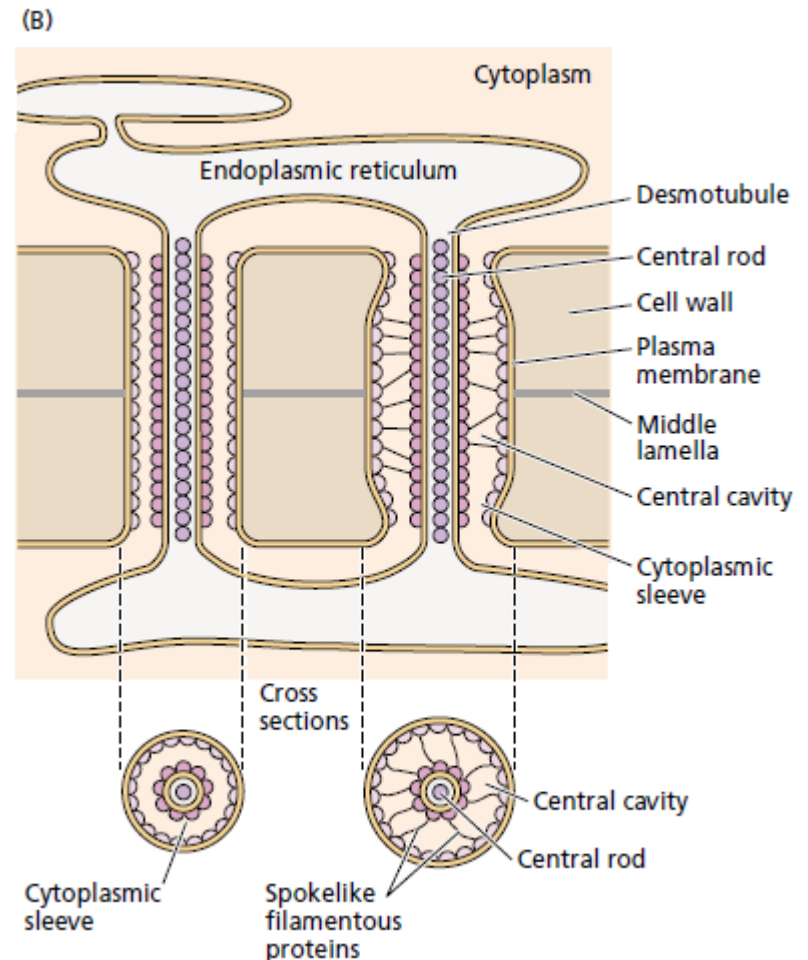


za pořízení snímků opět děkuji dr. Kateřině Schwarzerové a její studentům na praktiku Rostlinná buňka

Plasmodesmy

- Mohou být primární nebo sekundární. Primární vznikají z ER, které zůstalo v střední lamelle. Sekundární vznikají v již oddělených buňkách de novo.
- Utváří kontinuum protoplastů, které nazýváme **symplast**. Prostředí vně symplastu v mezibuněčném prostoru a buněčných stěnách nazýváme **apoplast**.
- uvnitř je propojení ER - **desmotubulus**.
- plasmodesmy se transportují nejen nízkomolekulární látky, ale i RNA, transkripční faktory a pod. Plasmodesmy se mohou šířit viry.

při růstu kořenového vlásku dojde k úplnému uzavření plasmodesmů. Umožní jim to vyvinout dostatečný turgorový tlak, který pak pohání expanzi vlásku



Vynechali jsme něco?

Ano!

- Více o plastidech se dovíte na přednášce fotosyntéza.
- Více o mitochondriích se dovíte na přednášce dýchání
- na fotosyntéze i na dýchání se dovíme něco o peroxisomech

kromě již odcitovaných zdrojů byla k použití této prezentace použita kniha: Eduardo Zeiger, Lincoln Taiz:

Plant Physiology. ISBN:0878938567, Sinauer Associates Inc., U.S.2006

Tato prezentace slouží pouze jako doprovodní materiál k přednášce