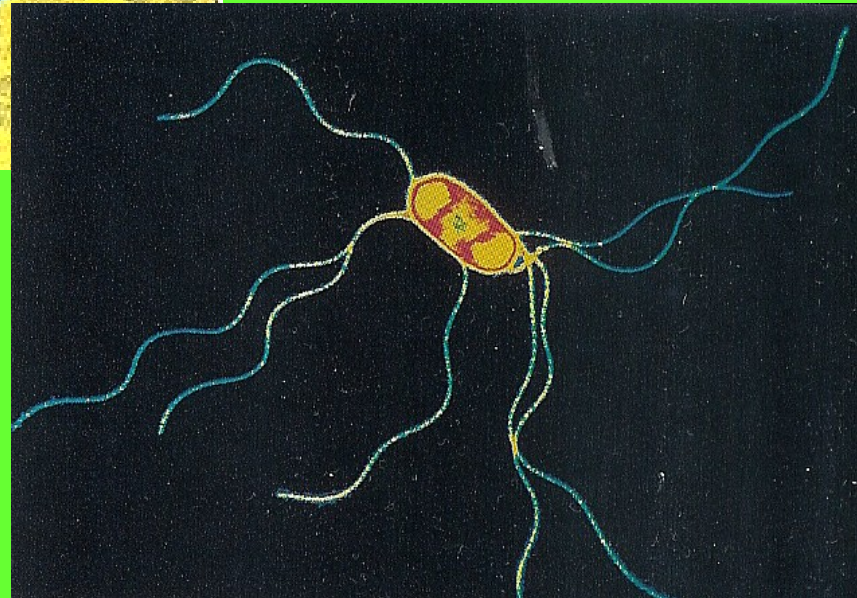
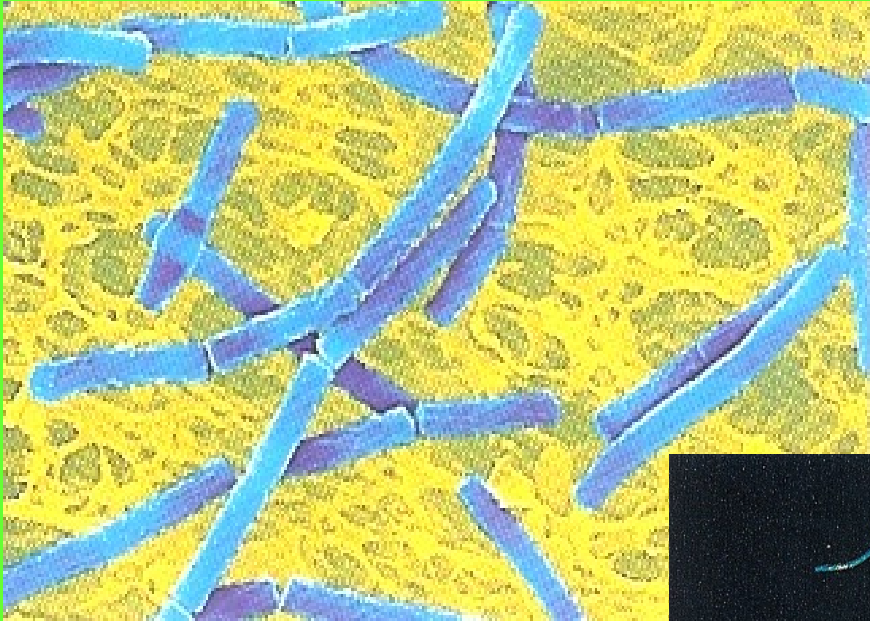
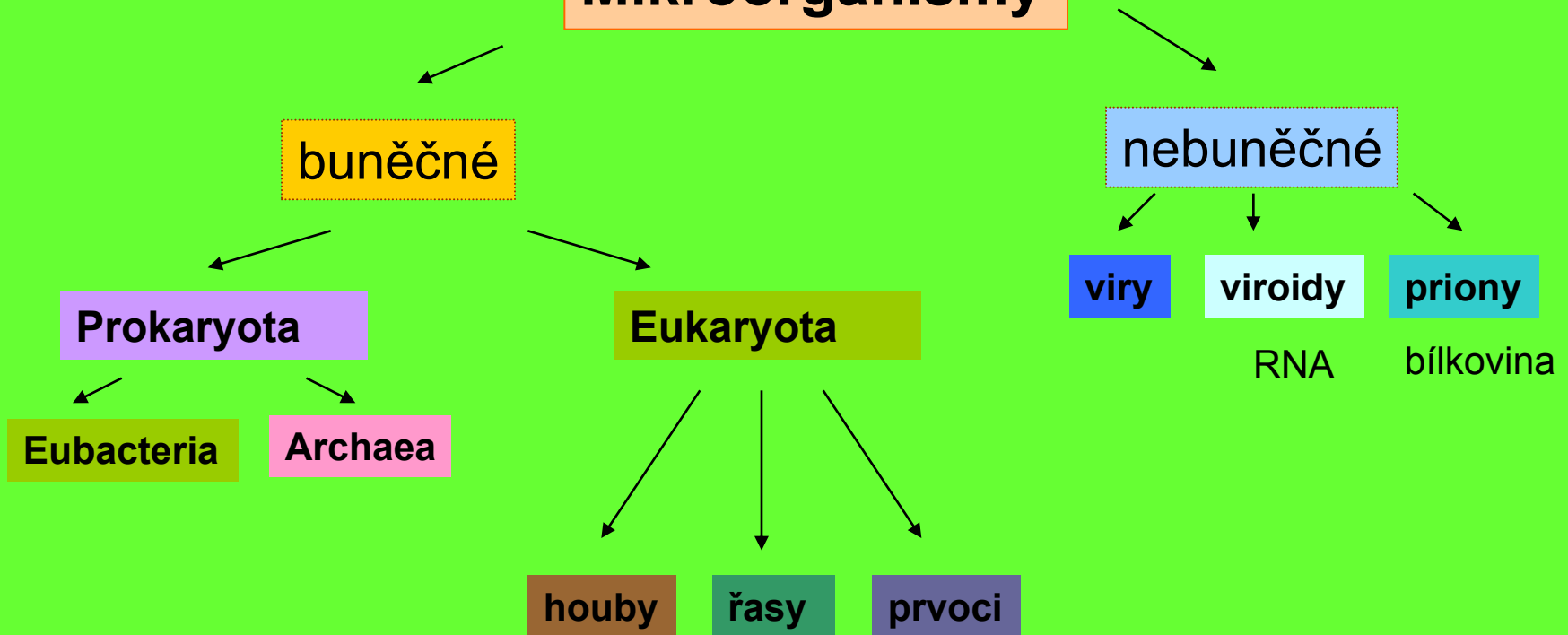


Bakterie


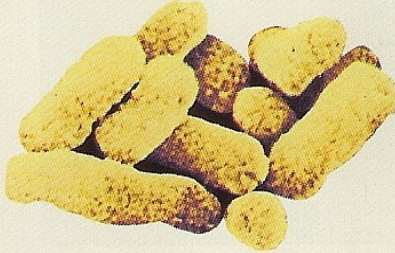
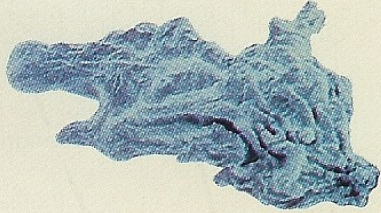


Mikroorganismy



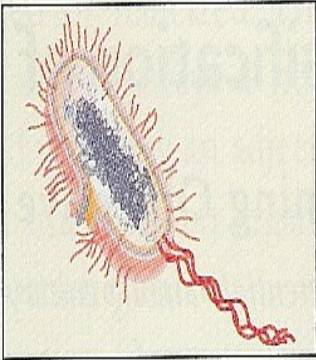
Nester, 1998

Srovnání některých znaků Archaea, bakterií a eukaryot

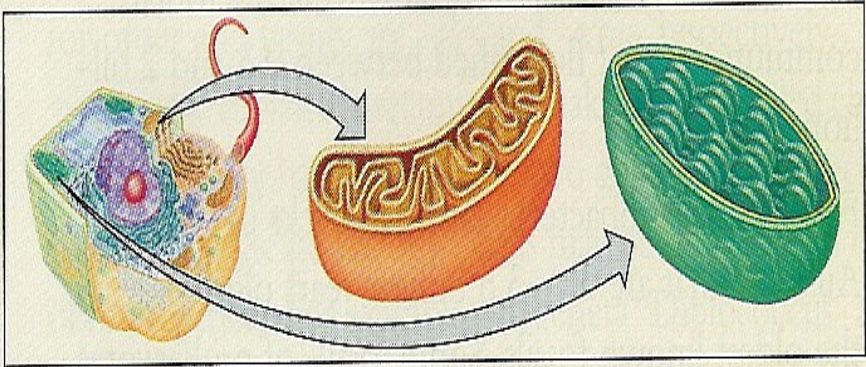
	Archaea	Bacteria	Eukaryotes
	 <p><i>Methanosarcina</i></p> <p>SEM 10 μm</p>	 <p><i>E. coli</i></p> <p>SEM 1 μm</p>	 <p><i>Amoeba</i></p> <p>SEM 1 μm</p>
Cell Type	Prokaryotic	Prokaryotic	Eukaryotic
Cell Wall	Varies in composition; contains no peptidoglycan	Contains peptidoglycan	Varies in composition; contains carbohydrates
Membrane Lipids	Composed of branched carbon chains attached to glycerol by ether linkage	Composed of straight carbon chains attached to glycerol by ester linkage	Composed of straight carbon chains attached to glycerol by ester linkage
Start Signal for Protein Synthesis	Methionine	Formylmethionine	Methionine
Antibiotic Sensitivity	No	Yes	No
rRNA Loop*	Lacking	Present	Lacking
Common Arm of tRNA**	Lacking	Present	Present
<p>*Binds to ribosomal protein; found in all bacteria.</p> <p>**A sequence of bases on tRNA found in all eukaryotes and bacteria: guanine-thymine-pseudouridine-cytosine-guanine.</p>			

Srovnání prokaryotické buňky, eukaryotických buněk a jejich organel

	Prokaryotic Cell	Eukaryotic Cell	Eukaryotic Organelles (Mitochondria and Chloroplasts)
DNA	Circular	Linear	Circular
Histones	No	Yes	No
Ribosomes	70S	80S	70S
Growth	Binary fission	Mitosis	Binary fission



A diagram of a prokaryotic cell, likely a bacterium, showing a circular DNA molecule (red) and a flagellum (red) extending from the cell.



A diagram of a eukaryotic cell showing a nucleus (purple), a mitochondrion (orange), and a chloroplast (green). Arrows indicate the flow of information from the nucleus to the mitochondrion and then to the chloroplast.

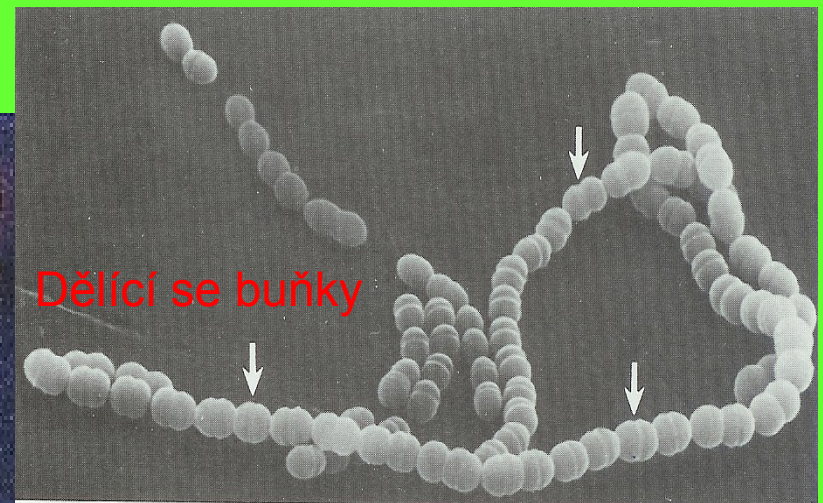
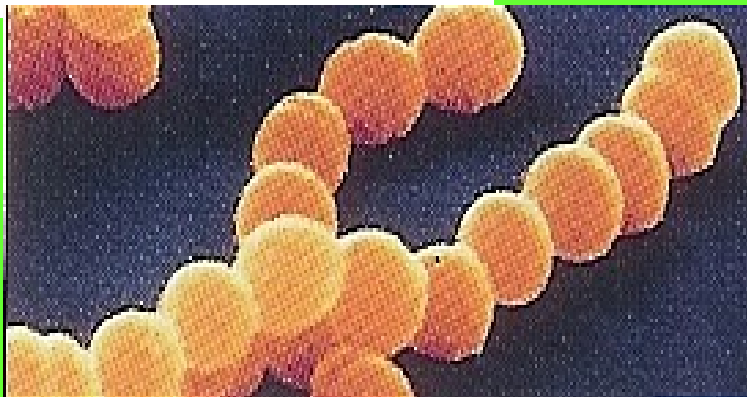
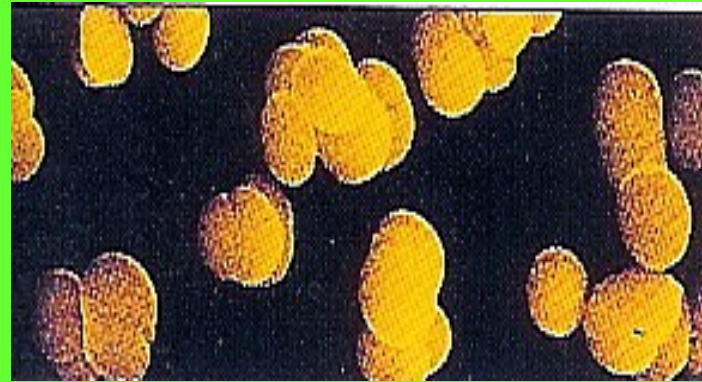
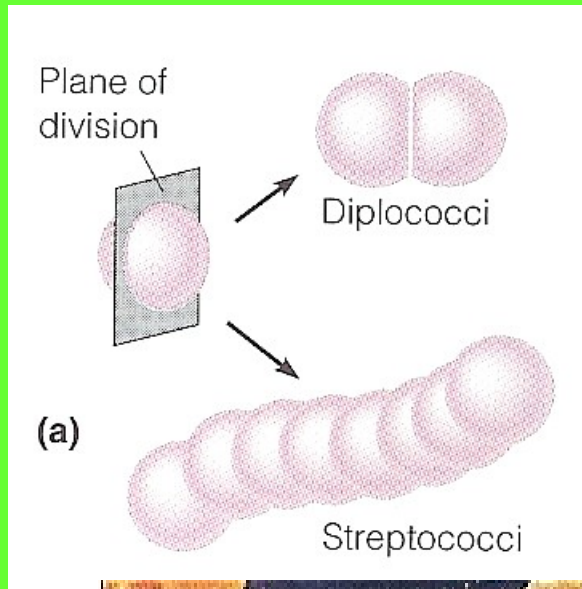
	<i>Archaea</i>	Bakterie	Eucarya	Organely eukaryot (mitochondrie)
Typ buňky	prokaryotický	prokaryotický	eukaryotický	
Buněčná stěna	různé složení; neobsahuje peptidoglykan	obsahuje peptidoglykan	různé složení; obsahuje cukry	
Lipidy membrány	obsahuje rozvětvené uhlíkaté řetězce připojené ke glycerolu éterickou vazbou	obsahuje lineární uhlíkaté řetězce připojené ke glycerolu esterickou vazbou	obsahuje lineární uhlíkaté řetězce připojené ke glycerolu esterickou vazbou	
Startovací signál pro syntézu proteinů	metionin	formylmetionin	metionin	
Citlivost k antibiotikům	ne	ano	ne	
rRNA smyčka	nedostatečná	přítomná	nedostatečná	
DNA	cirkulární	cirkulární	lineární	cirkulární
Histony	ne (u některých histonům podobné proteiny)	ne	ano	ne
Ribozom	70S	70S	80S	70S
Růst	binární dělení	binární dělení	mitóza	binární dělení

Základní tvary bakteriální buňky

- kulovitý (kok, coccus, cocci)
- tyčinka (bakterie, bacillus)
- spirálovitý

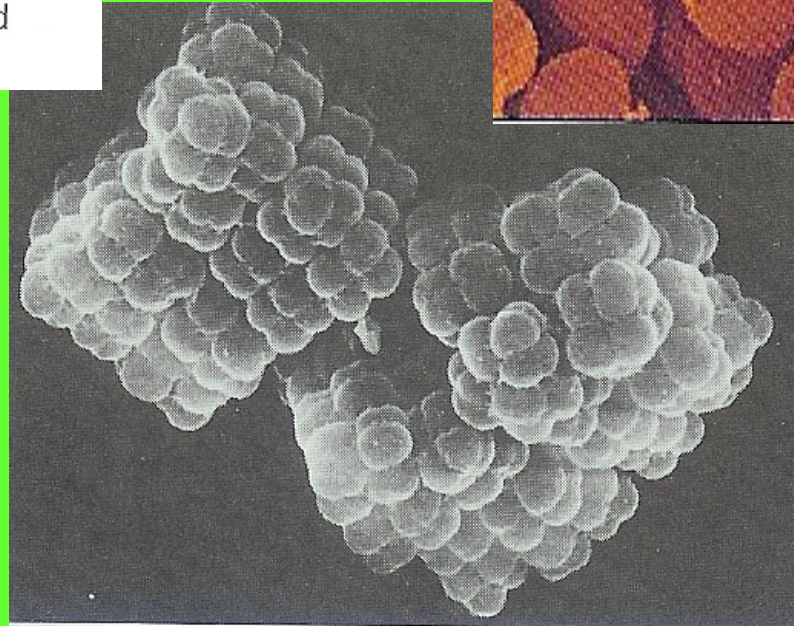
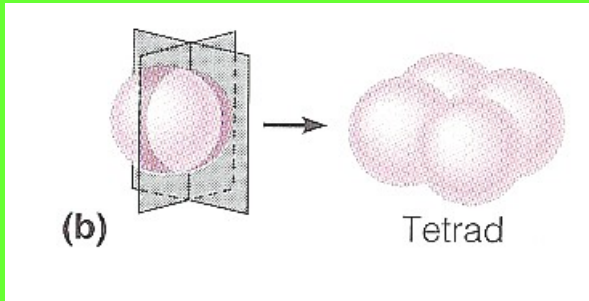
Kulovitý tvar bakteriální buňky

- Dělení buňky v jedné rovině



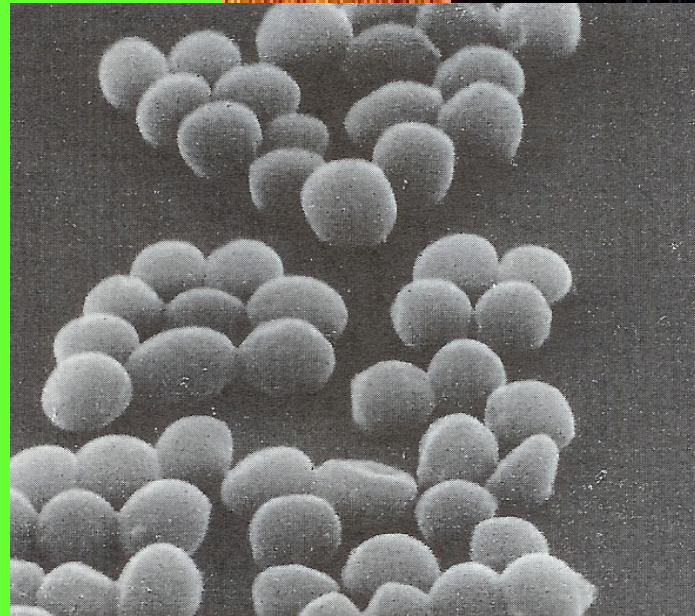
Kulovitý tvar bakteriální buňky

- Dělení buňky ve dvou rovinách



Kulovitý tvar bakteriální buňky

- Dělení v různých rovinách



Základní tvary bakteriální buňky

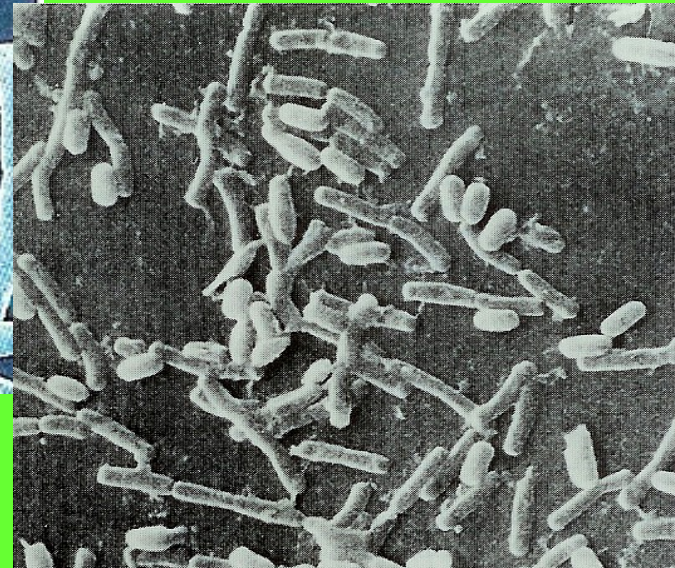
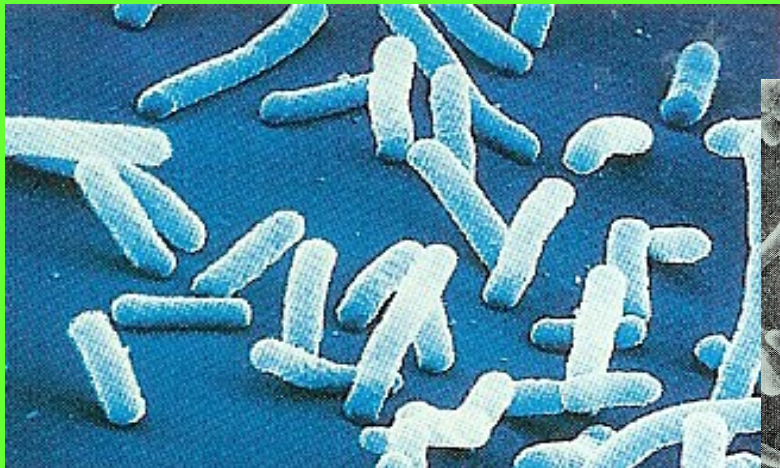
- kulovitý (kok, coccus, cocci)
- tyčinka (bakterie, bacillus)
- spirálovitý
- pleomorfní

Tyčinkovitý tvar bakteriální buňky- bacillus

- jednotlivé buňky

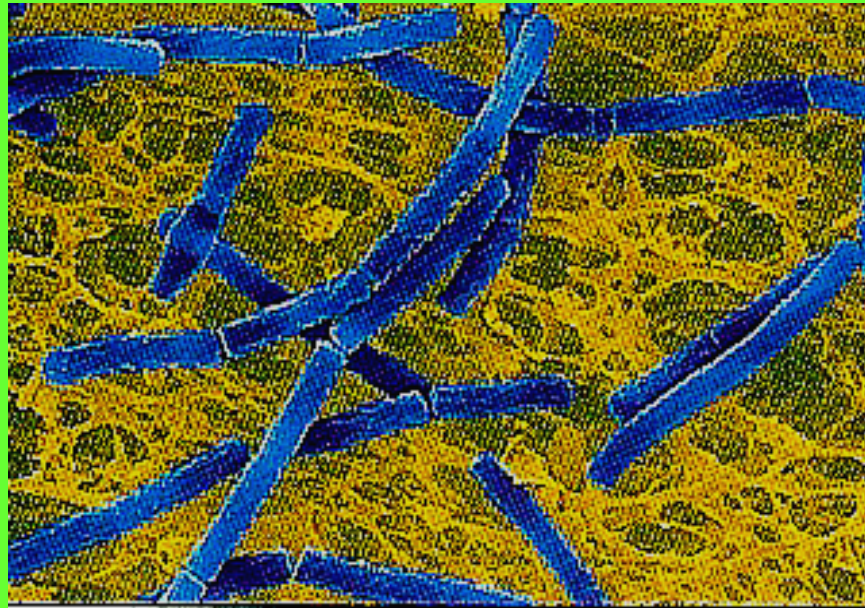
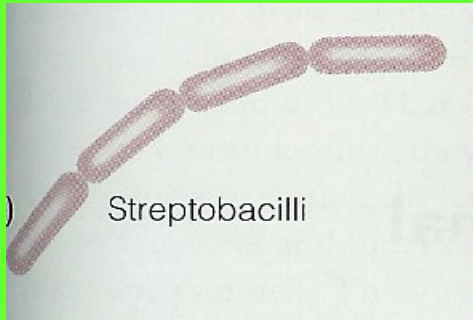


- diplobacillus



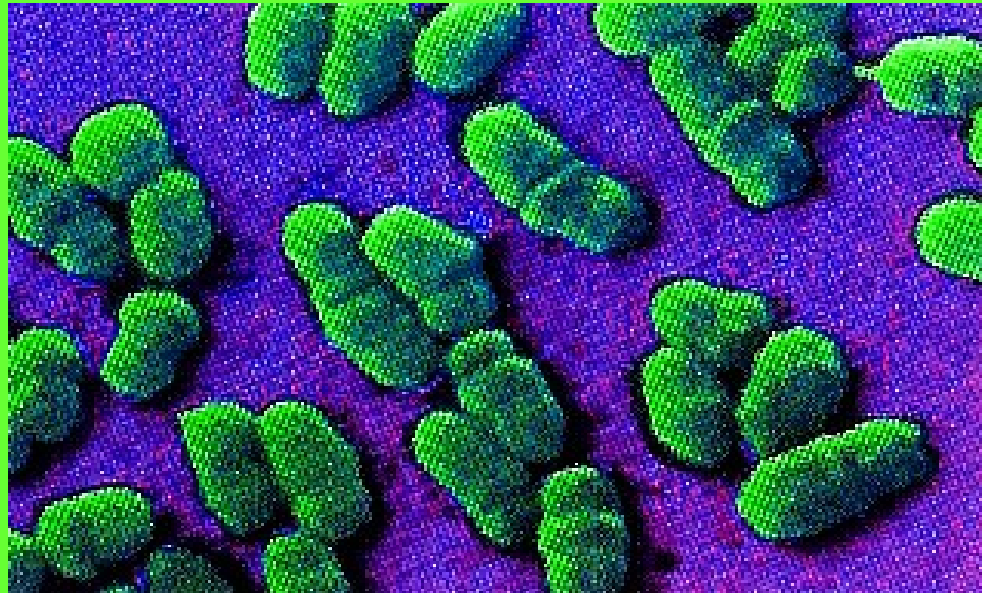
Tyčinkovitý tvar bakteriální buňky- bacillus

- streptobacillus



Tyčinkovitý tvar bakteriální buňky- bacilus

- kokobacilus

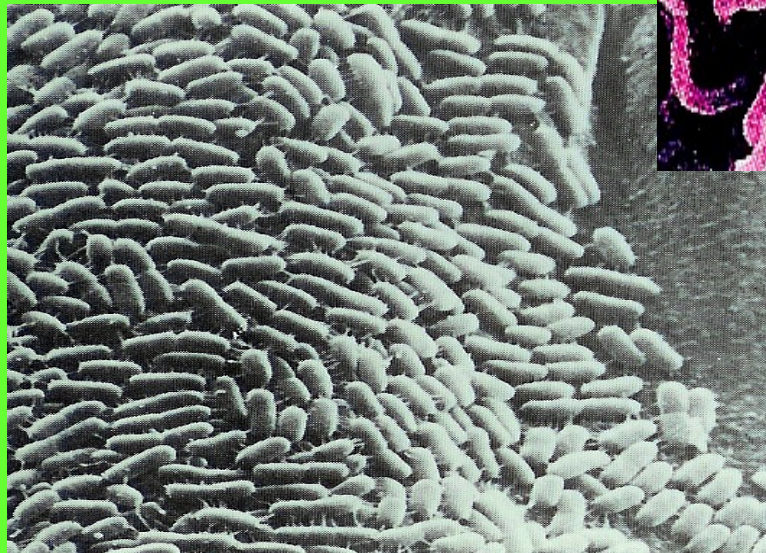
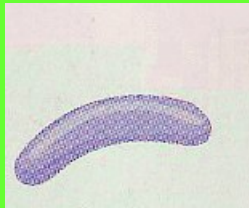


Základní tvary bakteriální buňky

- kulovitý (kok, coccus, cocci)
- tyčinka (bakterie, bacillus)
- spirálovitý

Spirálovitý tvar bakteriální buňky

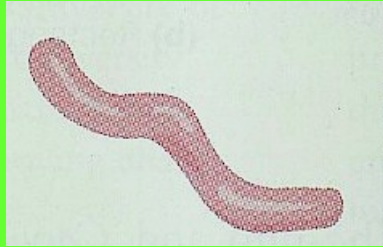
- vibrio



Vibrio cholerae

Spirálovitý tvar bakteriální buňky

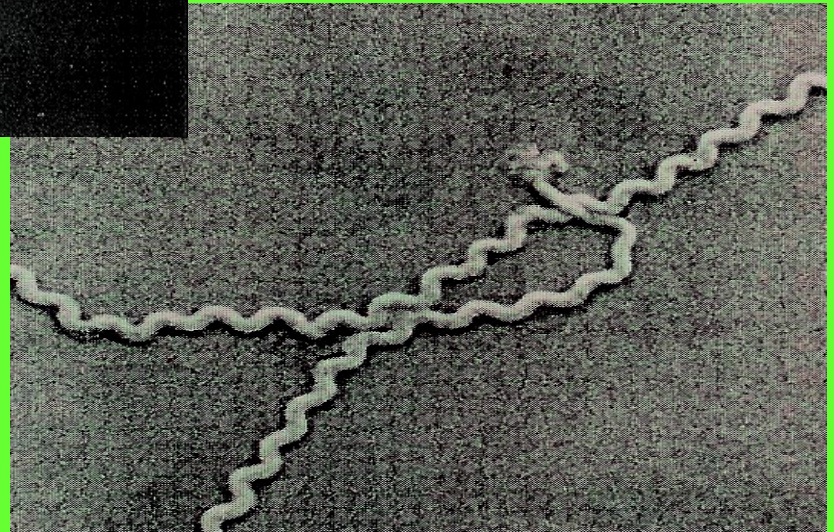
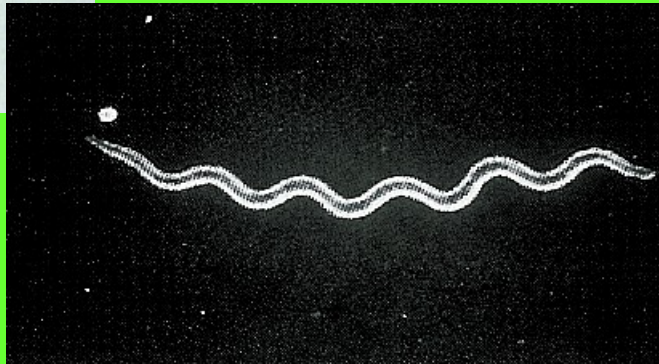
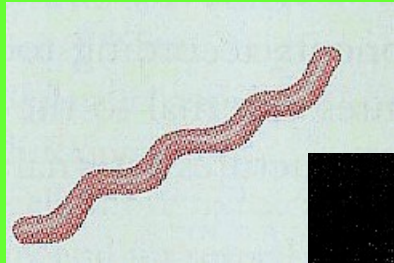
- spirillum



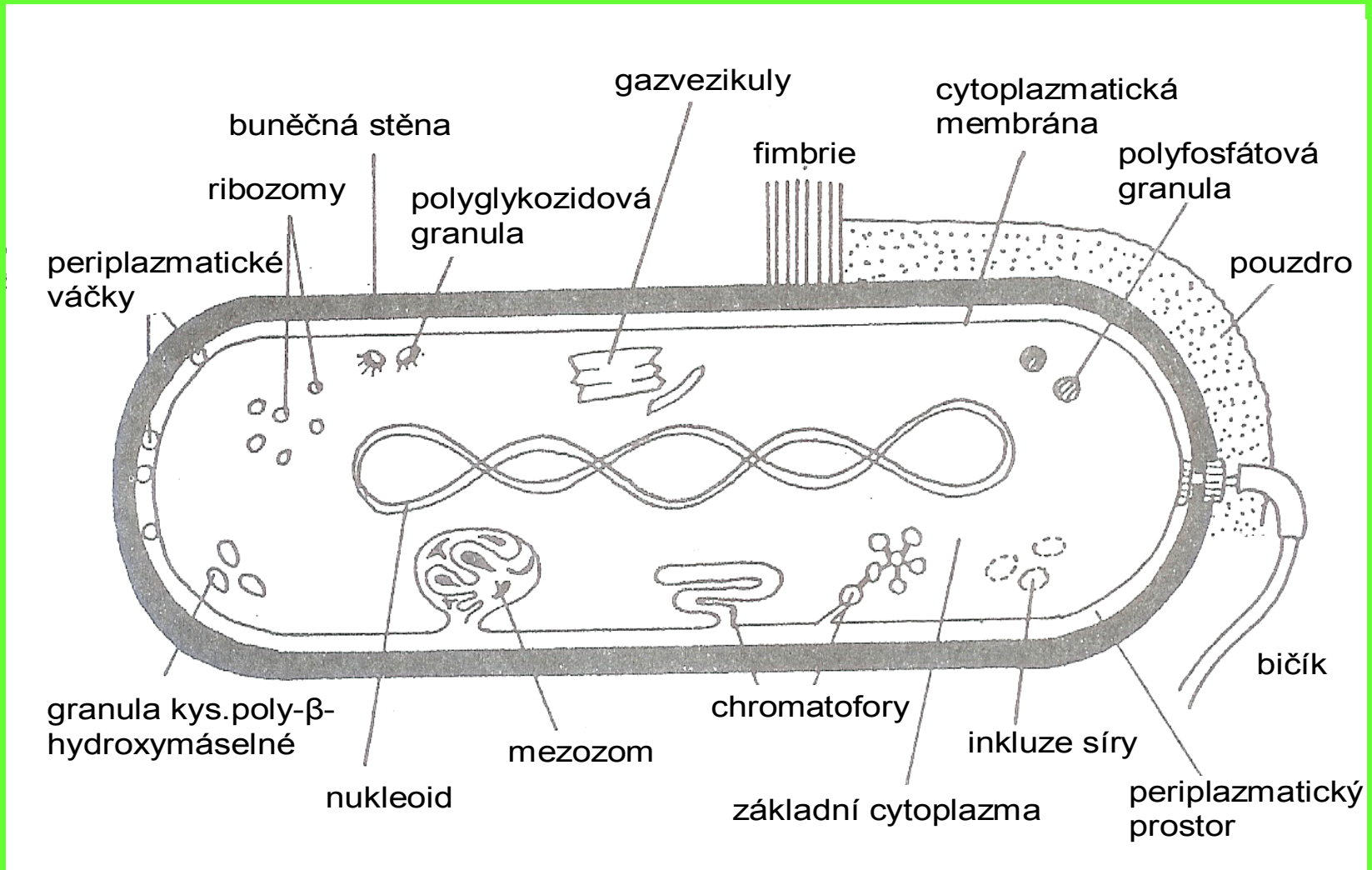
Spirillum volutans

Spirálovitý tvar bakteriální buňky

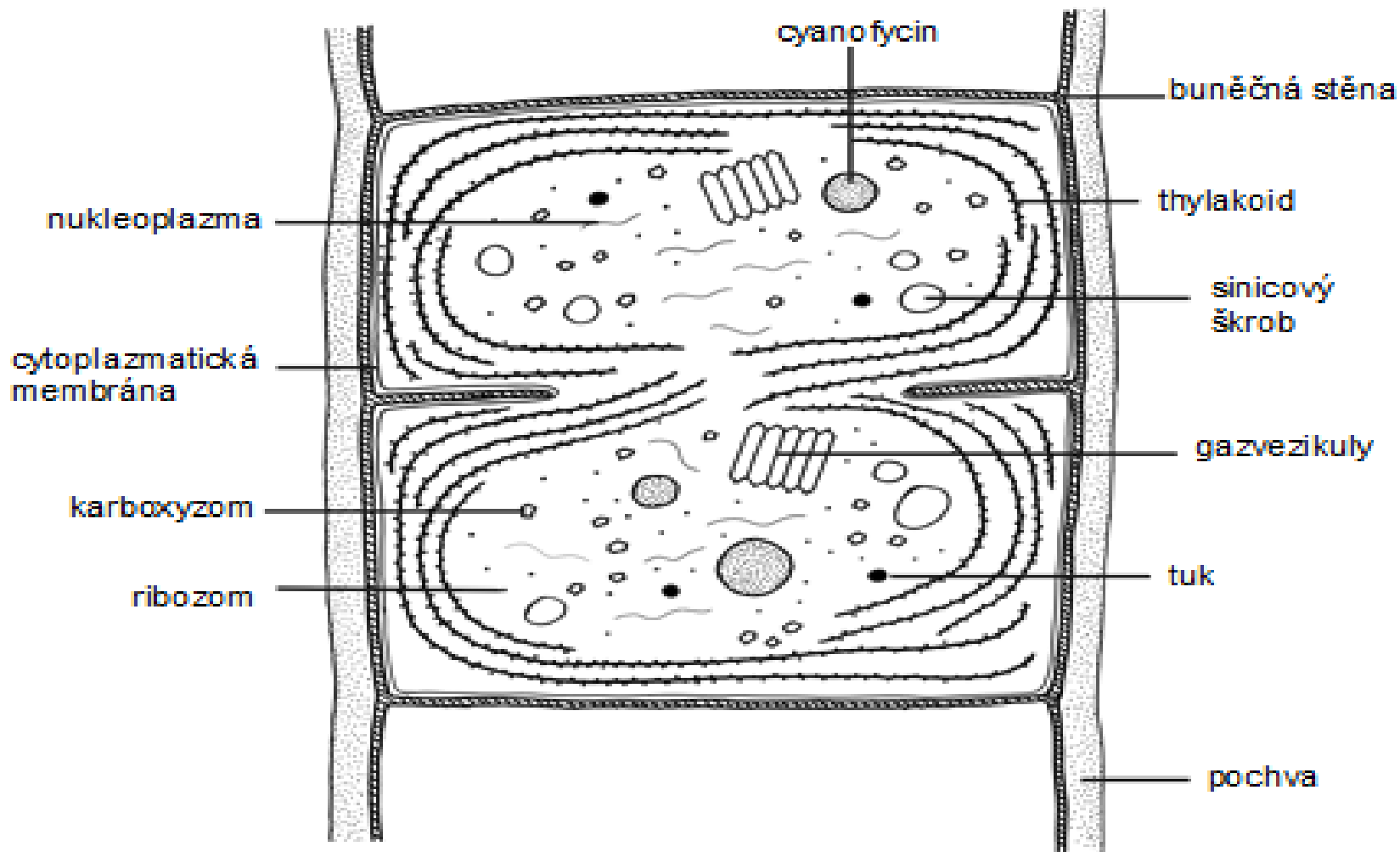
- spirocheta



Základní struktury bakteriální buňky



Základní struktury bakteriální buňky cyanobakterie

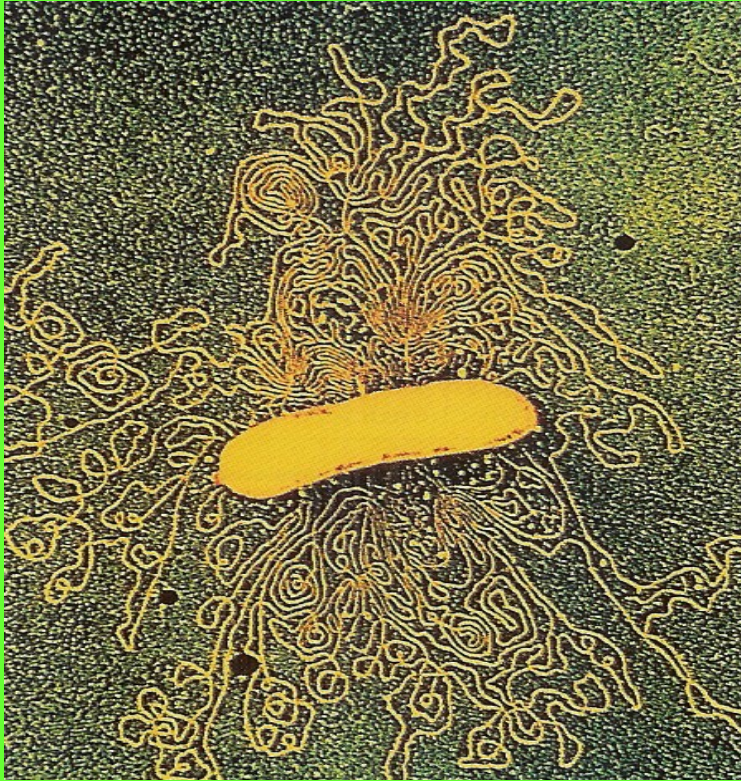


Základní struktury bakteriální buňky

- Struktury esenciální
 - *nukleoid
 - *cytoplazmatická membrána
 - *ribozomy
 - *základní cytoplazma
- Struktury obvyklé
 - buněčná stěna
 - fimbrie
 - bičíky
 - pouzdro
 - inkluze
 - chlorobiové váčky
 - endospóry
 - pigmenty

Esenciální struktury bakteriální buňky

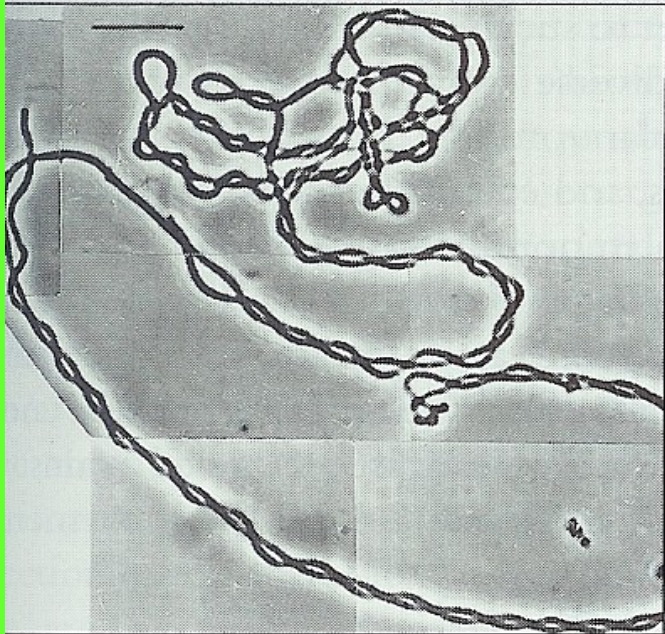
nukleoid



- Cirkulární dvouřetězcová helikální DNA
- Není od základní cytoplazmy oddělena membránou
- Neobsahuje histony (na molekulu DNA jsou vázány asi 4 druhy proteinů)
- Vytváří kompaktní komplex tvořený obvykle více než 50 smyčkami
- Tvoří s molekulami RNA a proteiny komplex vyššího řádu

Esenciální struktury bakteriální buňky

nukleoid



DNA z *Bacillus subtilis*

- **Nerostoucí buňka** má jedno haploidní “jádro“
- Molekulová hmotnost DNA je 10^9 - 10^{10}
- Typická bakterie obsahuje 4×10^6 párů bází
- Rychle rostoucí bakterie mohou obsahovat 2 – 8 kopií chromozomové DNA
- Chromozom *E.coli* je tvořen 4639221 párů bází a kóduje 4397 genů. Z toho je 108 genů pro RNA a 4289 pro proteiny. Z nich je 952 enzymů (703 zmapovaných)

Esenciální struktury bakteriální buňky

ribozom

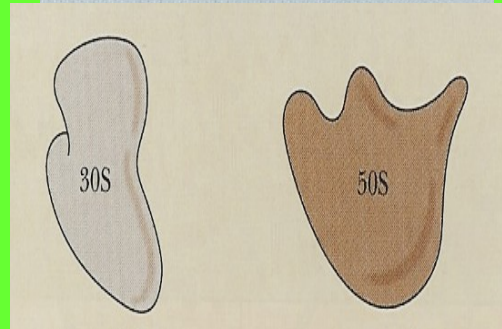
Ribozóm

($2,52 \times 10^6$ D)



Podjednotky

($0,93 \times 10^6$ D)



($1,59 \times 10^6$ D)

RNA

16S RNA
(1542 nukleotidů)

23S RNA
(2904 nukleotidů)

Bílkoviny

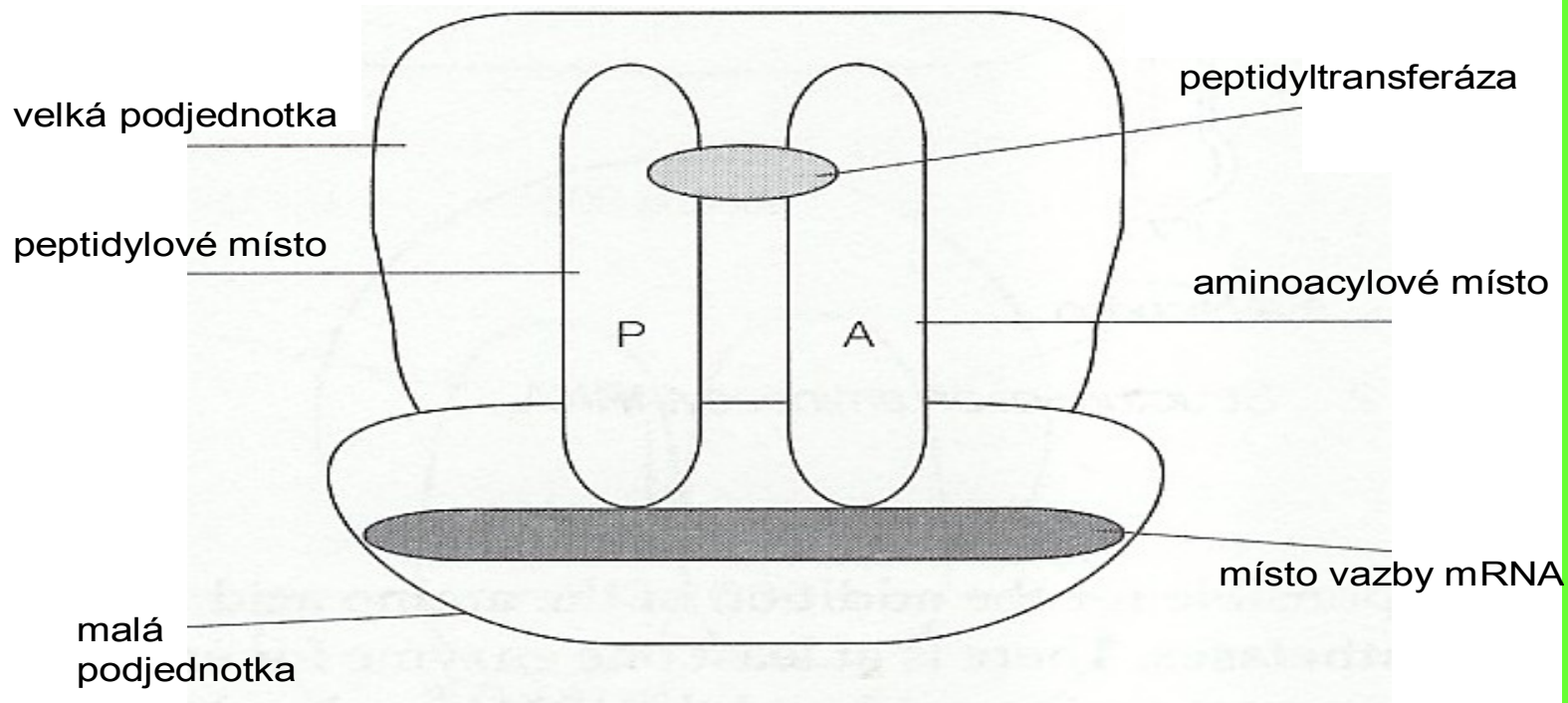
21 bílkovin

31 bílkovin

Esenciální struktury bakteriální buňky

ribozom

funkční místa bakteriálního chromozomu



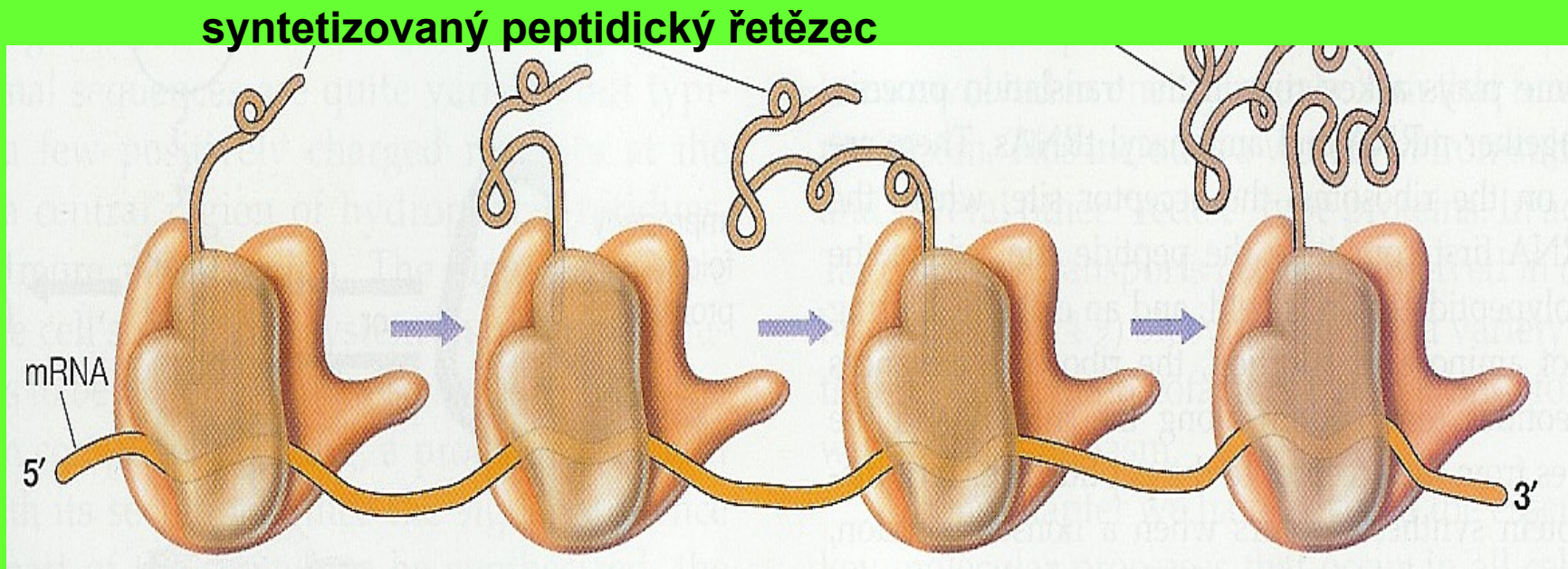
Esenciální struktury bakteriální buňky

ribozom

- Ribozomy jsou v buňce zodpovědné za proteosyntézu
- Jsou to supramolekulové komplexy, které se rychle vytvářejí (bez dodání energie) a rychle disociují (bez tvorby energie)
- Pro vytvoření ribozomu z podjednotek a mRNA je nutná přítomnost Mg^{2+}
- Počet ribozomů je závislý na fyziologické aktivitě. V průměrně rychle rostoucí buňce je jich asi 15 000 (někdy až 30 000)
- Mohou se vytvářet polyribozomy
- Ribozom je “tělísko“ o objemu asi $6\ 000\text{nm}^3$ a hmotnosti asi $4,4 \times 10^{-18}\text{g}$
- Rychlost činnosti ribozomu není regulována, je téměř konstantní a činí asi 15 aminokyselin za sekundu.
- U *E.coli* s $\tau = 28$ minut je při translaci rychlost asi 170 000 aminokyselin za sekundu na genom, tj. 500 000 aminokyselin za sekundu na buňku. Větší rychlosti proteosyntézy se dosahuje větším počtem ribozomů.

Esenciální struktury bakteriální buňky

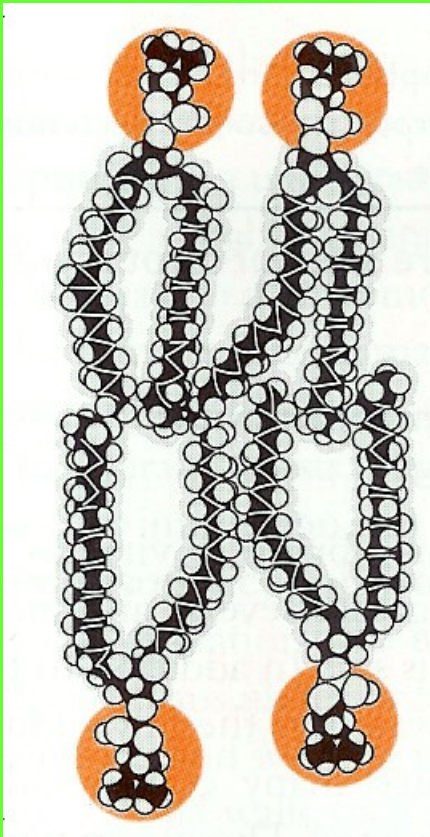
polyribozom



Esenciální struktury bakteriální buňky

cytoplazmatická membrána

- Odděluje základní cytoplazmu od vnějšího prostředí
- Její stavba odpovídá struktuře biologické membrány (u prokaryot je **jediná**)
- CM tvoří 10 až 26% suché hmotnosti bakterie a je tlustá asi 8 nm.
- Jejím základem je tekuté kontinuum dvojvrstvy fosfolipidů se zanořenými bílkoviny
- Bílkoviny jsou zanořené z vnitřní nebo vnější strany nebo jí procházejí a představují 10-20% všech bílkovin buňky
- Zanořené bílkoviny mají funkci strukturální nebo enzymatickou
- Bílkoviny a lipidy CM nejsou lokalizovány staticky, ale “pohybují se”
- Cytoplazmatická membrána je asymetrická
- Charakteristickým rysem je **nepřítomnost cholesterolu**
- Poměr mezi nasycenými a nenasycenými mastnými kyselinami se liší v závislosti na teplotě kultivace



Esenciální struktury bakteriální buňky

cytoplazmatická membrána

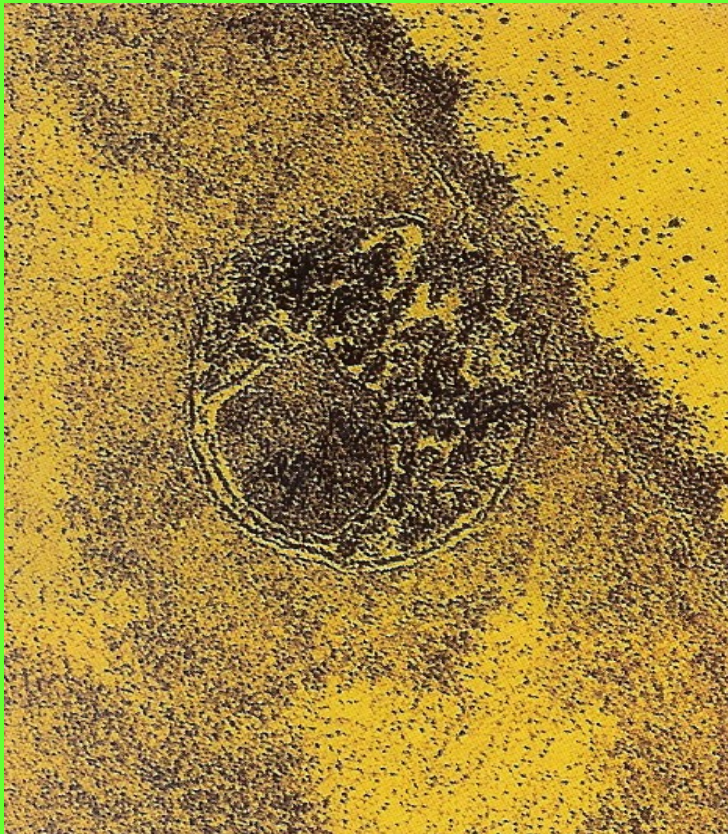
- Funkce cytoplazmatické membrány
 - * je místem transformace energie (je na ní lokalizován respirační řetězec, aparát fotosyntézy, ATPáza,...)
 - * je místem replikace bakteriální DNA
 - * odehrávají se na ní poslední fáze syntézy buněčné stěny, nebo se na ní syntetizují její některé složky
 - * je semipermeabilní a zodpovědná za pasivní i aktivní transport látek do buňky a z buňky
 - * **CM nemůže být “vyrobena“ de novo**
 - * pro zvětšení aktivní plochy jsou velice časté invaginace

Esenciální struktury bakteriální buňky

cytoplazmatická membrána

- invaginace CM

- * **Mesozom**



- ** Má tvar měchýřku, je rozdělený do trubičkových útvarů nebo váčků
- ** Je jich 2 a více, v závislosti na metabolické aktivitě
- ** Je zodpovědný za replikaci bakteriálního chromozomu a dělení buňky
- ** Je obvykle v kontaktu s nukleotidem
- ** Chemolitotrofní bakterie mají vedle mesozomů další invaginace, umožňující oxidaci anorganických látek

Mesozom *B.subtilis*

Esenciální struktury bakteriální buňky

cytoplazmatická membrána

- invaginace CM

- * **Chromatofory**

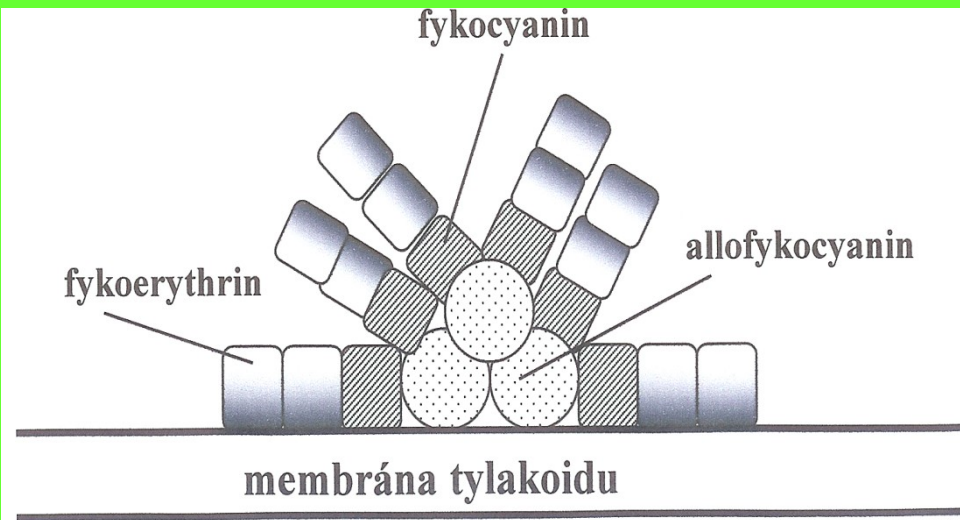
- ** Mají tvar měchýřku
rozděleného na segmenty
 - ** Obsahují pigmenty
zodpovědné za vazbu
světelného kvanta
(bakteriochlorofyl, karotenoidy)
 - ** Jsou místem syntézy ATP u
fototrofních bakterií



Chromatofory *Rhodospirillum rubrum*

Esenciální struktury bakteriální buňky

cytoplazmatická membrána



- **invaginace CM**
- **tylakoidy**
- Pravděpodobně vznikly odškrncením z cytoplazmatické membrány
- Mají lamelovitou strukturu
- obsahují pigmenty pro fototrofii - **chlorofyl a**, α -, β - karoten a xantofyly (echinenon, myxoxantofyl, zeaxantin)
- Na povrchu tylakoidálního váčku se nachází tzv. **fykobilizony**

* Fykobilizony obsahují specifická barviva – fykobiliny (obvykle jsou tři : dva modré (c-fykocyanin a allofykocyanin) a jeden červený (c-fykoerytrin))

* Jsou zodpovědně za chromatickou adaptaci

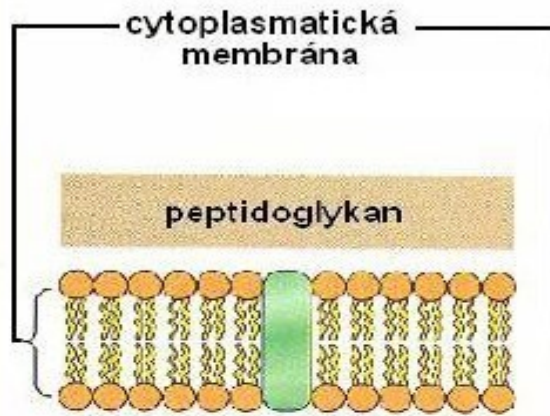
Esenciální struktury bakteriální buňky

základní cytoplazma

- Vyplňuje celý vnitřní prostor
- Cytoplasma je velice koncentrovaný “roztok“ mnoha biomolekul (malých, velkých i supramolekulových komplexů)
- Je hodně viskózní a podobá se spíše gelu, kde probíhají všechny reakce nutné pro život buňky (od vyhledávání odpovídajících molekul až po uskutečnění vlastní reakce)
- Obsahuje více než 50% všech bílkovin buňky, z nichž většina má enzymatickou funkci
- Protože bakteriální buňka nemá specifické organely, přebírá cytoplazma řadu jejich funkcí
- Třebaže nemá viditelnou strukturu a je velice nepravděpodobné, že by umožnění reakcí (limitovaných pohybem molekul v cytoplazmě a pravděpodobností jejich kolizí) mohlo odehrávat bez jakékoliv organizace

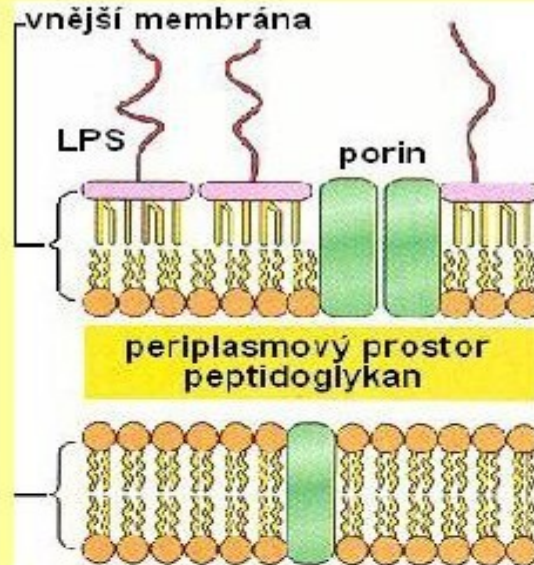
Obvyklé struktury bakteriální buňky

buněčná stěna



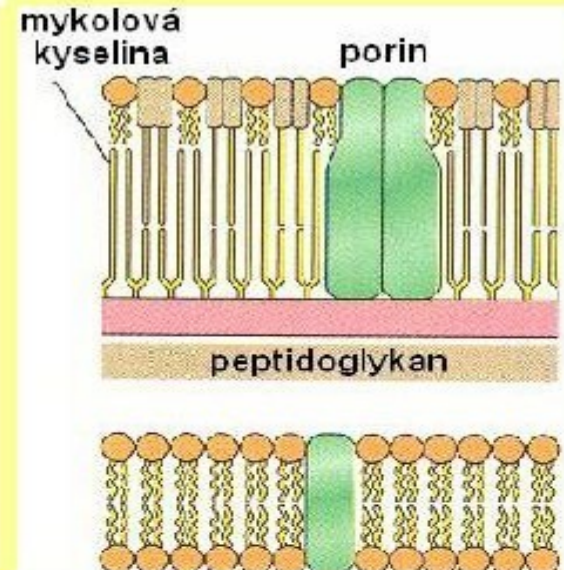
Buněčná stěna je poměrně silná, obsahuje kromě **peptidoglykanu** **proteiny**, **polysacharidy** a **kyselinu teichoovou**.

G+ bakterie



Vrstva peptidoglykanu (PG) je tenčí. Nad ní je **vnější membrána** (VM) – fosfolipidová dvojrivrsta - spojená s PG molekulami lipoproteinu. Mezi PG a VM je periplasmový prostor. Zevní strana VM obsahuje **lipopolysacharid** (LPS). LPS se skládá z toxického lipidu A (endotoxin), základního polysacharidu a specifického polysacharidu, který vyčnívá z buňky (**O antigen**).

G- bakterie



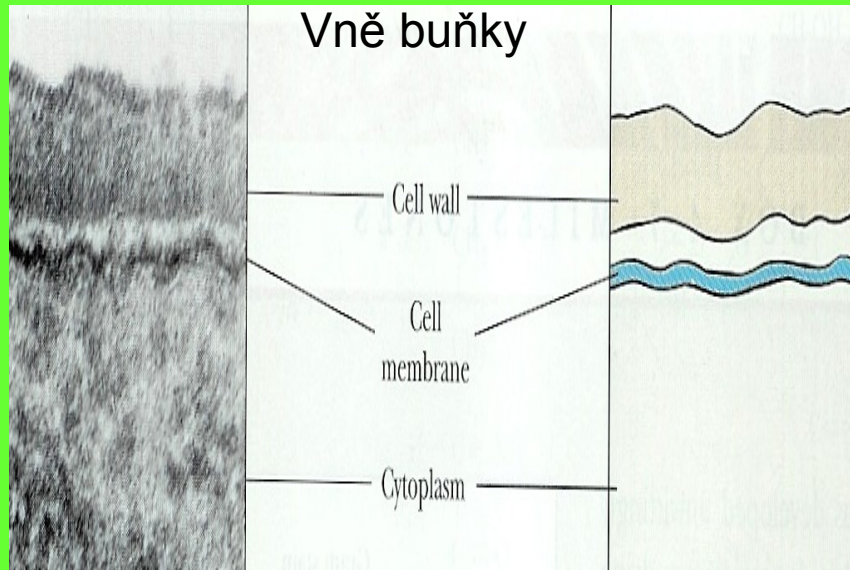
Odišné složení buněčné stěny
U kyseliny muramové v PG je místo N-acetylu **N-glykol**
Ve stěně je velké množství volných i vázaných lipidových komponent obsahujících **mykolové kyseliny**.
Povrch je **hydrofobní**, chrání proti vyschnutí, detergentům, kyselinám a alkoholu - **acidorezistence**.
Nebarví se Gramovým barvením.

mykobakterie

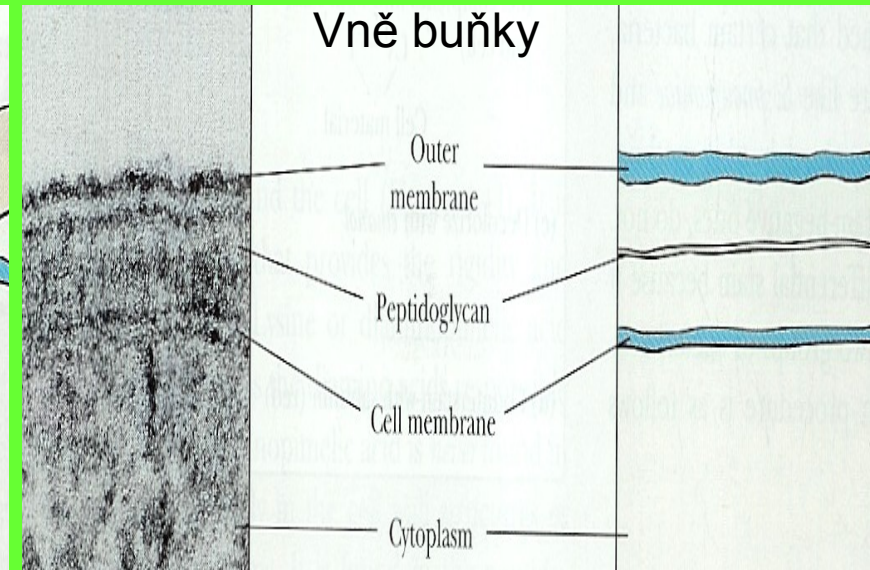
Obvyklé struktury bakteriální buňky

buněčná stěna

Gram pozitivní bakterie

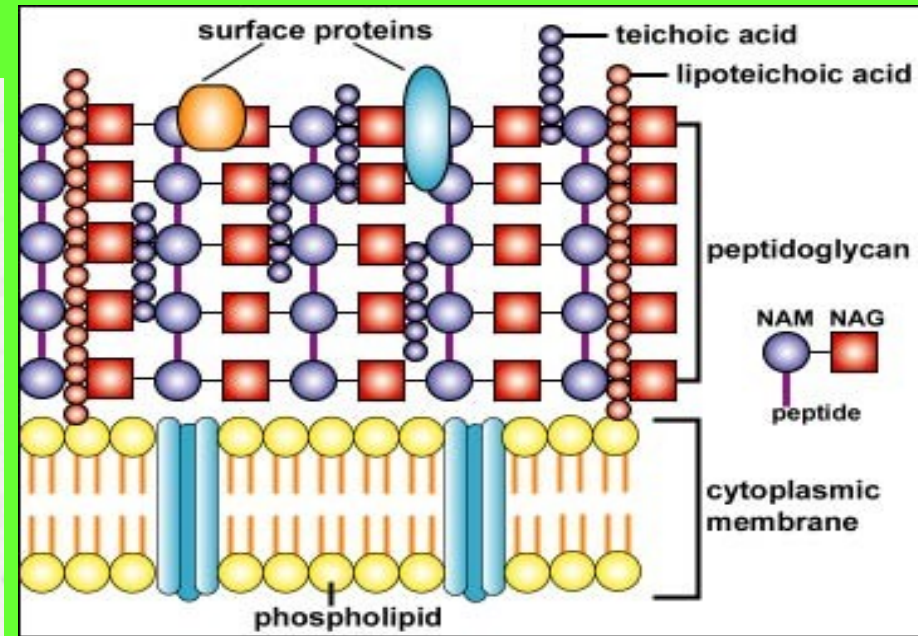
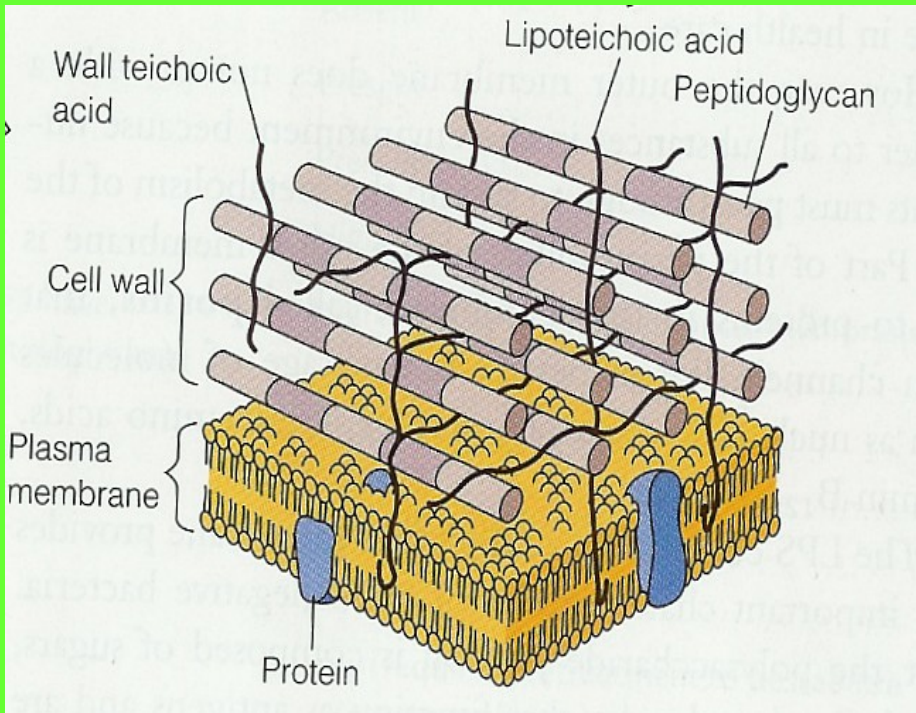


Gram negativní bakterie



Obvyklé struktury bakteriální buňky

buněčná stěna G+ bakterií

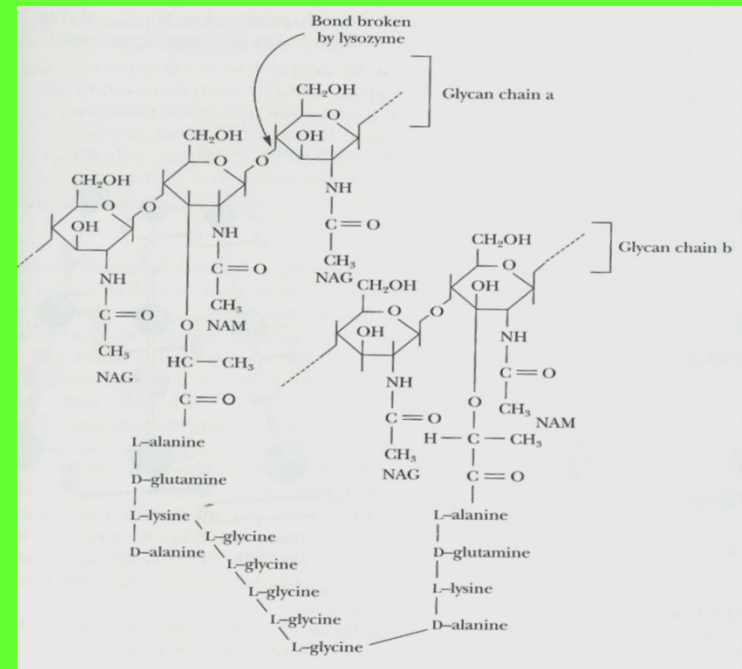
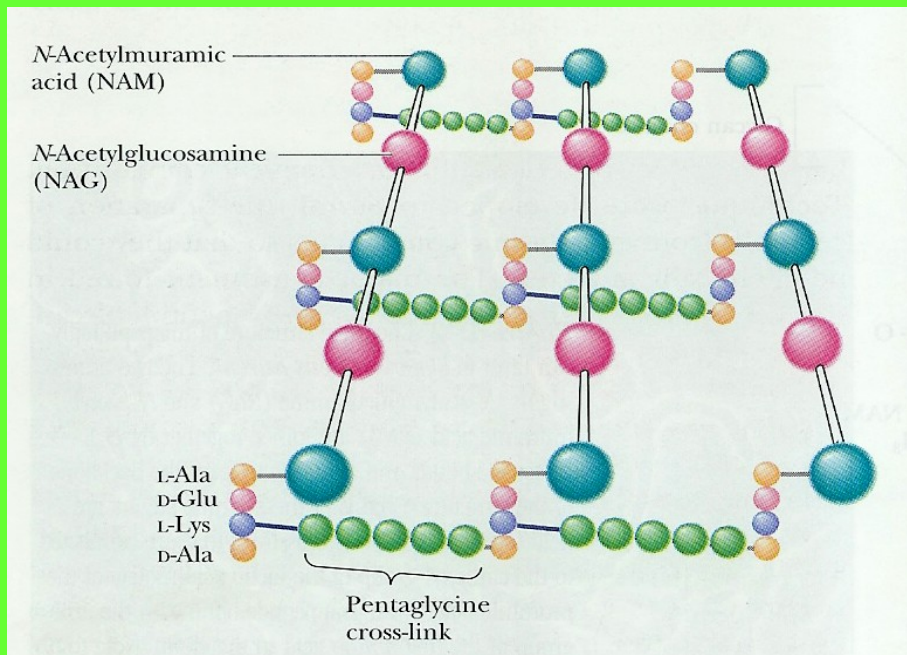


- Složení buněčné stěny
 - * peptidoglykan
 - * teichoové kyseliny

Obvyklé struktury bakteriální buňky

buněčná stěna G+ bakterií

Struktura peptidoglykanu (*Staphylococcus aureus*)

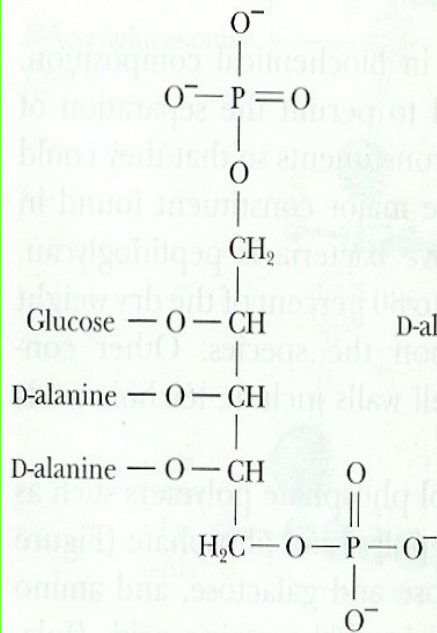


Obvyklé struktury bakteriální buňky

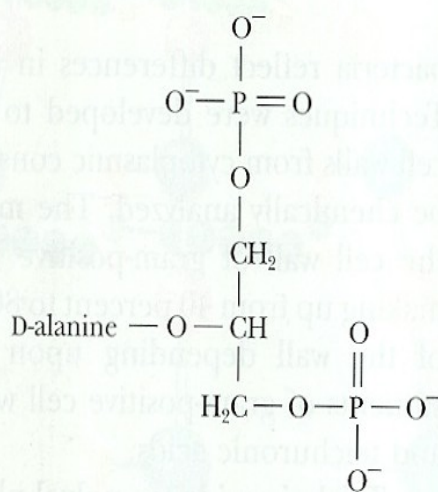
buněčná stěna G+ bakterií

Teichoové kyseliny (TC)

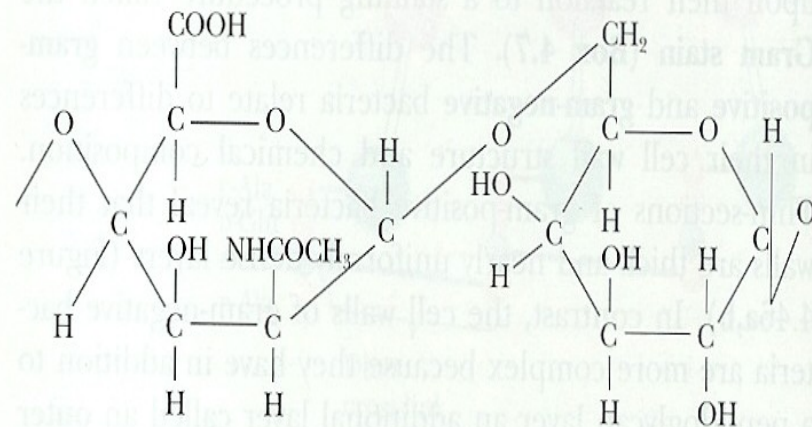
polyribitol TC



polyglycerol TC



4-N-acetyl-D-manosaminouronosyl-β-1,6)-glukóza



Micrococcus luteus

Bacillus subtilis

Lactobacillus sp

Obvyklé struktury bakteriální buňky

buněčná stěna G- bakterií

- Složení buněčné stěny

- * peptidoglykan

- * vnější membrána

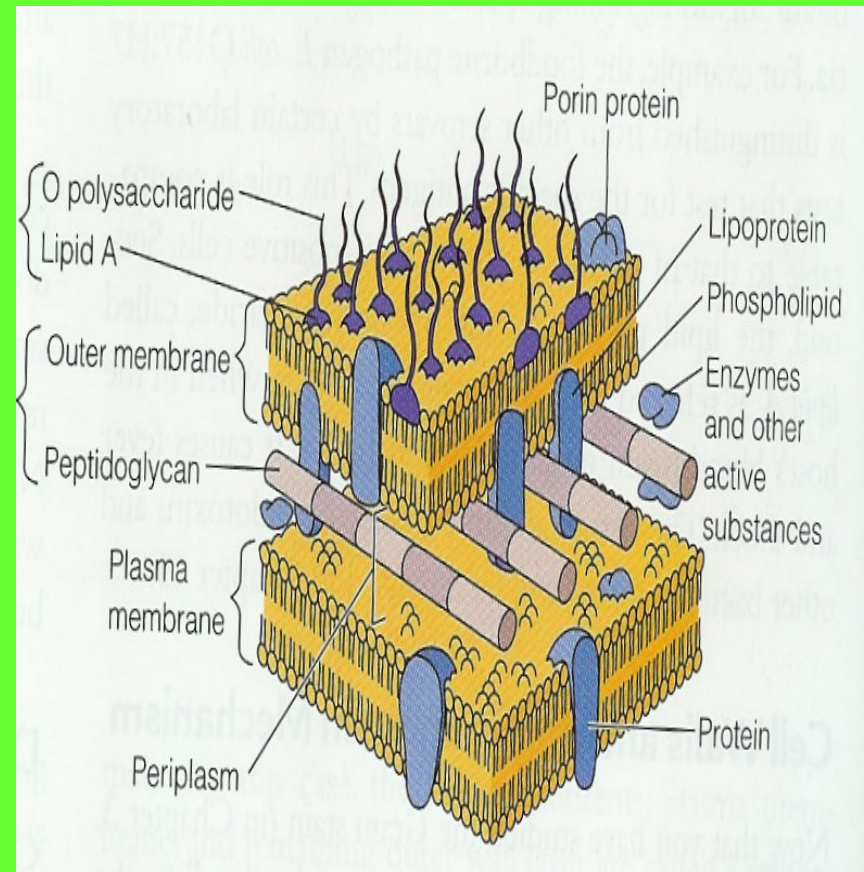
- fosfolipid

- polysacharid

- lipid A

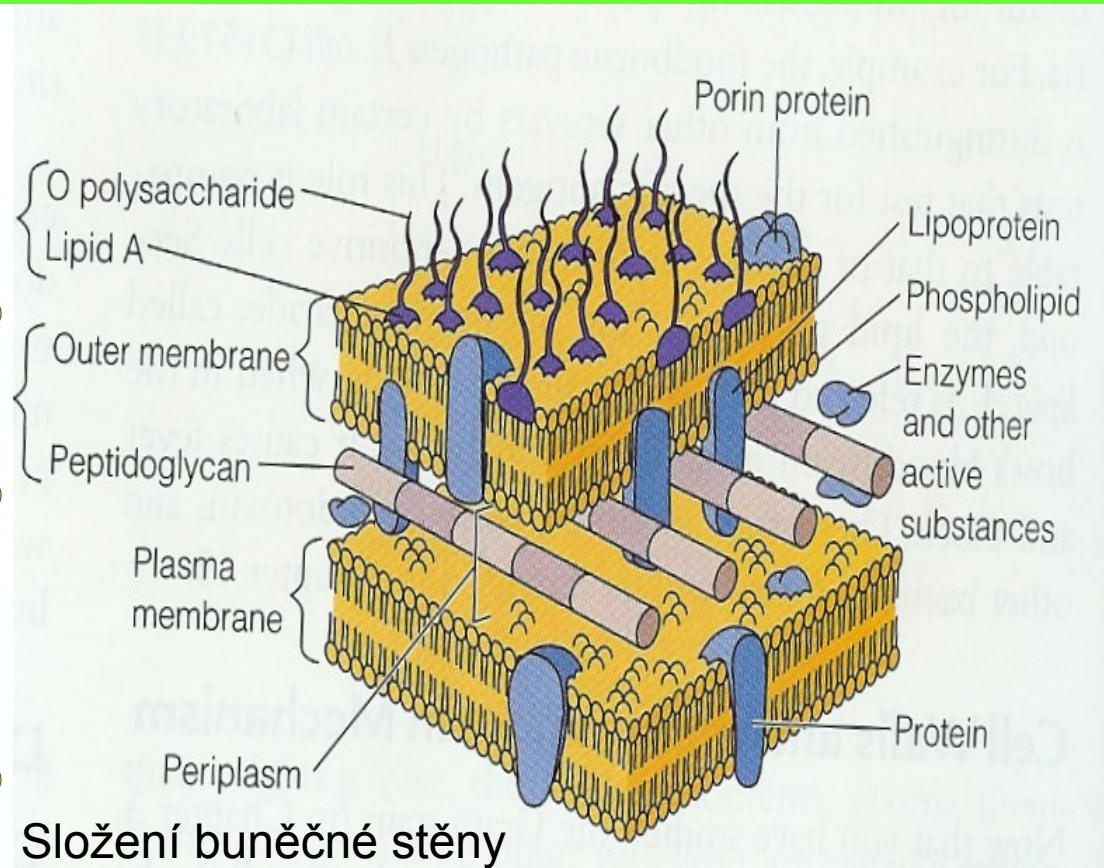
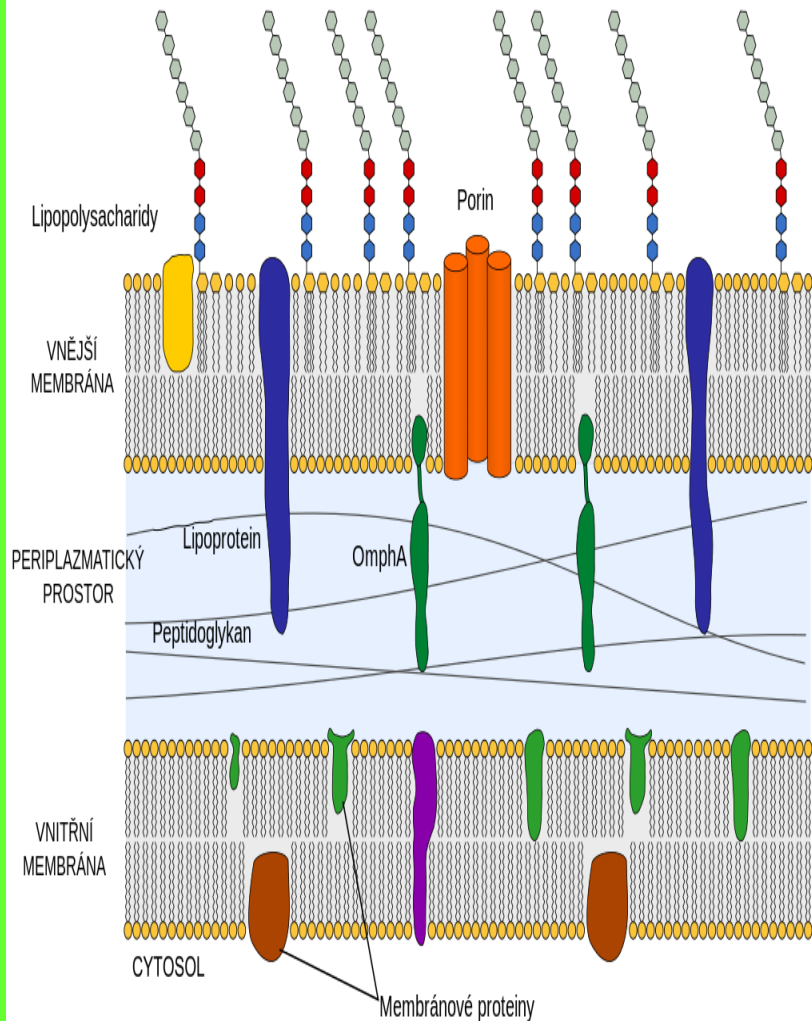
- lipoprotein

- porinové proteiny



Obvyklé struktury bakteriální buňky

buněčná stěna G⁻ bakterií



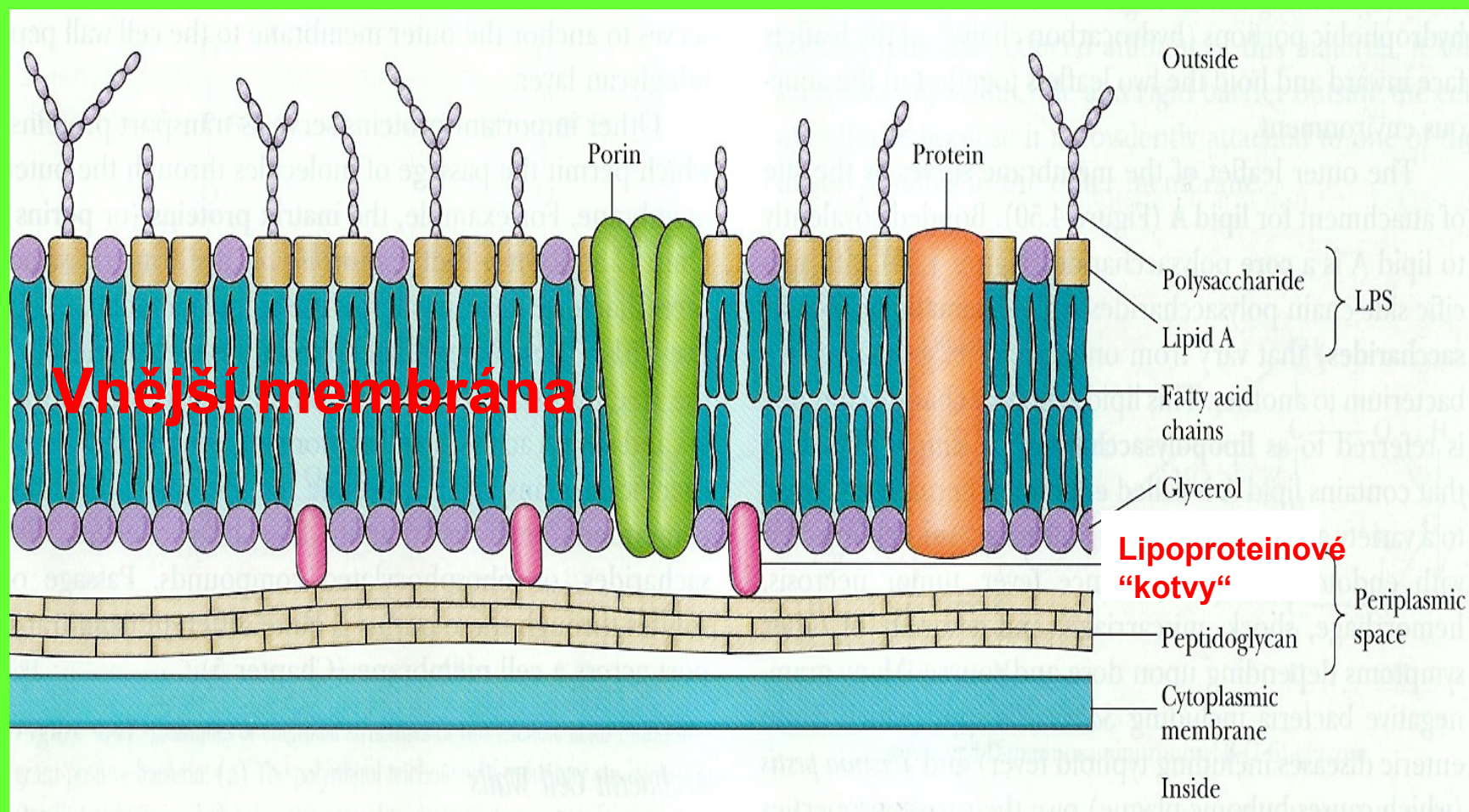
Složení buněčné stěny

- * peptidoglykan
- * vnější membrána
- fosfolipid, polysacharid, lipid A,
- lipoprotein, porinové proteiny

Obvyklé struktury bakteriální buňky

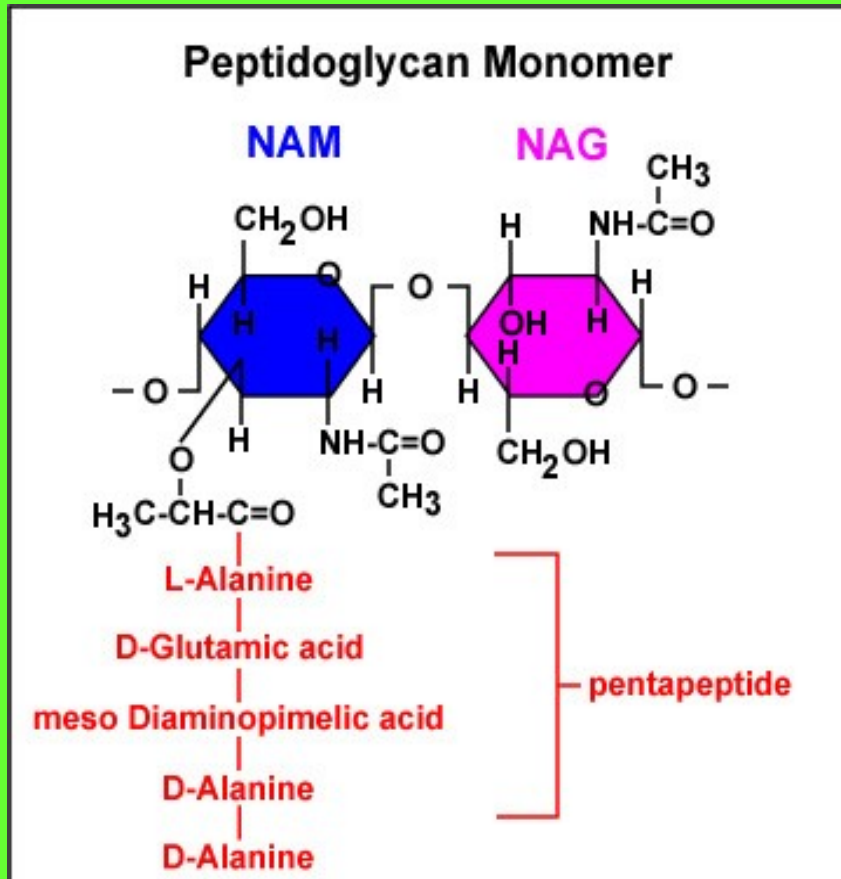
buněčná stěna G⁻ bakterií

Struktura vnější membrány



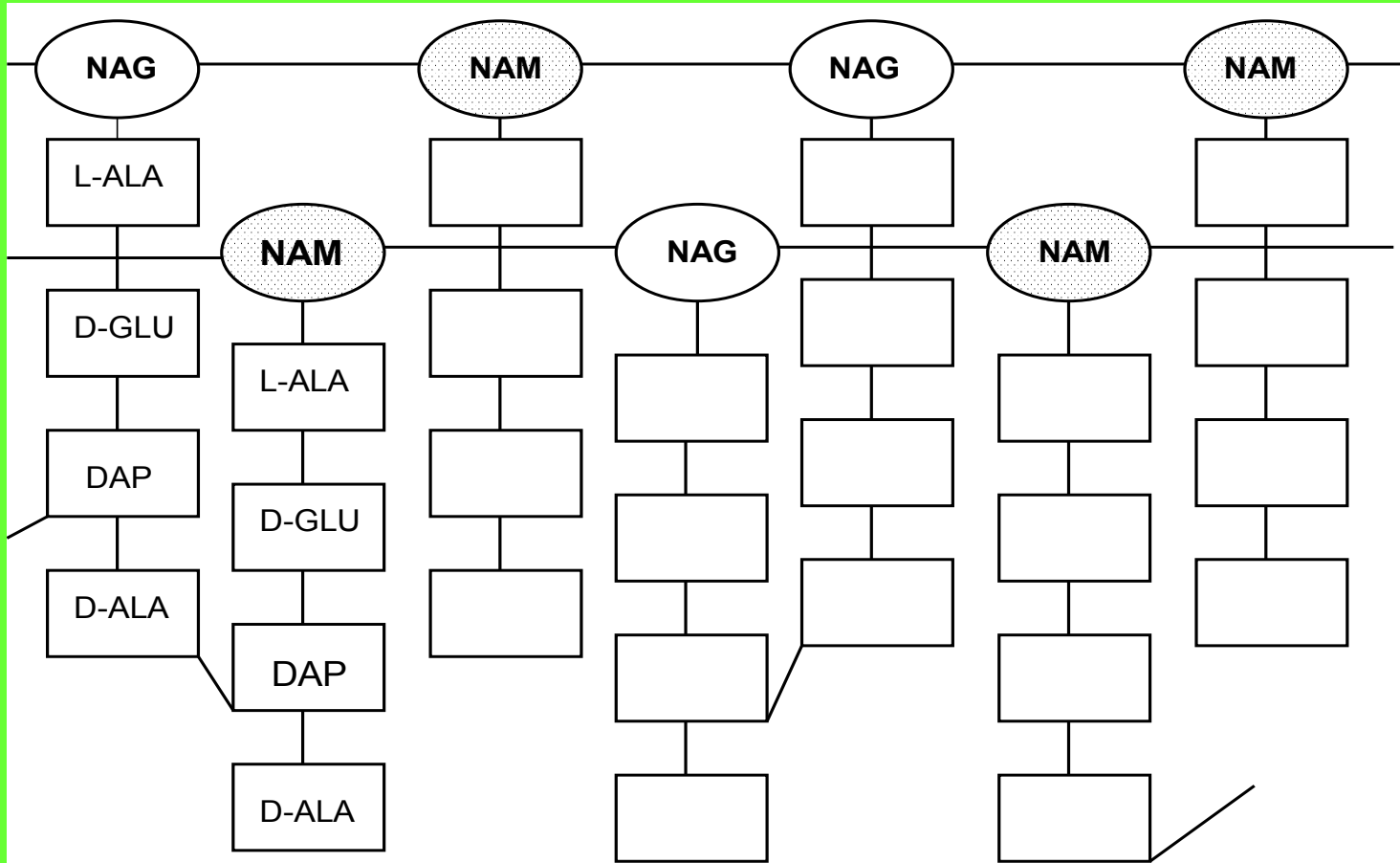
Peptidoglykan

E. coli



- Základní stavební jednotka buněčné stěny bakterií
- Specifický pro bakterie
- peptidoglykan
 - N-acetylmuramová kys.
 - N-acetylglukózamin
 - β -1,4 glykozidická vazba
 - Řetízky aminokyselin

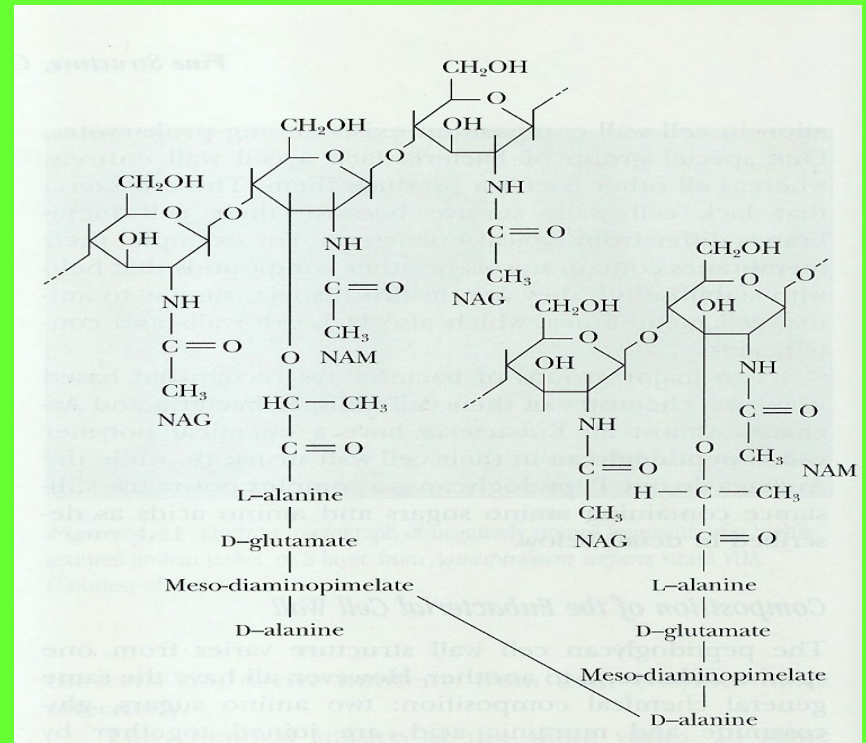
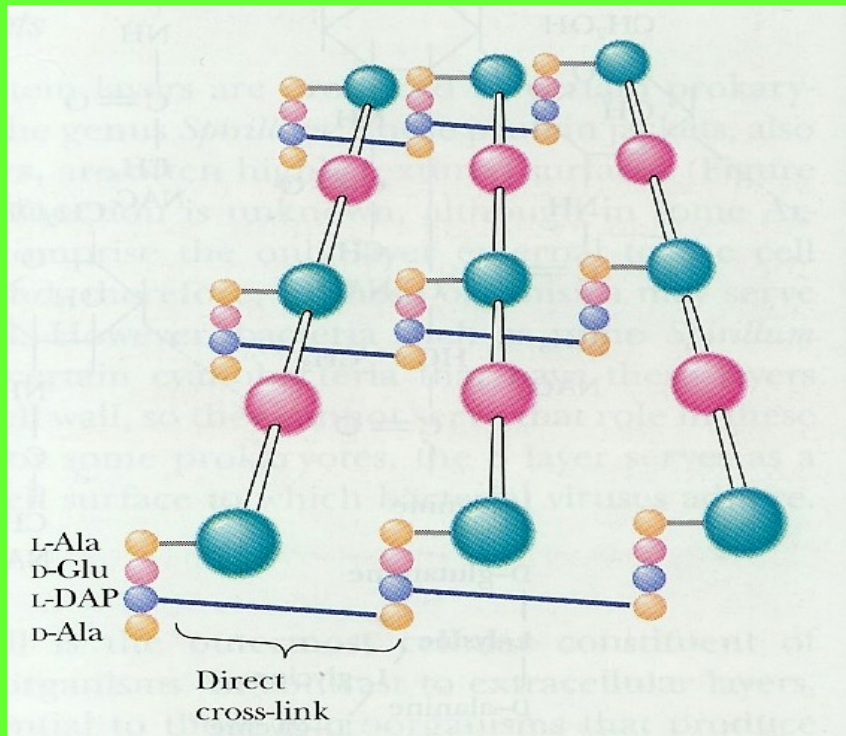
Peptidoglykan u *E.coli*

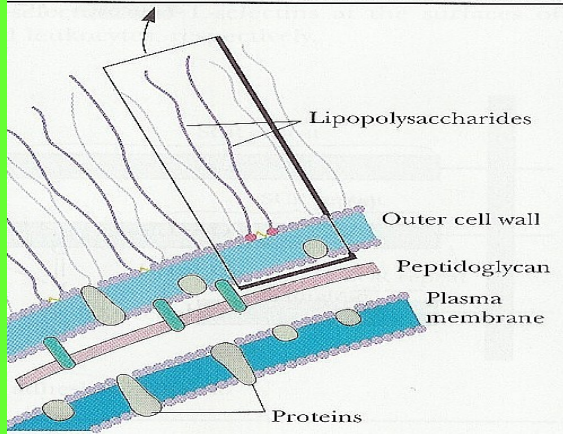
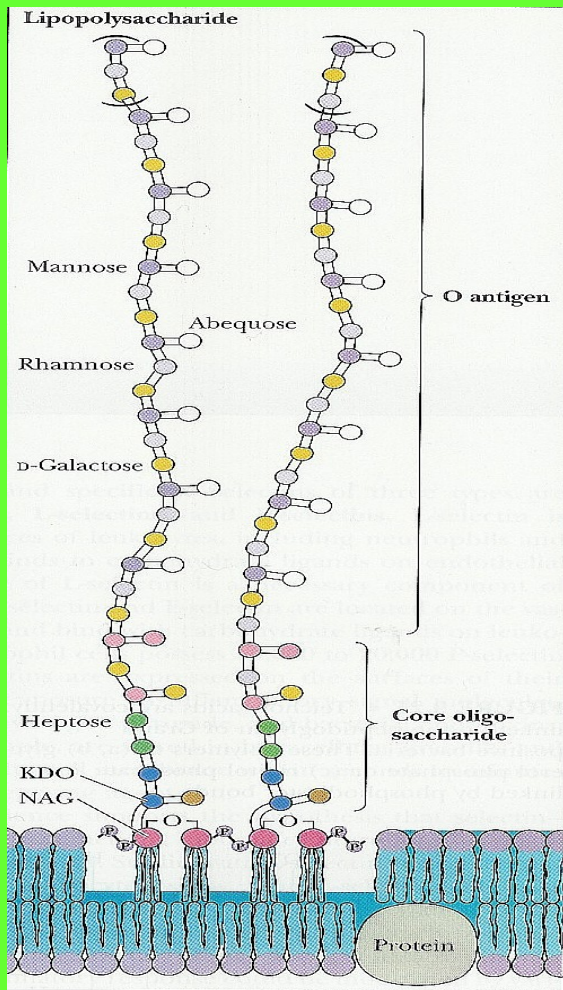


Obvyklé struktury bakteriální buňky

buněčná stěna G⁻ bakterií

Struktura peptidoglykanu (*Pseudomonas aeruginosa*)





Obvyklé struktury bakteriální buňky **buněčná stěna G⁻ bakterií**

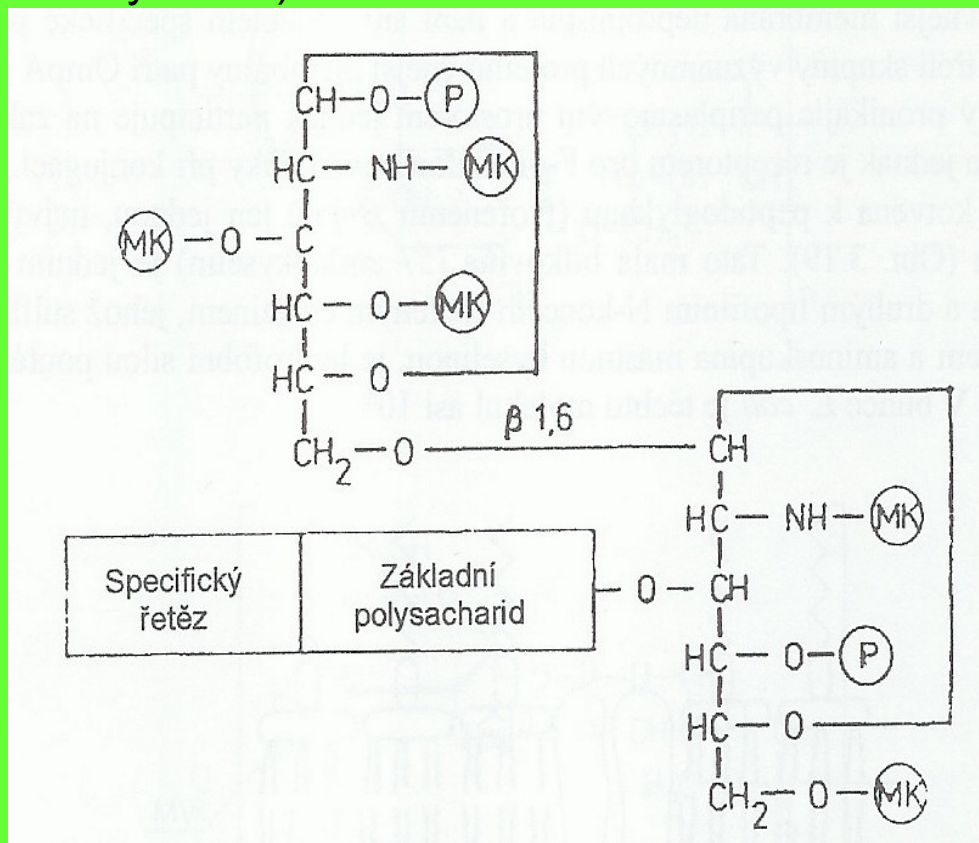
Lipopolysacharidová vrstva vnější membrány G⁻ bakterií

Obvyklé struktury bakteriální buňky

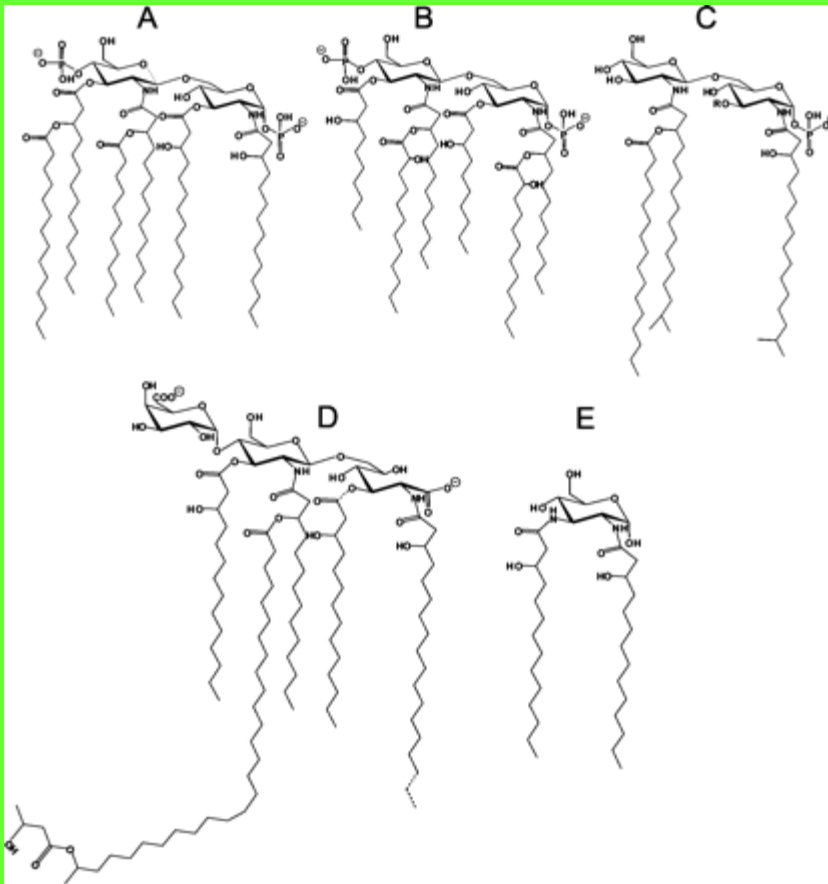
buněčná stěna G⁻ bakterií

Struktura lipidu A lipopolysacharidu

(MK – masná kyselina)

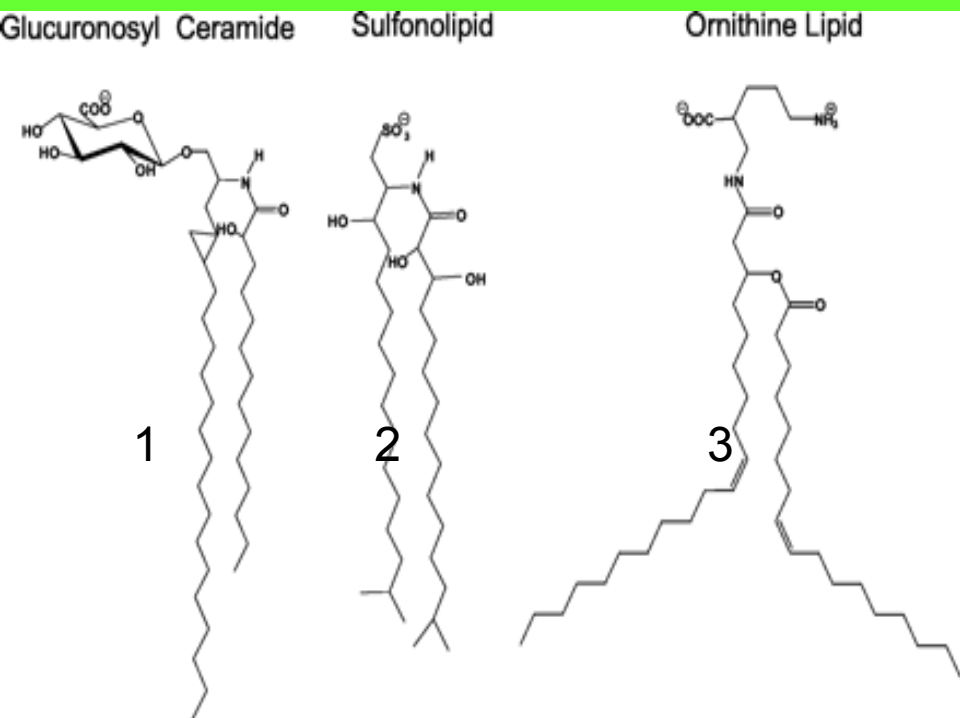


Lipid A s neklasickou strukturou



- A/ lipid A *E. coli*
- B/ Lipid A z *P. aeruginosa* (mastné kyseliny jsou kratší než u *E. coli* a jsou distribuovány symetricky nad dvěma glukózaminovými zbytky)
- C/ Lipid A z *P. gingivalis* (R je H u jednoho kmene a acylová skupina u jiného)
- D/ Lipid A from *R. leguminosarum* (“redukující“ glukózaminový zbytek je nahrazen 2-amino-2-deoxyglukonovou kyselinou; obvyklá fosfátová skupina ve 4'-pozici je nahrazena zbytkem galakturonové kyseliny)
- E/ Lipid A z *Rhodopseudomonas viridis*, je založen an 2,3-diaminoglucose monomeru a úplně ztratil fosfátové substituenty

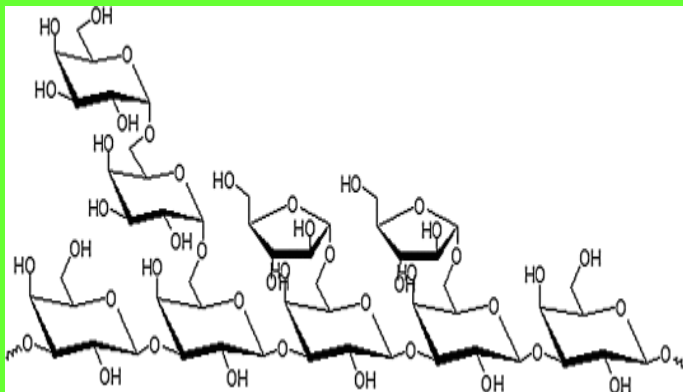
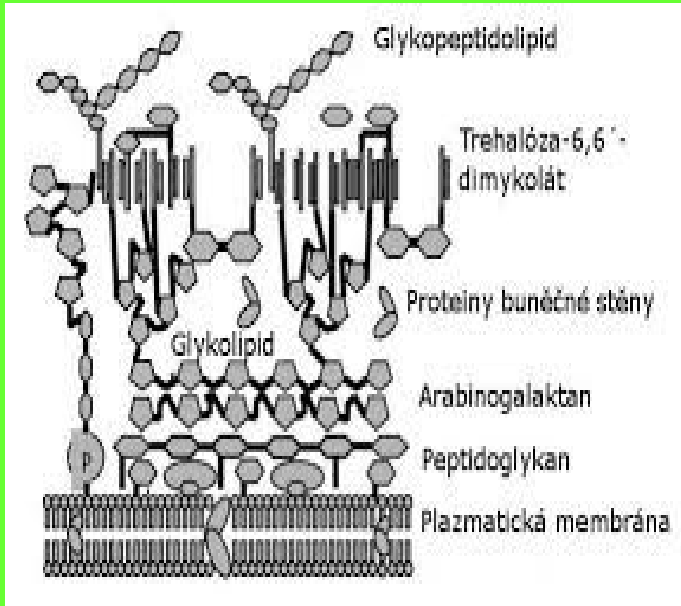
Extrahovatelné lipidy, které nahrazují nebo doplňují LPS u různých bakterií



- 1/ A sfingolipid,
D-glucuronosylceramid z
Sphingomonas yanoikuyae
- 2/ A sulfonolipid ze
submerzně rostoucí
Flavobacterium johnsoniae
- 3/ Ornithin lipid z
Paracoccus denitrificans

Obvyklé struktury bakteriální buňky

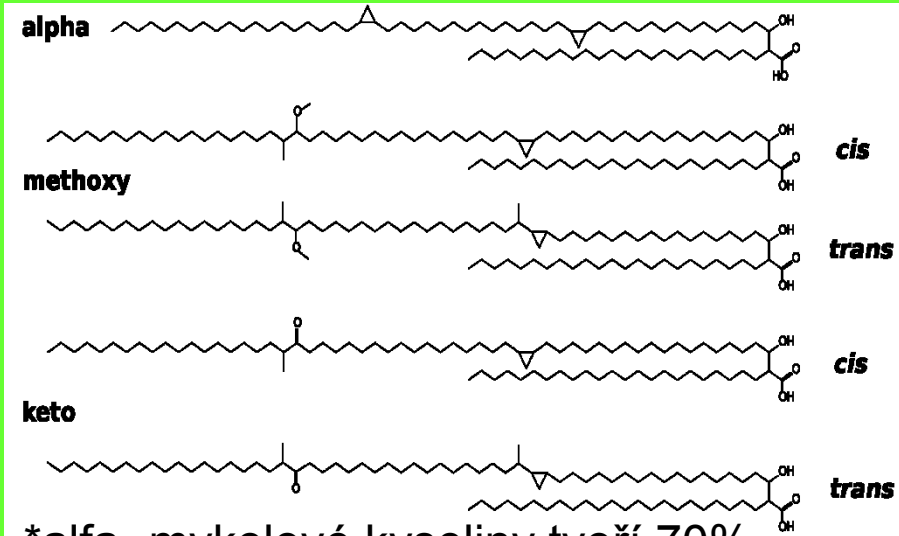
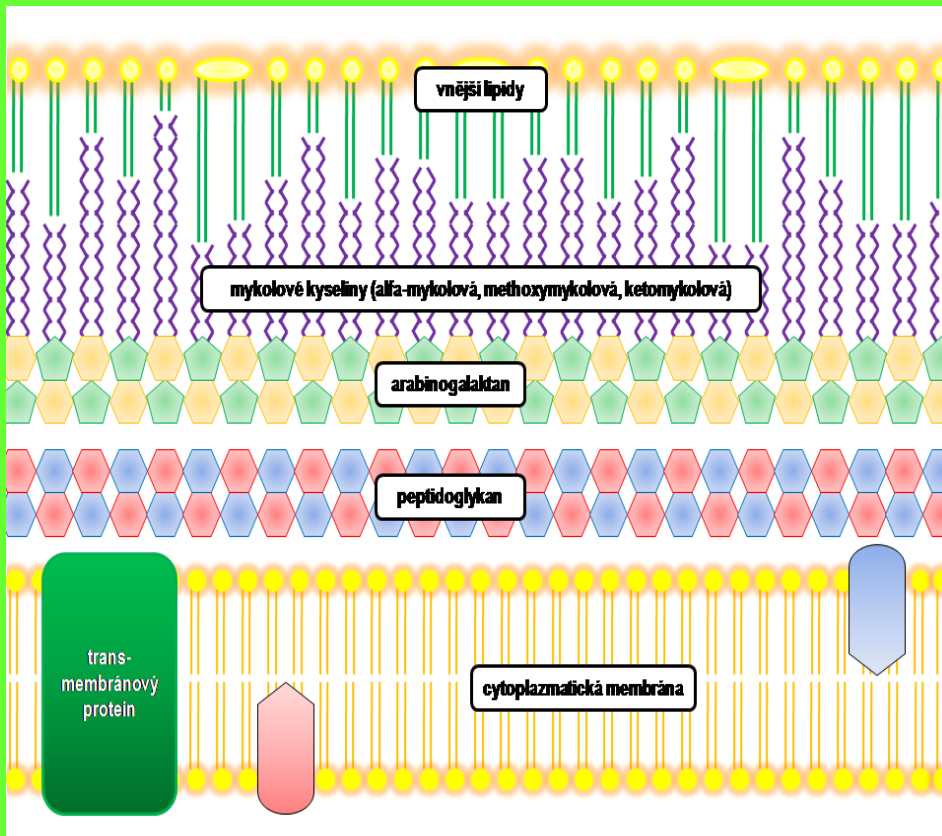
buněčná stěna mykobakterií



- hlavním znakem je přítomnost mykolových kyselin, (větvené mastné kyseliny s 26-60 až 90 atomy uhlíku)
- mykolové kyseliny jsou kovalentně připojeny k arabinogalaktanu
- Vně mykolových kyselin se nachází vrstva tvořená glykolipidy
- pod těmito vrstvami se nad plazmatickou membránou nachází vrstva peptidoglykanu
- u kyseliny muramové PG je místo N-acetylu N-glykol
- stavba buněčné stěny se strukturně podobá buněčné stěně gramnegativních bakterií
- povrch je **silně** hydrofobní, má nízkou permeabilitu
- tyto vlastnosti jsou považovány za příčinu odolnosti mykobakterií vůči velkému množství antibiotik, desinfekčních prostředků i vysychání
- jsou acidorezistentní

Obvyklé struktury bakteriální buňky

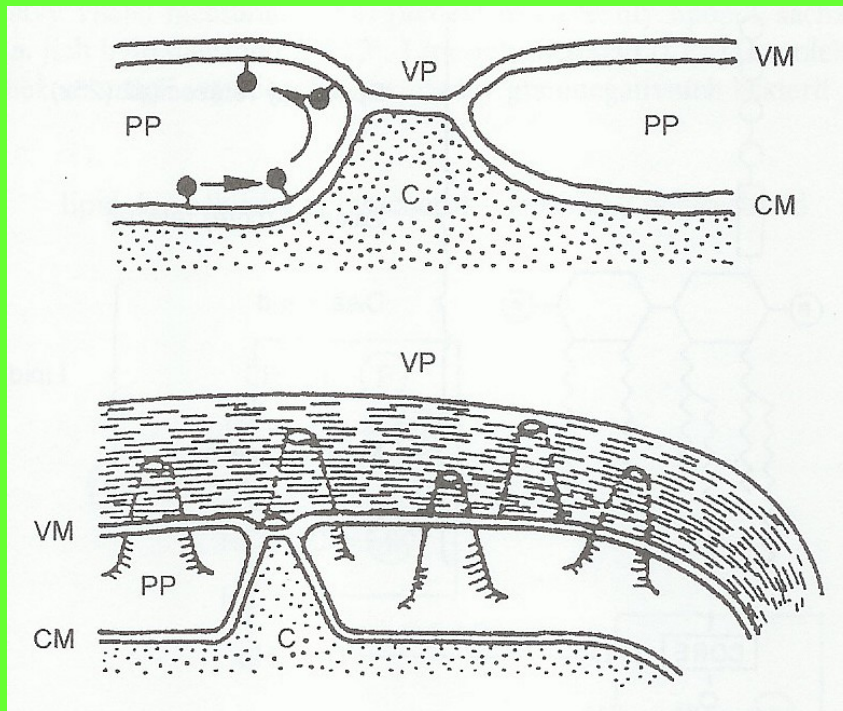
buněčná stěna mykobakterií



- * alfa- mykolové kyseliny tvoří 70% přítomných mykolových kyselin (obsahují několik cyklopropanových kruhů)
- * metoxymykolové kyseliny tvoří 10-15% přítomných mykolových kyselin (obsahují několik metoxy skupin)
- * zbytek tvoří keto-mykolové kyseliny (obsahují několik ketoskupin)

Obvyklé struktury bakteriální buňky

buněčná stěna



VM – vnější membrána

CM – cytoplazmatická membrána

PP – periplazmatický prostor

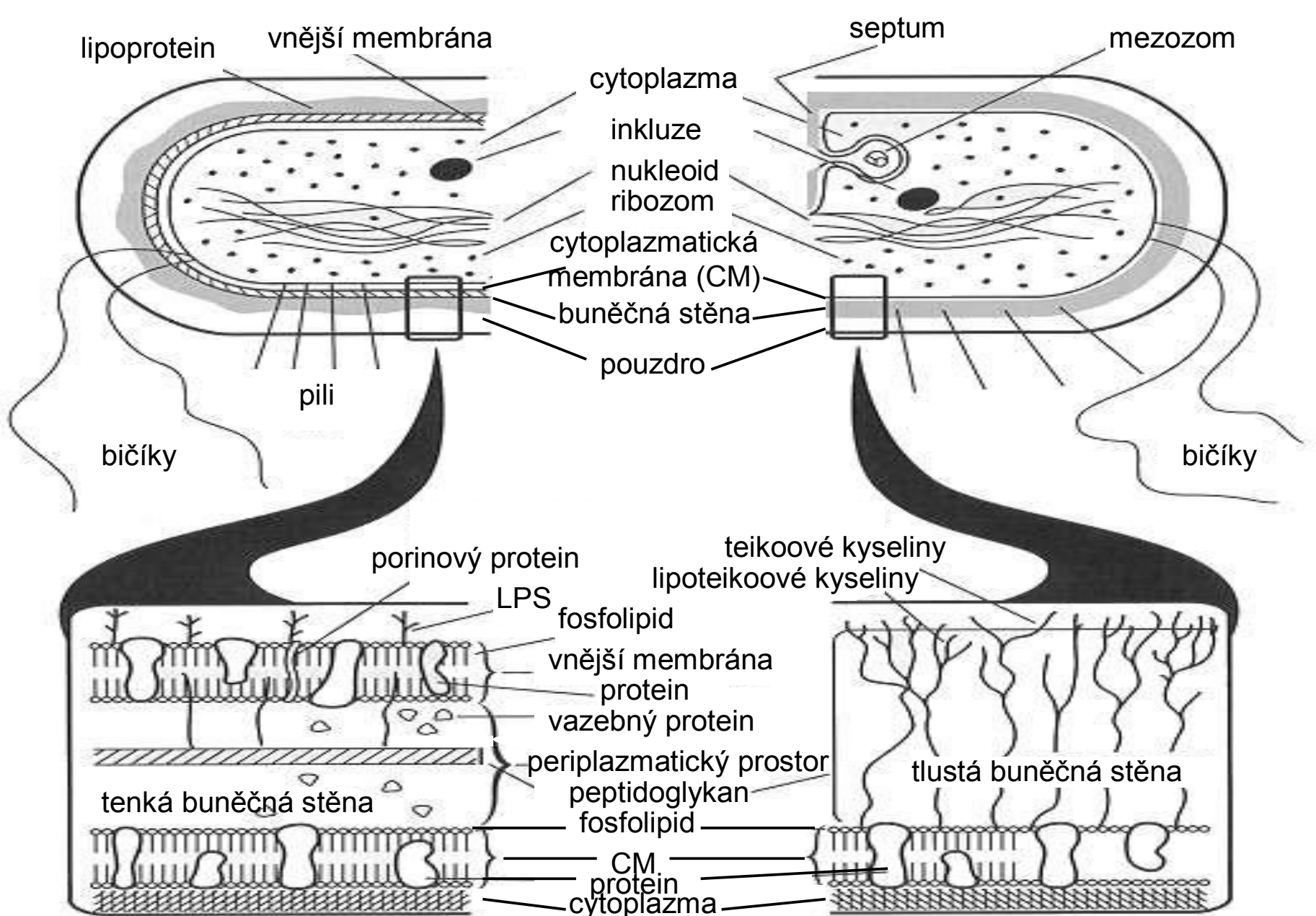
C – cytoplazma

VP – vnější prostor

**Adhezivní místa mezi vnější a cytoplazmatickou membránou
(*Escherichia coli*)**

Gram negativní bakterie

Gram pozitivní bakterie



Některé charakteristiky buněčné stěny G⁺ a G⁻ bakterií



• Peptidoglykan	tlustý (mnohovrstvý)	tenký (jednovrstevný)
• Teichoové kyseliny	mnoho	nepřítomné
• Vnější membrána	nepřítomná	přítomná
• Obsah lipopolysacharidů	prakticky žádný	velký (vnější membrána)
• Lipidy a lipoproteiny	málo	hodně
• Produkce toxinů	převážně exotoxiny	převážně endotoxiny
• Mechanické poškození	malé	velké
• Působení lysozymu	silné	slabé
• Citlivost k penicilinu	velká	malá
• Citlivost ke streptomycinu	malá	velká
• Citlivost k tetracyklinům	malá	velká
• Inhibice bazickými barvivy	velká	malá
• Odolnost k vysoušení	vysoká	slabá

Buněčná stěna cyanobakterií

- Sinice obvykle strukturu jako gramnegativní bakterie
- Na druhou stranu některé specifické vlastnosti buněčné stěny sinic sinice odlišují od ostatních gramnegativních bakterií, a sinice se tak zdají být směsí vlastností gramnegativní a grampozitivní buňky
- Zatímco běžné gramnegativní bakterie mají buněčnou stěnu o šířce jen asi 2–6 nanometrů, u jednobuněčných sinic je to asi 10 nanometrů, u vláknitých sinic 15–35 nanometrů a vzácně až 700 nanometrů (u sinice *Oscilalatoria princeps*)
- Po chemické stránce jsou peptidy vytvářející příčná spojení spíše charakteristická pro gramnegativní bakterie

Obvyklé struktury bakteriální buňky

buněčná stěna – její funkce

- Stěna bakterie má roli vnějšího buněčného skeletu
- Uděluje buňce tvar a chrání ji před působením vnějšího prostředí
- Za pevnost a odolnost je zodpovědný peptidoglykan – je specifický pro prokaryota
- Syntézu peptidoglykanu katalyzují enzymy periplasmatického prostoru a vnější části CM
- Je dvojího konstrukčního typu – grampozitivního a gramnegativního

Obvyklé struktury bakteriální buňky

bakterie bez buněčné stěny

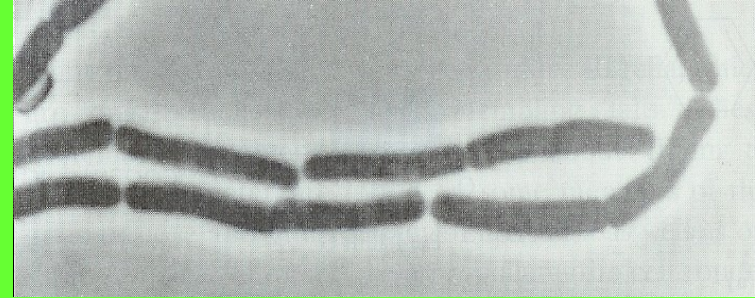
- Geneticky zakotvená neschopnost syntézy buněčné stěny. Především u intracelulárních parazitů (*Mycoplasma*, *Acholeplasma*,...). Buňka je ohraničena obvykle trojvrstevnou cytoplazmatickou membránou.
- Protoplasty
- Sferoplasty

Obvyklé struktury bakteriální buňky

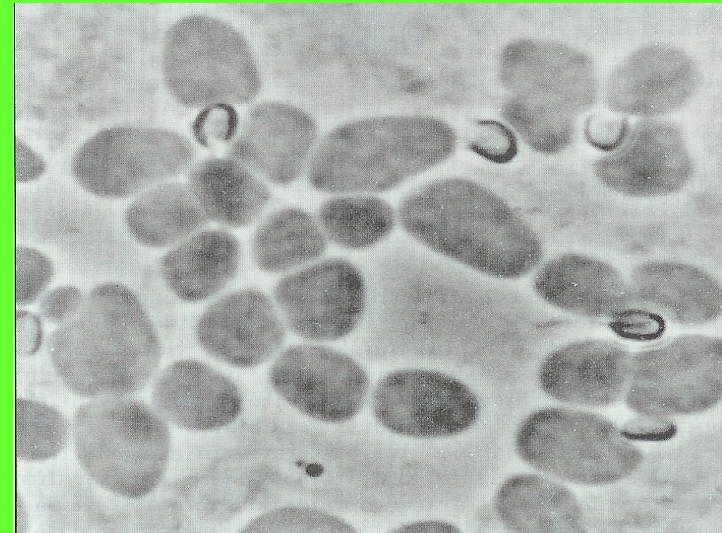
bakterie bez buněčné stěny

protoplasty

- Vznikají u G⁺ bakterií po působení **lysozymu** (štěpením glykozidické vazby peptidoglykanu), nebo po působení antibiotik blokujících syntézu buněčné stěny (**peniciliny**, **cefalosporiny**)
- Protoplasty metabolizují, rostou, ale **nemnoží se**
- Protoplasty se musí **stabilizovat v hypertonickém prostředí**
- Za určitých podmínek je možná reverze na normální buňku
- G⁻ bakterie protoplasty netvoří



Normální buňka *Bacillus megaterium*



Protoplasty vzniklé po působení lysozymu (stabilizované v sacharóze)

Obvyklé struktury bakteriální buňky

bakterie bez buněčné stěny

sferoplasty

- U G⁻ bakterií není běžná tvorba protoplastů, protože se lysozymem odstraní pouze peptidoglykanová vrstva a zůstává vnější membrána
- Sféroplast, metabolizuje, roste a množí se
- Po odstranění faktoru, který vyvolal tvorbu sféroplastu, je možná reverze na normální buňku
- Fixované L-formy → buňky ztratily schopnost reverze

Obvyklé struktury bakteriální buňky **pouzdro**

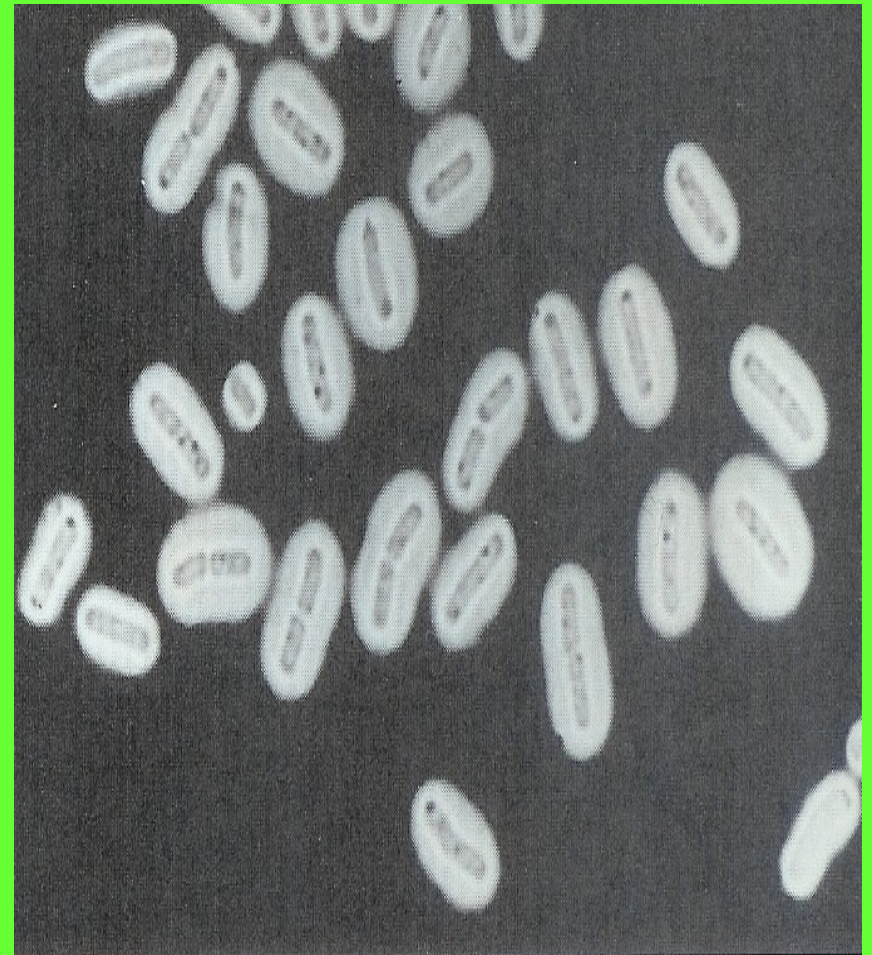
- U mnohých bakterií se vytváří vně buněčné stěny silně hydratovaná vrstva – pouzdro, kapsula
- **Mikrokapsula** – tloušťka 0,2 nm – za určitých podmínek může být mylně považována za součást buněčné stěny. U enterobakterií je to komplex obsahující bílkovinu, polysacharid a někdy stopy lipidu
- **Makrokapsula** je podstatně silnější a je tvořena především polysacharidy a bílkovinami. Složení je odlišné v závislosti na druhu bakterie
- Kmeny produkující kapsulu jsou označovány jako S-formy (smooth, hladké), neprodukující jako R-formy (rough, drsné)
- R-formy mohou vznikat z S-formy mutací
- Přítomnost kapsuly je indikací pro virulenci, nepřítomnost pro avirulenci
- Má antigenní vlastnosti – kapsulární antigen

Obvyklé struktury bakteriální buňky

pouzdro



Streptococcus pneumoniae

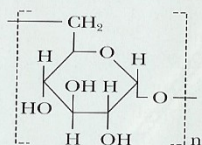
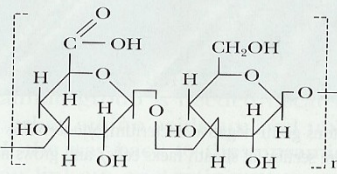
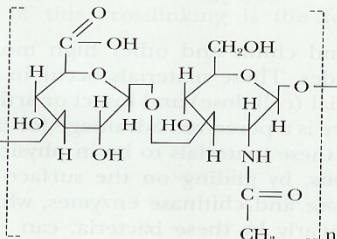
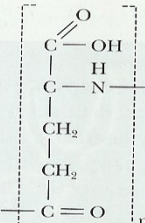


Bacillus sp

Obvyklé struktury bakteriální buňky

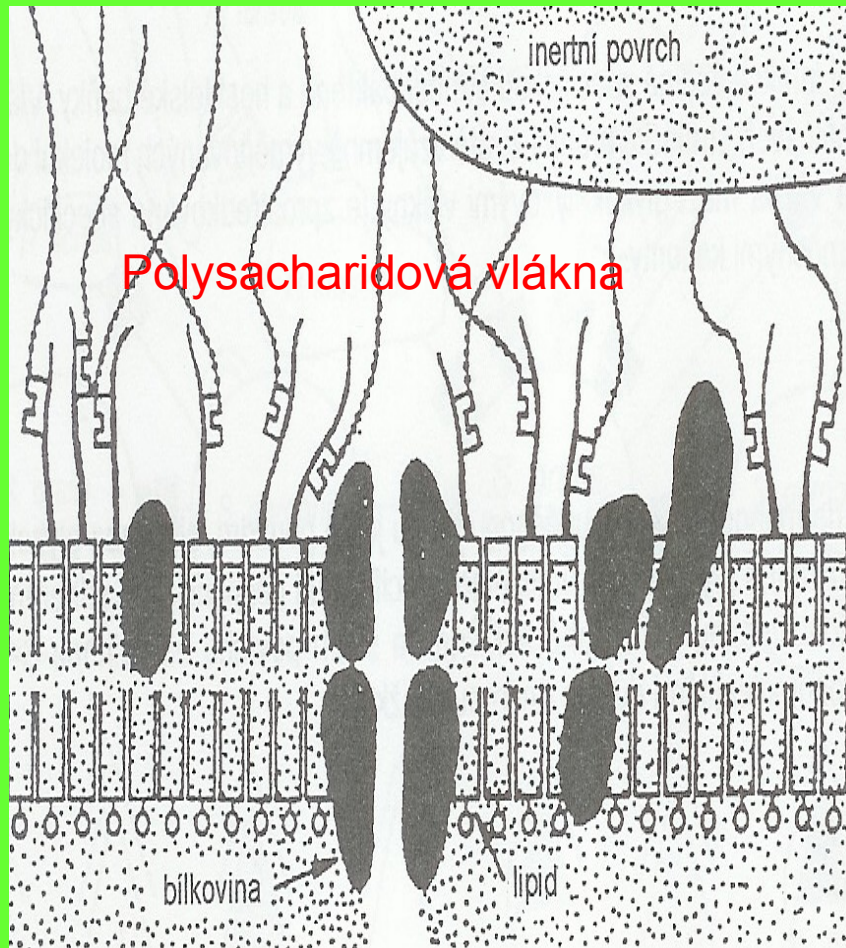
pouzdro

Chemické složení pouzdra některých bakterií

Bacterium	Name of Capsular Material	Structure of Repeating Unit
<i>Leuconostoc mesenteroides</i>	dextran	 <p>α-1,6-poly D-glucose</p>
<i>Streptococcus pneumoniae III</i>	polyglucose glucuronate	 <p>Glucuronic acid Glucose</p>
<i>Streptococcus</i> spp.	hyaluronic acid	 <p>Glucuronic acid N-acetyl glucosamine</p>
<i>Bacillus anthracis</i>	gamma poly D-glutamic acid	 <p>γ D-glutamic acid</p>

Obvyklé struktury bakteriální buňky

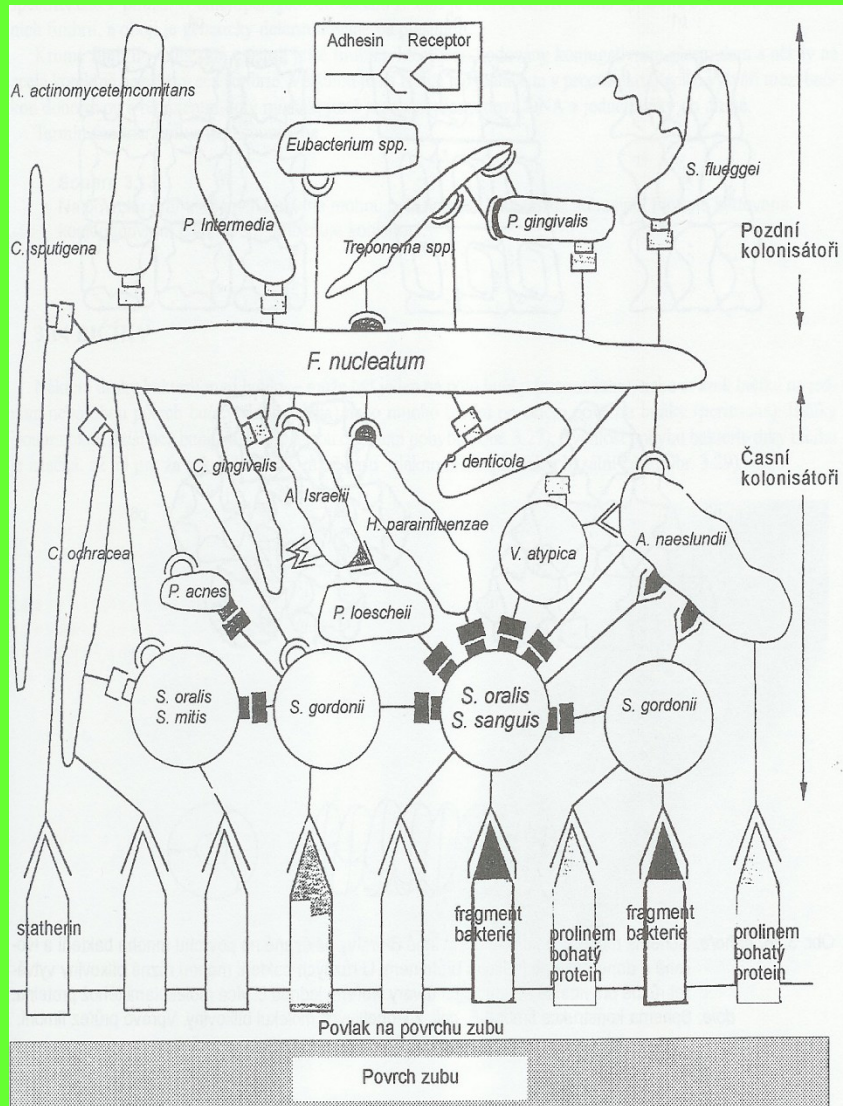
glykokalyx



- Je tvořen dlouhými polysacharidovými vlákny
- Je zodpovědný za adherenci bakterií na povrchy (kameny v potoce, zubní sklovina, rostlinná buňka, buňka epitelu, ...)
- Vlákna mají funkci adhesinů
- Vazba na povrchy je málo (zubní sklovina) nebo hodně specifická (uretra)

Obvyklé struktury bakteriální buňky

glykokalyx

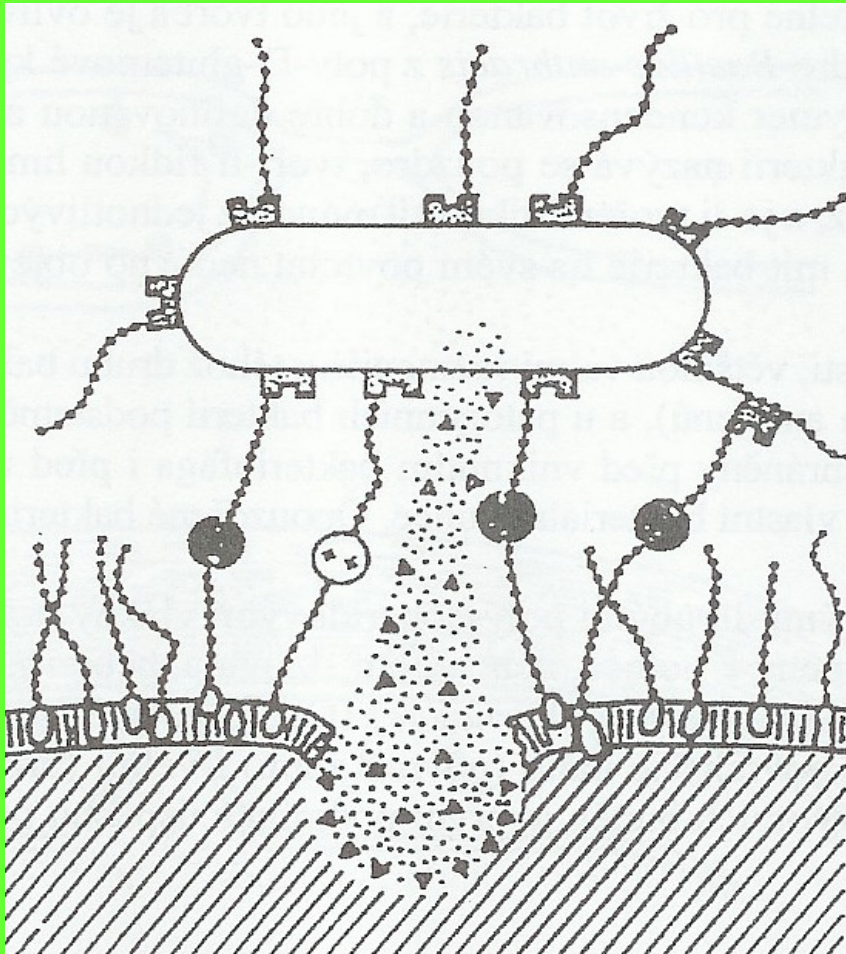


* Schema zubního plaku

- Zubní plak obsahuje více než 37 rodů a 300 druhů bakterií (cca 20 druhů streptokoků)
- Na buňky vázané na zubní sklovině se adheziny pevnějšími nebo slabšími vazbami váží další buňky
- Různé bakterie přednostně adherují a kolonizují různá místa dutiny ústní

Obvyklé struktury bakteriální buňky

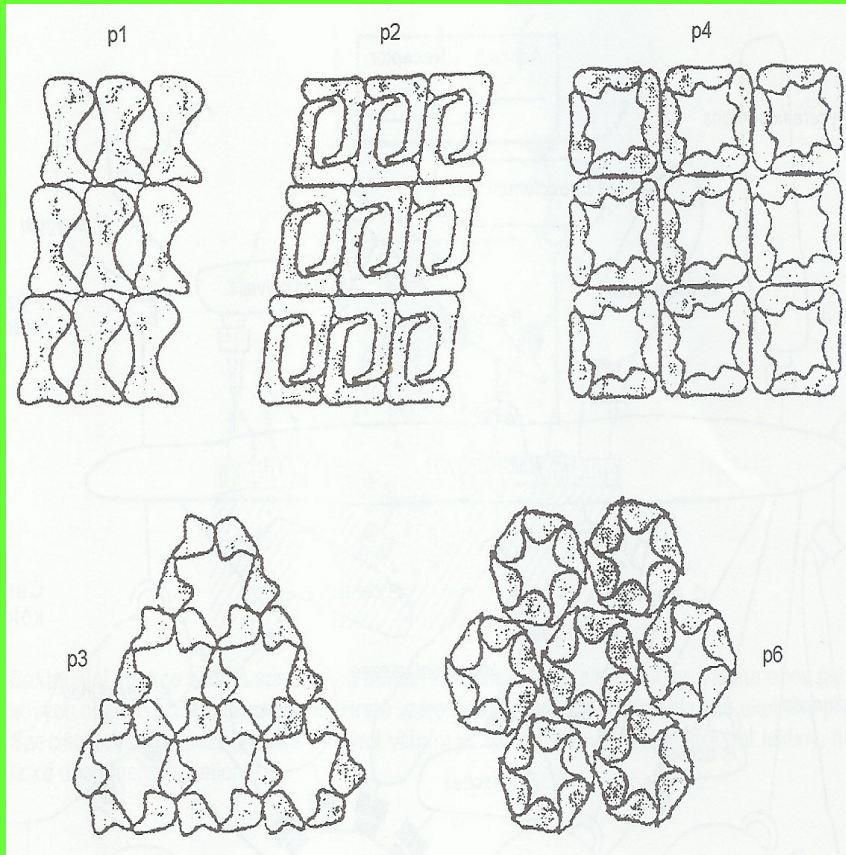
glykokalyx



- * **Schema bakteriální infekce**
- Adheze bakteriální buňky a hostitelské buňky (specifická adheze - lektiny, nespecifická – dvojmocnými ionty)
- Spojení vláken obou glykokalyxových obalů.
- Vytvoření struktury bránící ztrátě vzájemně vyměňovaných molekul do okolního prostředí

Obvyklé struktury bakteriální buňky

S - vrstva



- Plochá dvourozměrná vrstva poměrně kompaktní a je tvořena proteiny nebo glykoproteiny
- Jsou tvořené asi 3-30 nm velkými, souměrnými podjednotkami, které mívají tvar čtverce nebo šestiúhelníku (často vypadají jako dlažnice)
- bílkovinné podjednotky vytvářejí "síťovinu" na povrchu G^+ i G^- bakterií
- Je tvořena zpravidla jedním proteinem – druhově specifickým

Obvyklé struktury bakteriální buňky

fimbrie (pili)

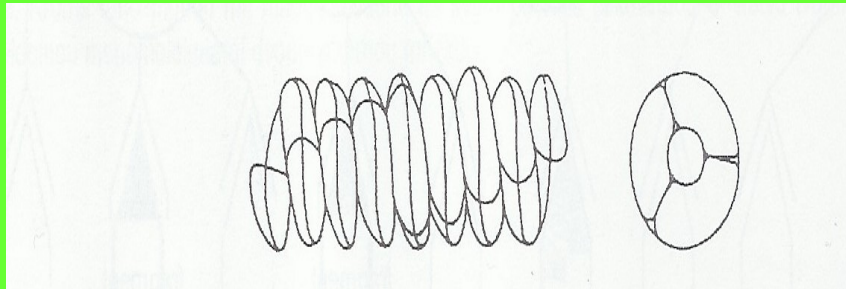


- Pili jsou četná, poměrně krátká rigidní rovná vlákna
- Jsou velmi křehká a snadno se ulamují
- Vyskytují se jen u G- bakterií
- Na jedné buňce jich může být i několik set

Obvyklé struktury bakteriální buňky

fimbrie (pili)

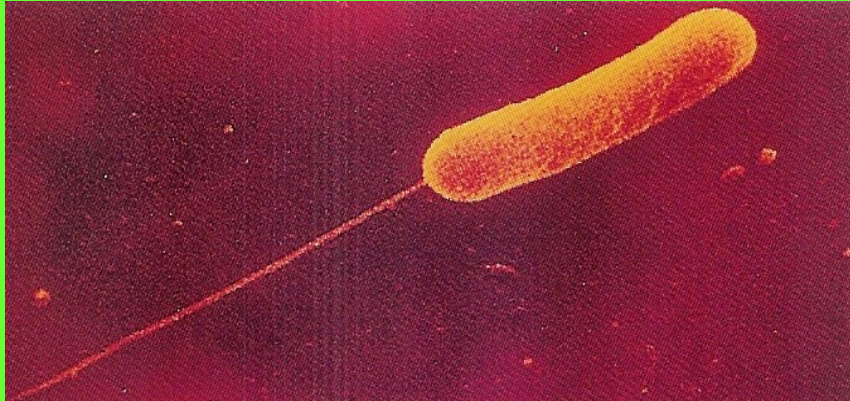
- Pilus je tvořen z bílkovinných podjednotek (pilinů), obvykle seřazených do tří řetězců stočených do spirály (vytvářejí bílkovinnou trubičku)



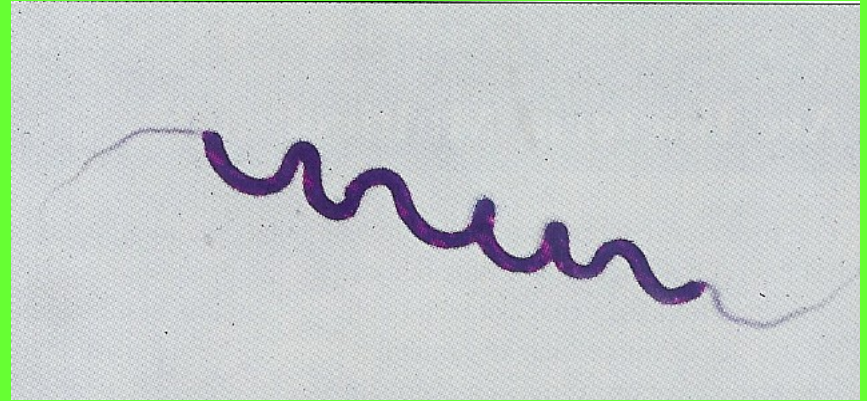
- Některé fimbrie mají funkci adhesinů
- Umožňují bakterii specifickou adhezenci
- U symbiotických, parazitických a patogenních bakterií navozují specifickou schopnost kolonizace pouze určitého hostitele
- U *Vibrio cholerae* 01 je tvorba toxinu spojena s přítomností adhezivního pilusu
- Uropatogenita *Escherichia coli* je spojena s přítomností specifického P pilusu
- Sex – pilusy jsou zodpovědné za vytvoření konjugačního můstku. Kodovány jsou F plazmidem

Obvyklé struktury bakteriální buňky

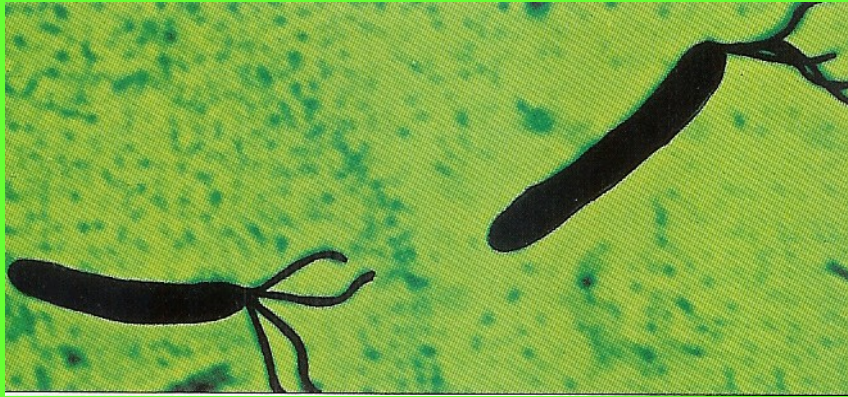
bičík (flagela)



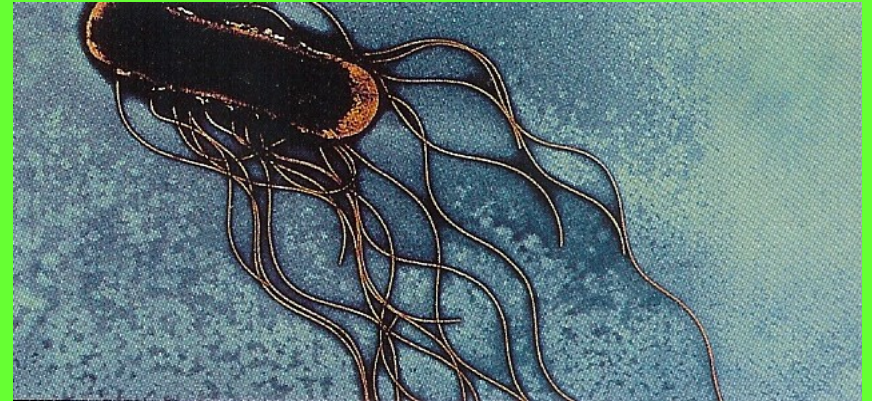
Monotrich



Amfitrich



Lofotrich



Peritrich

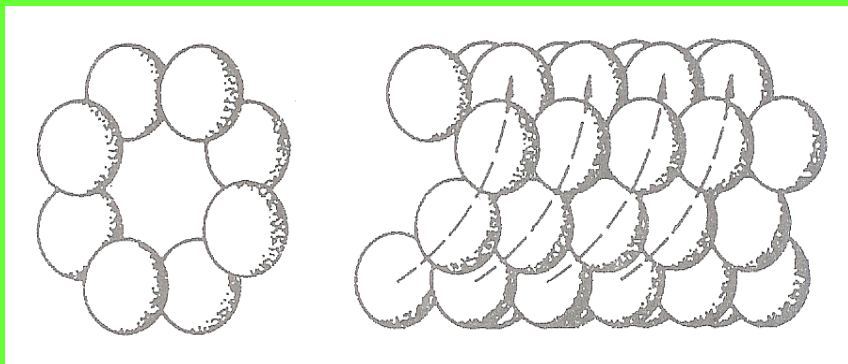
Obvyklé struktury bakteriální buňky

bičíky - struktura

- **Hlavní části bičíku**

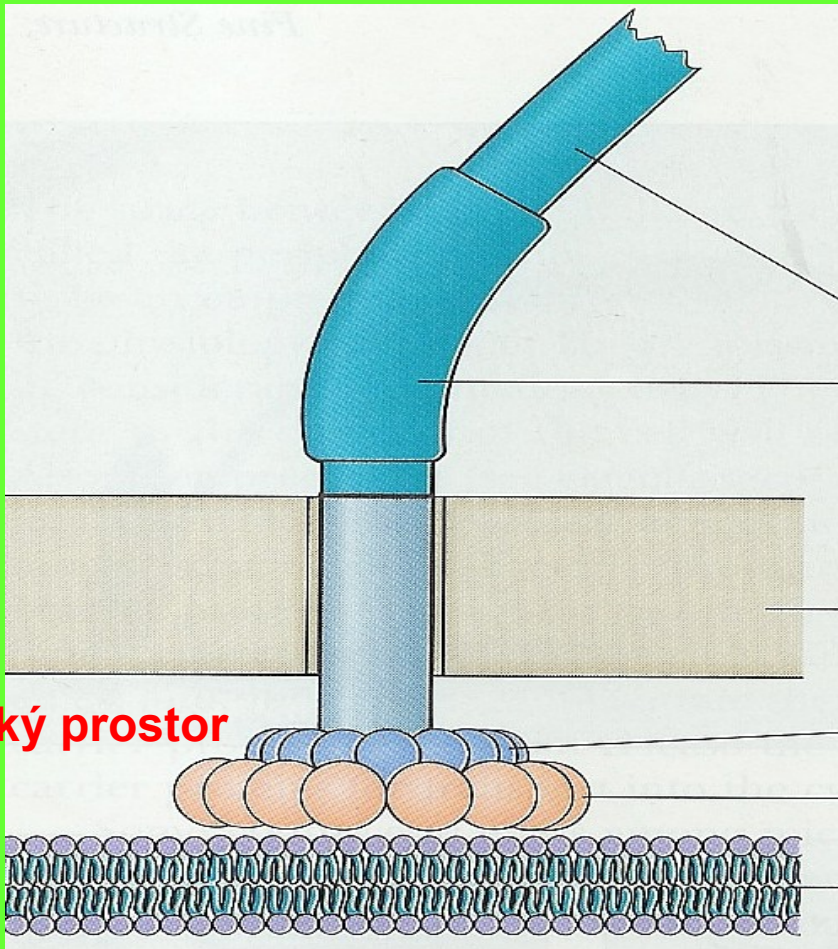
- ***Vlákno bičíku** tvořené z globulární bílkoviny – flagelinu, které jsou spojeny do několika vláken spirálovitě stočených
- Je dlouhé až 20 μm a v průměru má 10-30nm
- V živném mediu doroste asi za 10-20 minut

- **Háček** – je složen z identických globulárních bílkovin (jsou jiné než flagelin). Představuje asi spojení mezi vláknem a bazální částí bičíku
- **Bazální část** – kotví bičík do buněčné stěny a cytoplazmatické membrány. Je zodpovědná za pohyb bičíku. Jde o disky, tvořené 9 různými bílkoviny. Jejich počet a umístění je závislé na G^+ nebo G^-



Obvyklé struktury bakteriální buňky

bičík – struktura u G^+



Bičikové vlákno

Háček

Buněčná stěna

S – kruh (stator)

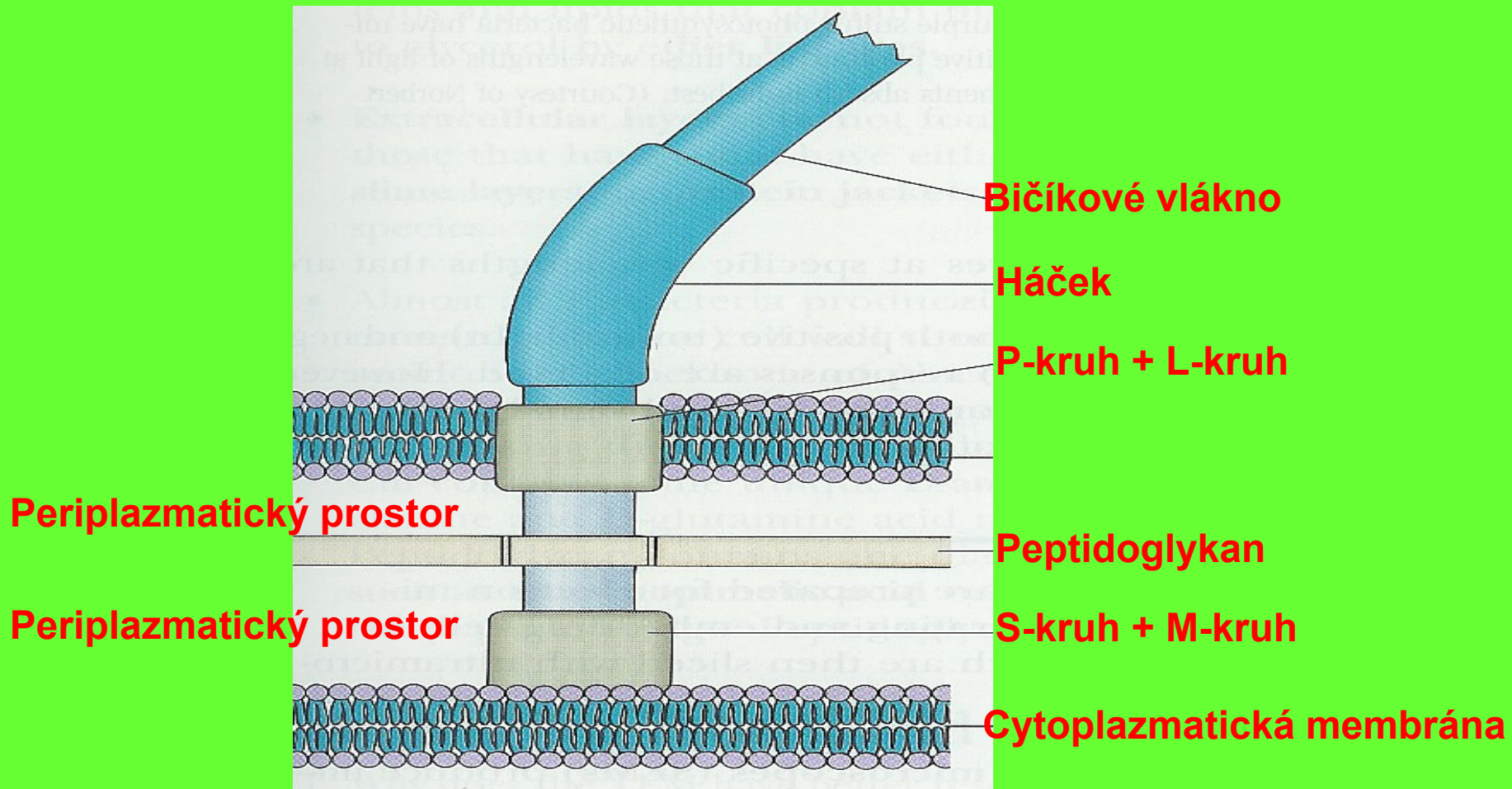
M – kruh (rotor)

Cytoplazmatická membrána

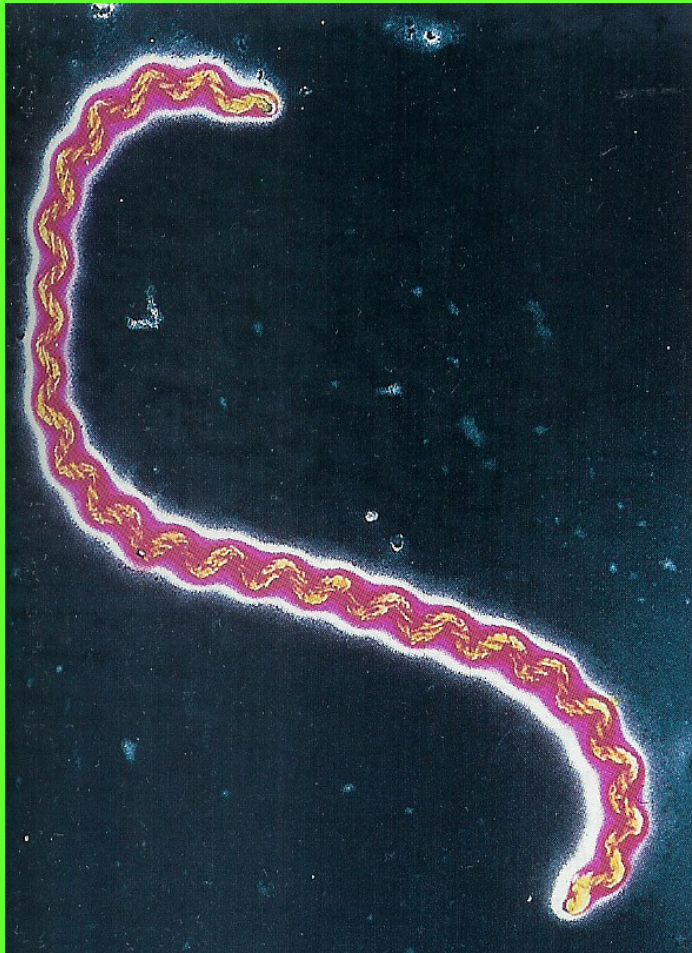
Periplazmatický prostor

Obvyklé struktury bakteriální buňky

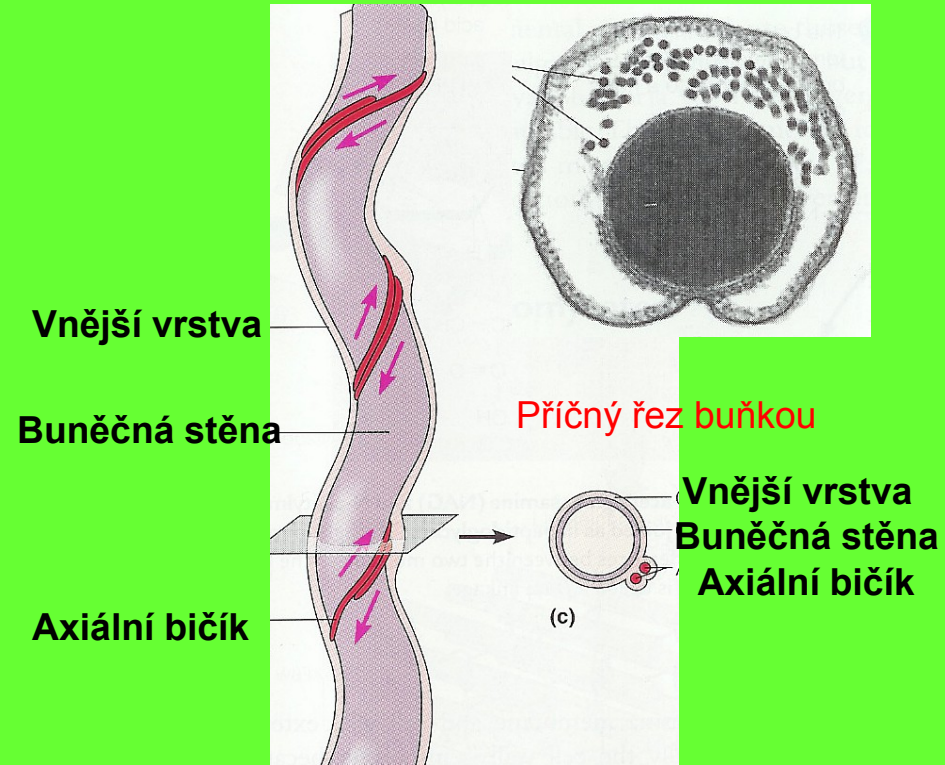
bičík – struktura u G⁻



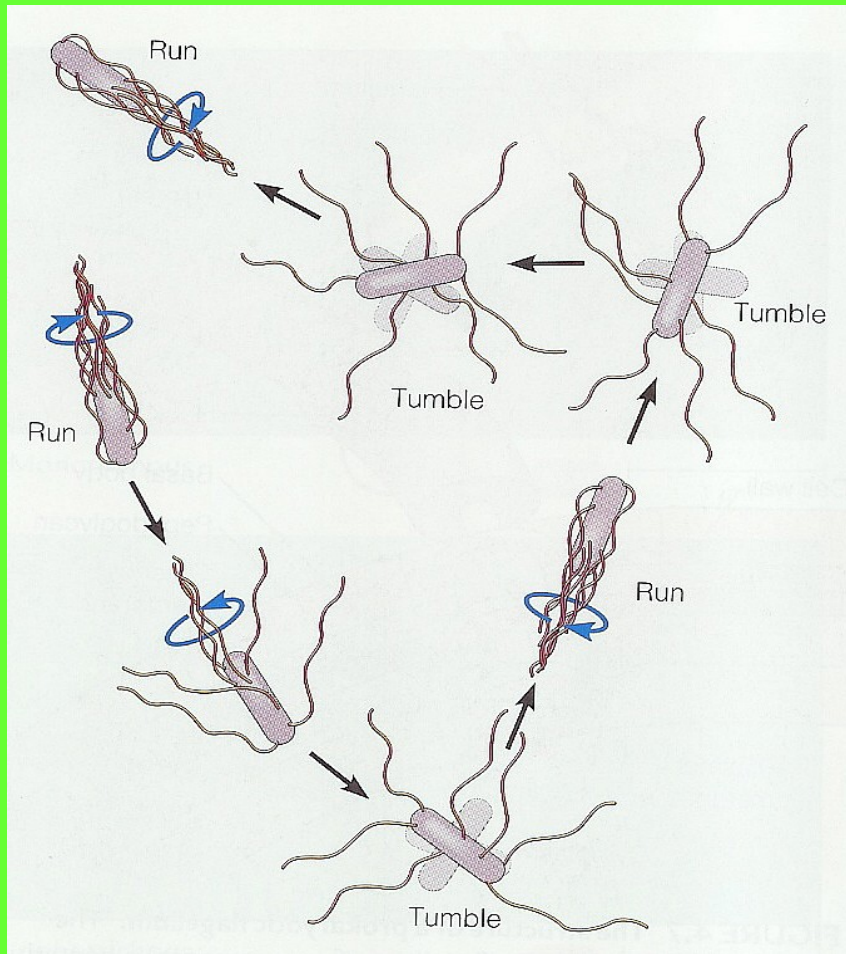
Obvyklé struktury bakteriální buňky axiálně uložený bičík



Leptospira sp.



Pohyb bakteriální buňky



- Bičík je rigidní a rotuje
- Rotační pohyb umožňují M-kruh (rotor) a S-kruh (stator)
- Zdrojem energie je protonový gradient. Na jednu otáčku se spotřebuje asi 250 protonů
- Pohyb bakterie je rotační, lokomoční, **Brownův**. Dopředu se pohybuje po zakřivené dráze, zastaví se, vrtí a točí. Nový směr pohybu je zcela náhodný.
- Otáčení buňky je proti směru hodinových ručiček
- Rychlost pohybu je asi 50 μm za sekundu
- Pohyb bičíku usnadňuje také taxi – **chemotaxi, fototaxi**

Obvyklé struktury bakteriální buňky

inkluze

- **Inkluze obdané jednovrstevnou fosfolipidovou membránou**

- * Glykogenová granula
- * Granula kyseliny poly- β -hydroxymáselné
- * Granula síry
- * Plynové váčky
- * Karboxyzómy
- * Chlorobiové váčky

- **Inkluze bez membrány**

- * Glykogenová granula
- * Polyfosfátová granula
- * Krystaly
- * Parasporální inkluze

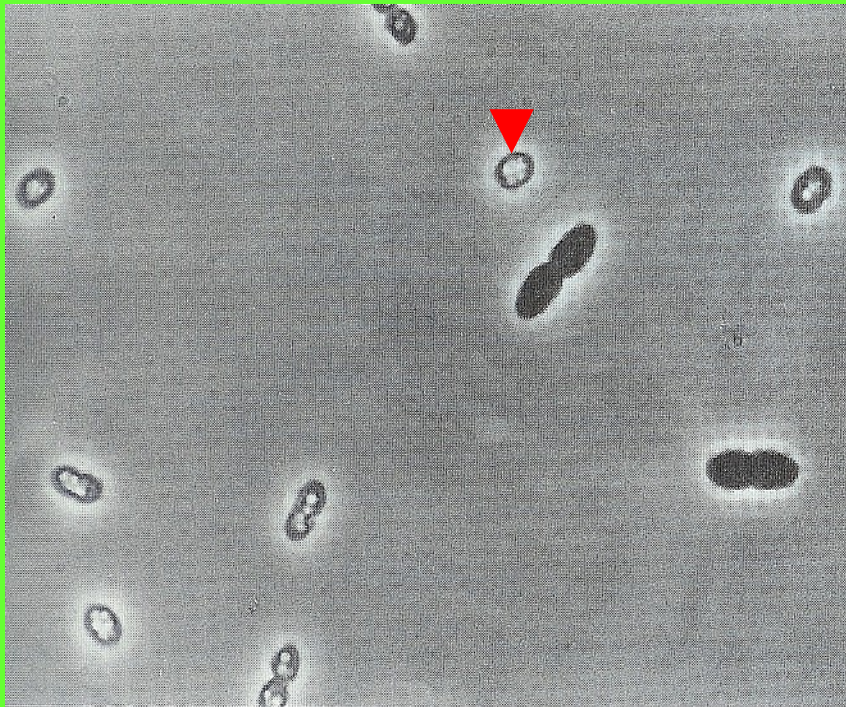
Obvyklé struktury bakteriální buňky

inkluze obdané jednovrstevnou fosfolipidovou membránou - **glykogen**

- Glykogen je nerozpustný polymer glukózy, α -1,4-glukan s četným větvením α -1,6-vazbami
- Větvení nastává na každé 8. až 10. molekule glukózy
- Buňka může obsahovat glykogenu až do 50% suché hmotnosti
- Je náhodně distribuován v cytoplazmě ve formě tělísek viditelných ve světelném mikroskopu po obarvení
- Glykogen je rezervní látka a hromadí se v buňkách po kultivaci v prostředí s nadbytkem uhlíku nebo nedostatkem dusíku

Obvyklé struktury bakteriální buňky

inkluze obdané jednovrstevnou fosfolipidovou membránou – **granula kyseliny poly- β -hydroxymáselné**

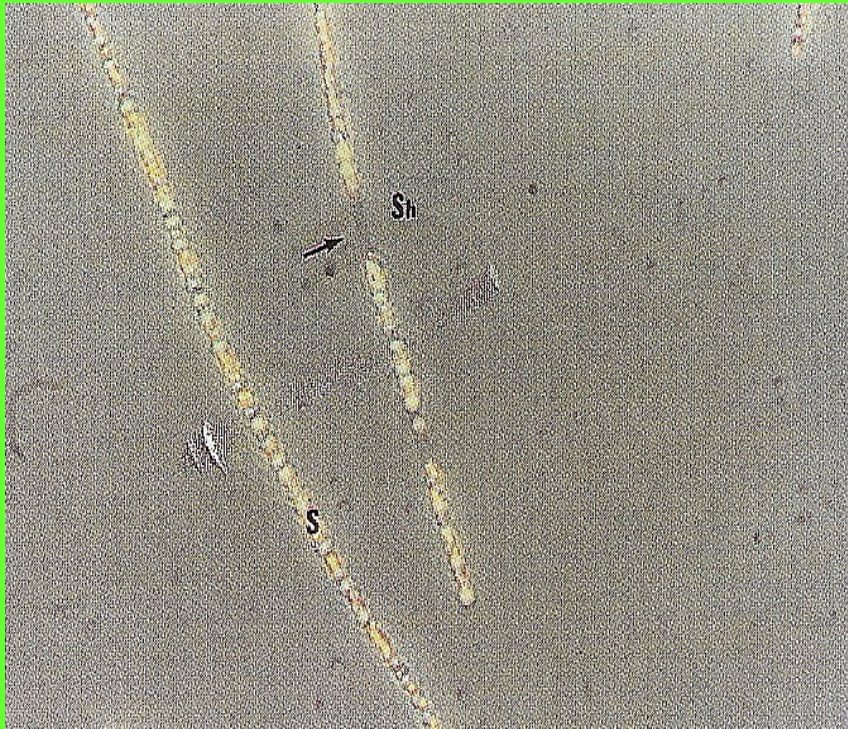


Azotobacter sp.

- Tvoří v cytoplazmě kapénky, viditelné ve světelném mikroskopu jako světlolomná tělíska
- Může tvořit až 60% sušiny bakterie
- Granula obsahují až 98% kyseliny poly- β -hydroxymáselné a 2 % bílkovin (někdy i štěpy tuků)
- Granula jsou tvořena především u aerobních druhů bakterií (rod *Bacillus*, *Pseudomonas*, fototrofní bakterie)

Obvyklé struktury bakteriální buňky

inkluze obdané jednovrstevnou fosfolipidovou membránou – **granula síry**

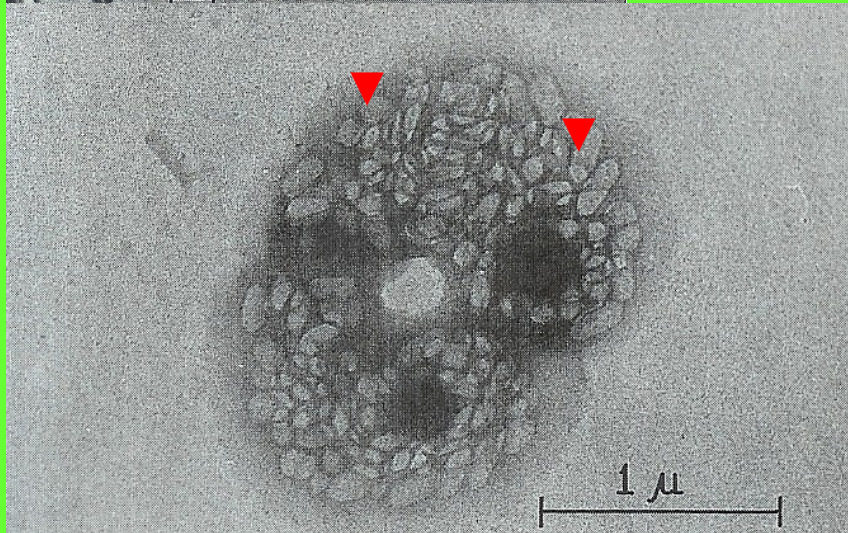
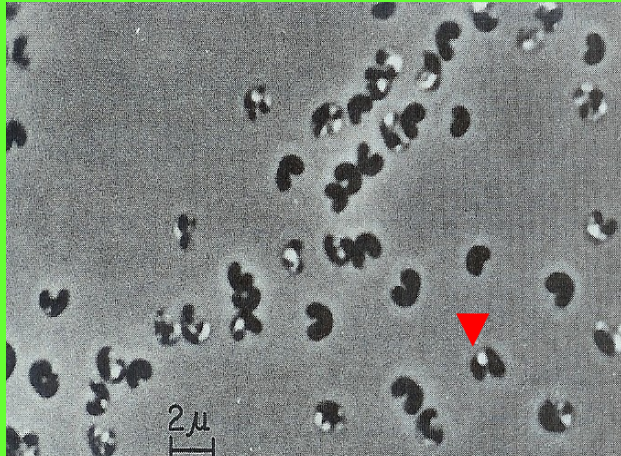


- Jsou ukládána jako rezervní materiál u těch bakterií, které ji využívají jako zdroj energie (chemolitotrofní sírné bakterie)
- Nebo je ukládána v cytoplasmě jako S_0 po využití sloučenin síry jako donorů protonů a elektronů u fototrofních bakterií (purpurové sírné nebo zelené sírné)
- Některé bakterie mohou také síru ukládat do váčků vzniklých inavaginací cytoplazmatické membrány. V tomto případě však nejde o inkluze

Thiiothrix nivea

Obvyklé struktury bakteriální buňky

inkluze obdané jednovrstevnou membránou – plynové váčky (gazvezikuly)

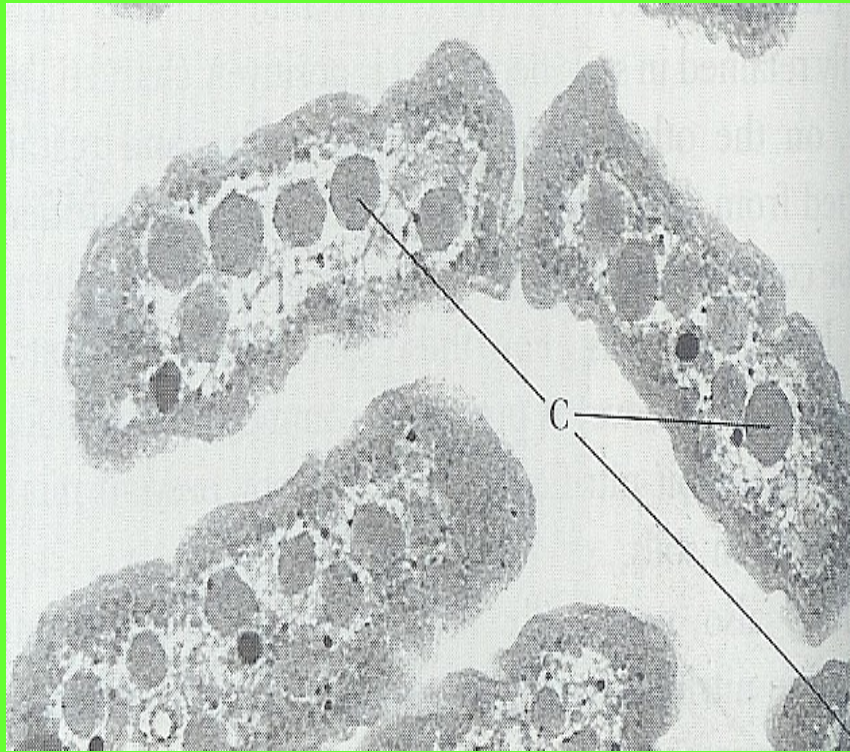


- Mají substrukturu tvořenou plynovými váčky cylindrického tvaru s kónickými konci
- Membrána je tvořena výhradně bílkovinami (je jednovrstevná)
- Membrána je plně propustná pro všechny plyny a vodu
- Plynové vakuoly se nacházejí především u fototrofních bakterií

Ancylobacter aquaticus

Obvyklé struktury bakteriální buňky

inkluze obdané jednovrstevnou fosfolipidovou membránou – **karboxyzómy**



Thiobacillus neapolitanus

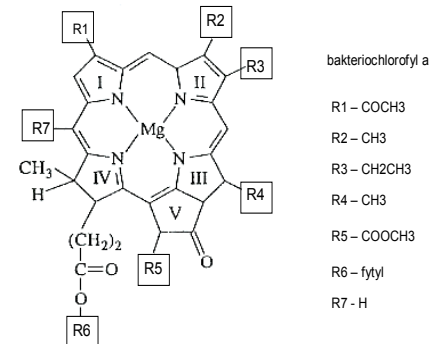
- Vyskytují se u bakterií využívajících CO_2 jako zdroje uhlíku
- Karboxyzómy obsahují enzym ribulóza -1,5-bisfosfátkarboxylázu
- Obvykle se nacházejí v blízkosti nukleoidu
- Nejčastější je přítomnost karboxyzómů u nitrifikačních bakterií, sinic a thiobacilů

(C – karboxyzómy)

Obvyklé struktury bakteriální buňky

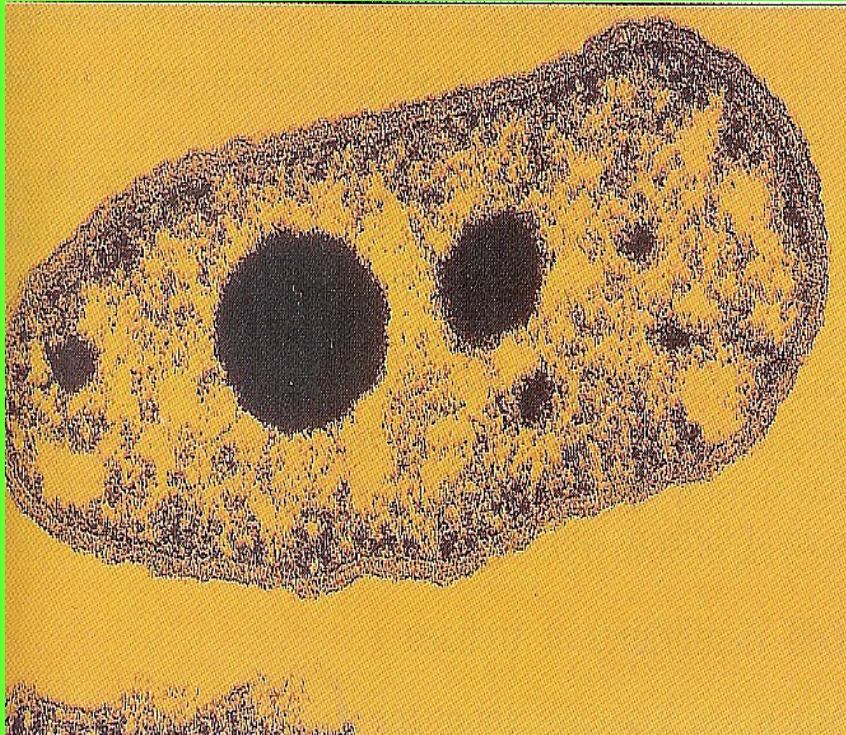
inkluze obdané jednovrstevnou fosfolipidovou membránou – chlorobiové váčky

- Obsahují bakteriochlorofyl **a**, **c**, **d** a karotenoidní pigmenty
- Vyskytují se u fototrofních bakterií
- Jejich šířka je 30-40 nm
- Jsou ohraničeny jednoduchou fosfolipidovou membránou
- Umístěny jsou v těsné blízkosti cytoplazmatické membrány, ale **nejsou** s ní spojeny
- Počet váčků je závislý na metabolické aktivitě



Obvyklé struktury bakteriální buňky

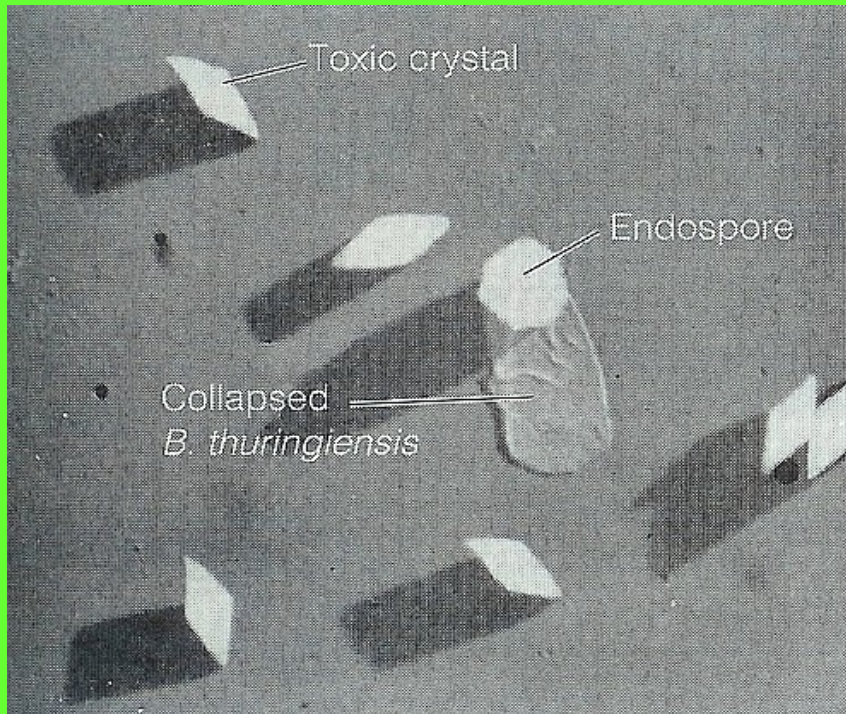
inkluze bez membrány – polyfosfátová granula



- Metachromatická granula, volutin
- Volutin je polyfosfát, který se v buňce hromadí ve formě kulovitých tělísek o velikosti 45nm až 1 μ m
- Je zásobárnou molekul fosfátu
- Je tvořen řetízky až 500 molekul ortofosfátu a je proto ve vodě nerozpustný
- Vazba mezi molekulami je energeticky bohatá a vyžaduje dodání energie ve formě ATP
$$\text{ATP} + (\text{HPO}_3)_n \rightarrow \text{ADP} + (\text{HPO}_3)_{n+1}$$
- Reakce je katalyzována polyfosfát kinázou

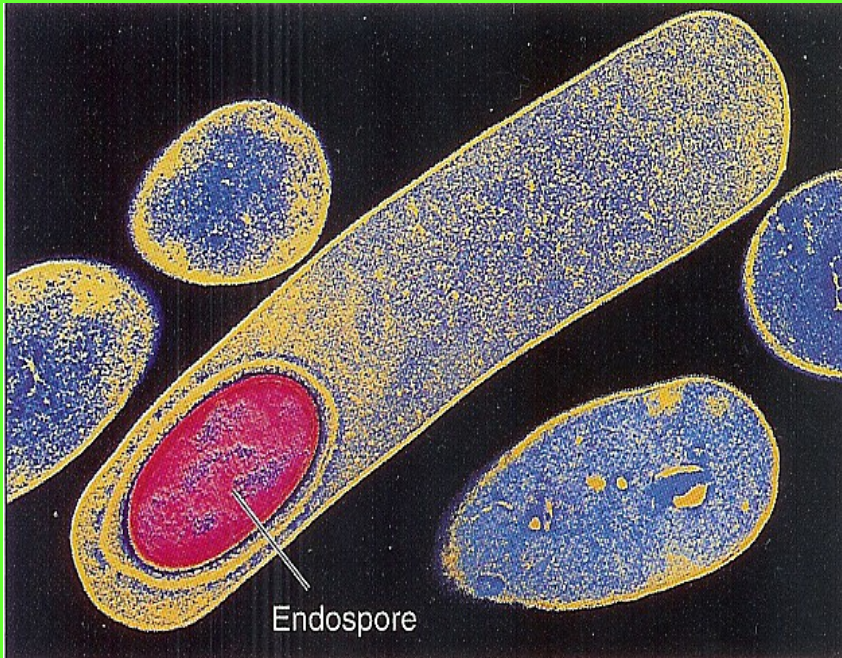
Obvyklé struktury bakteriální buňky

inkluze bez membrány – **Parasporální inkluze**



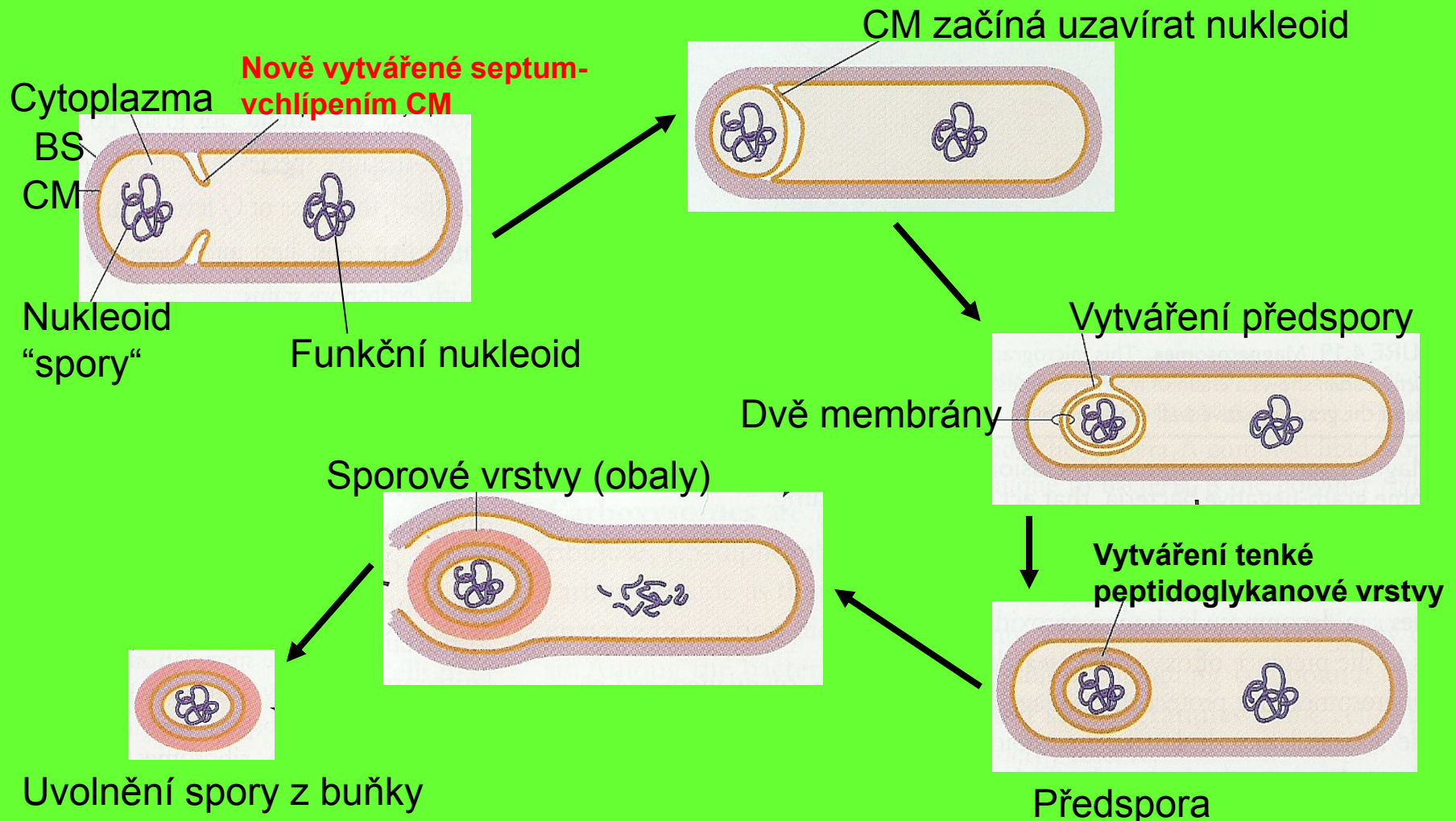
- Parasporální inkluze jsou vytvářeny u některých zástupců rodu *Bacillus*
- Jsou bipiramidálně oktaedricky symetrické a jsou složeny polypeptidových podjednotek tyčinkovitého tvaru o rozměrech 4 x 12 nm
- Molekulová hmotnost těchto podjednotek je asi 230 000
- Vznikají jako důsledek nadprodukce bílkovin tvořících obaly endospory
- Parasporální inkluze *Bacillus thuringiensis* byly použity jako první bioinsekticid proti moučnému červu

Vytváření endospor u bakterií

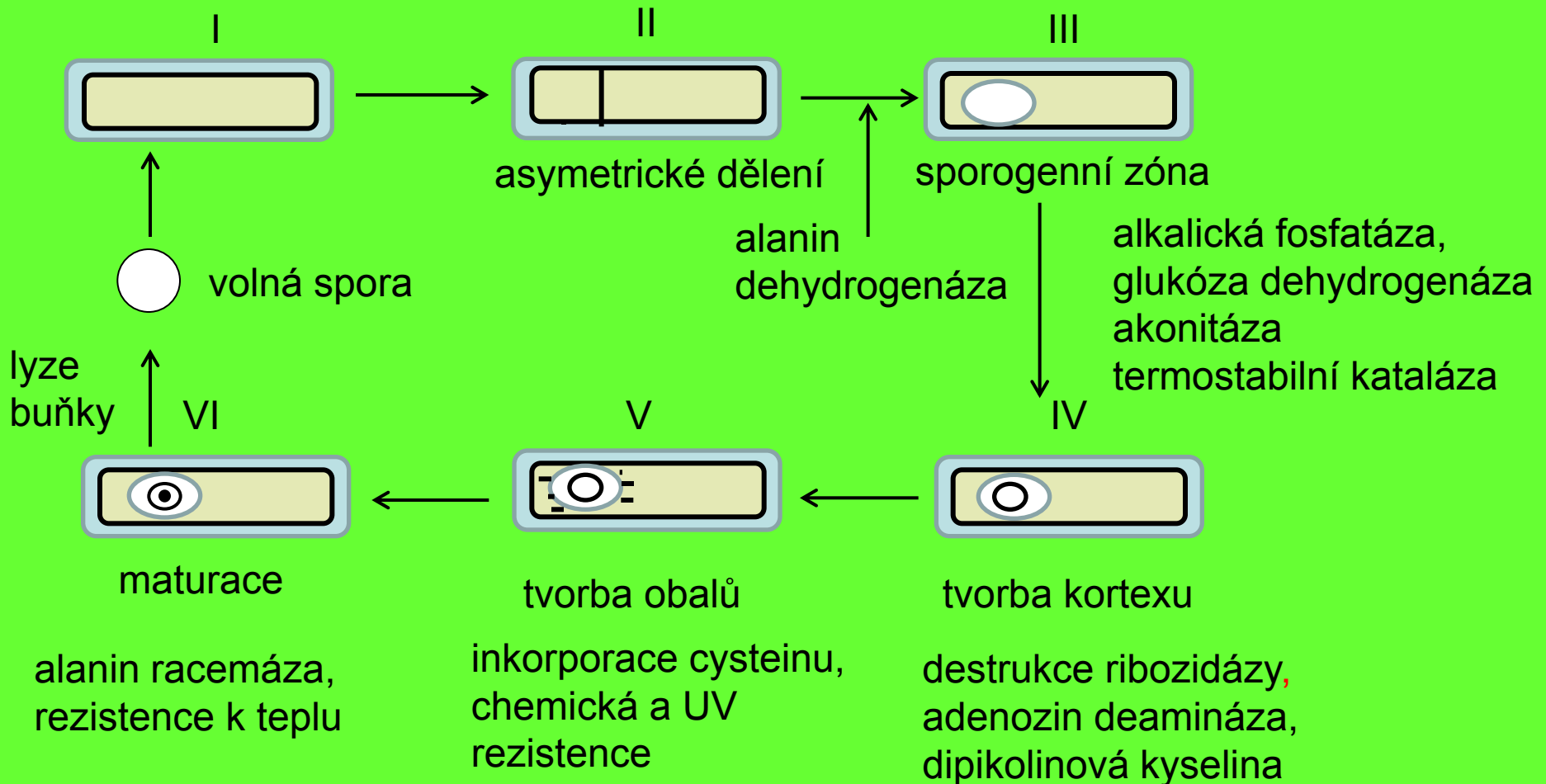


- Endospory u bakterií vznikají procesem sporulace
- **Endospora není reprodukční, ale klidové stadium** umožňující přežít nepříznivé vnější podmínky
- Na procesu sporulace se podílí asi 30 operonů zahrnujících více než 200 genů
- O tom, zda buňka bude sporulovat se rozhoduje ve fázi G1 buněčného cyklu a jde o proces nahodilý
- Spory se vytvářejí v prostředí s dostatkem živin (obvykle však ke konci exponenciální fáze růstu), ale nedostatek některé z živin je významným signálem ke sporulaci

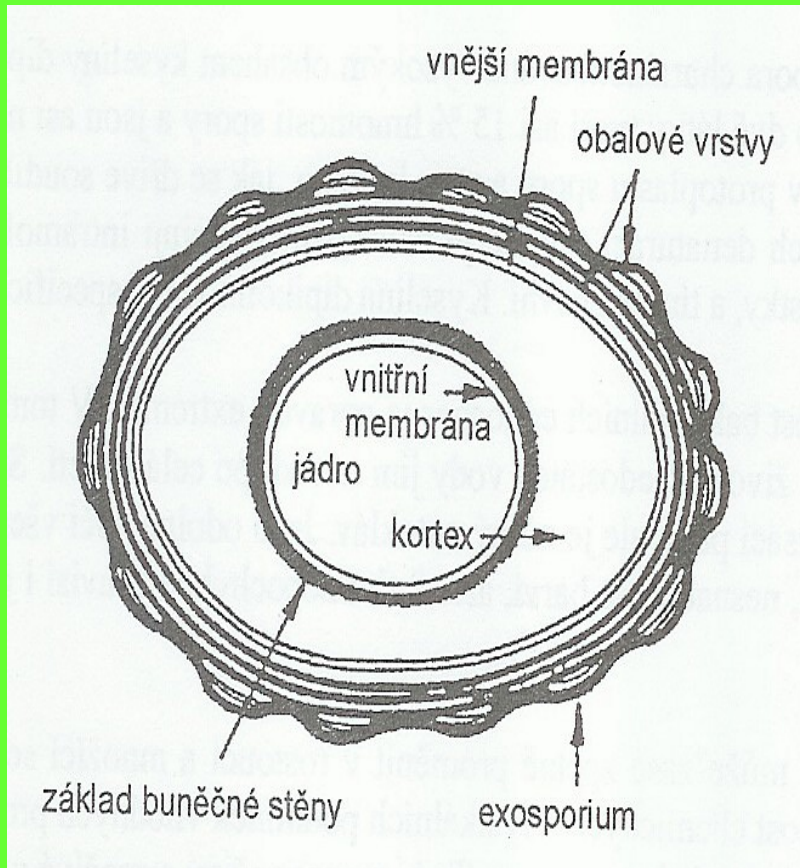
Vytváření endospor u bakterií – proces sporulace



Vytváření endospor u bakterií – proces sporulace



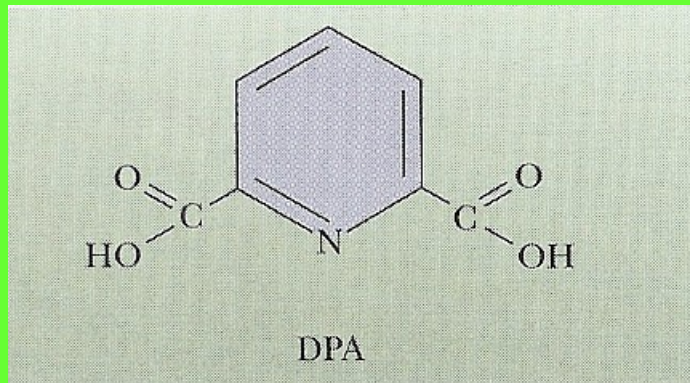
Vytváření endospor u bakterií – proces sporulace (struktura spory)



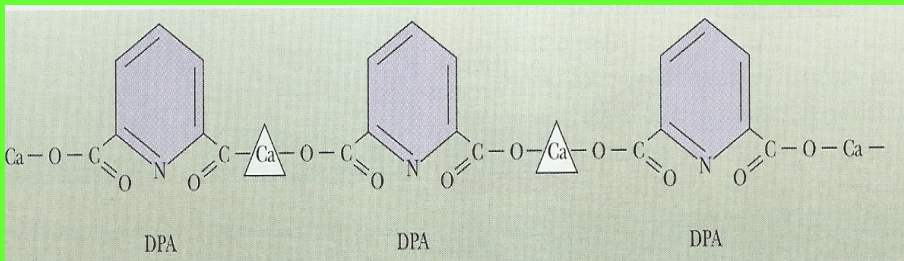
- Vnitřní membrána (**intina** – vzniká z CM)
- Tenká peptidoglykanová vrstva (základ “budoucí“ buněčné stěny)
- **Kortex** (peptidoglykan) – přítomný pouze v bakteriální spoře, je tvořený koncentrickými vrstvami specifického peptidoglykanu. Je zodpovědný za mechanickou ochranu spory
- Vnější membrána (**extina** - vzniká z CM)
- **Obalové vrstvy** tvořené bílkovinou – plášť spory (představuje asi 30-60% sušiny spory). Bílkoviny jsou bohaté na cystein
- **Exosporium** – jemná vrstvička, která se vytváří u některých sporulujících bakterií a je zodpovědná za vnější strukturu spory (bílkovina, polysacharid, lipid, fosfát)
- Přítomnost kyseliny dipikolinové udává termorezistenci spory

Vytváření endospor u bakterií – proces sporulace (vlastnosti spory)

Kyselina dipikolinová



Chelát - kalciumdipikolinát

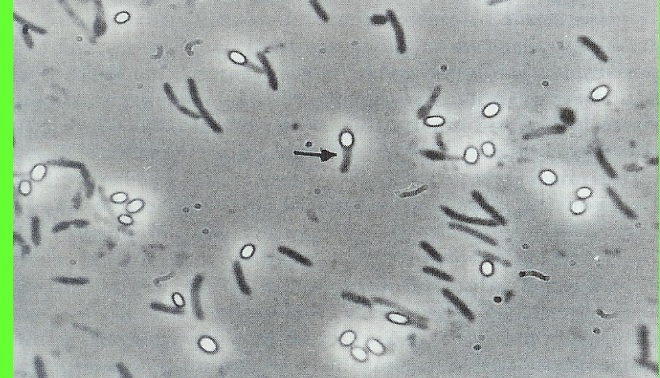


- Spora obsahuje minimální množství vody
- Je silně světlolomná
- Obsahuje kalciumdipikolinát (10 až 20% hmotnosti spory) – molární poměr 1:1
- Vysoká termorezistence
- Vysoká odolnost vůči extrémním faktorům vnějšího prostředí (záření, kyseliny, rozpouštědla, vysoký hydrostatický a osmotický tlak, ...)
- Neměřitelný metabolismus
- Dlouhá doba přežívání (několik desítek let)

Vytváření endospor u bakterií – proces sporulace (umístění spory)



Bacillus subtilis



Klostridium tetani



centrální



subterminální



terminální

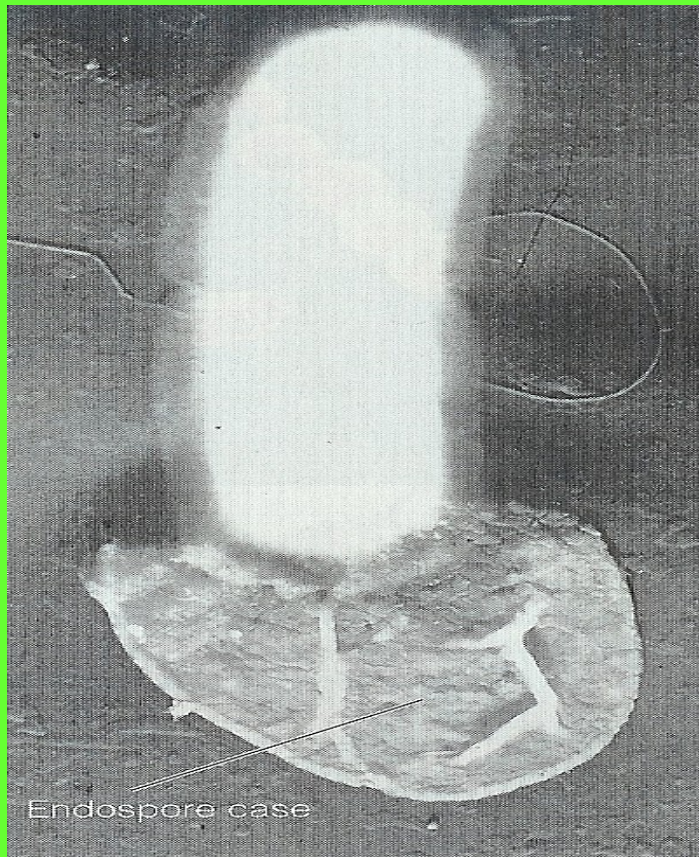


Plektridium

Klíčení bakteriální endospory (germinace)

Proces germinace má **tři** fáze

- **1. Aktivace spory** – spočívá v narušení sporového pláště (mechanický oděr, zvýšená teplota, nízké pH, přítomnost malých molekul – zejména aminokyselin a vitaminů atd.)



Klíčení bakteriální endospory (germinace)

- **2. Vlastní klíčení spory** – vyžaduje přítomnost vody, spouští se chemické impulzy z prostředí, je hydrolyzován kortex, uvolňuje se sporový protoplast, do prostředí se uvolňuje Ca-dipikolinát, do buňky vstupuje voda, K^+ , Mg^{2+} a jiné ionty a větší molekuly. Do media se uvolní více než 30% hmotnosti spory. V průběhu klíčení mizí termorezistence a světlolomnost. Procesy, které probíhají mají degradativní charakter a jsou výsledkem aktivity enzymů přítomných ve spoře. **Nové bílkoviny nevznikají. Celý proces klíčení u jednotlivé spory trvá asi 1 minutu.**
- **3. Diferenciační fáze** – při ní je sporový protoplast kvalitativně přeměněn ve vegetativní buňku. V určitém pořádku jsou přepisovány jednotlivé specifické geny, v určitém pořádku se objevují jednotlivé typy mRNA, probíhá tvorba příslušných bílkovin, probíhá replikace DNA atd. Germinace končí prvním dělením buňky – dceřinné buňky mají stejnou velikost, jako buňka, z níž vznikla spora.

Průběh sporulace *Bacillus thuringiensis*

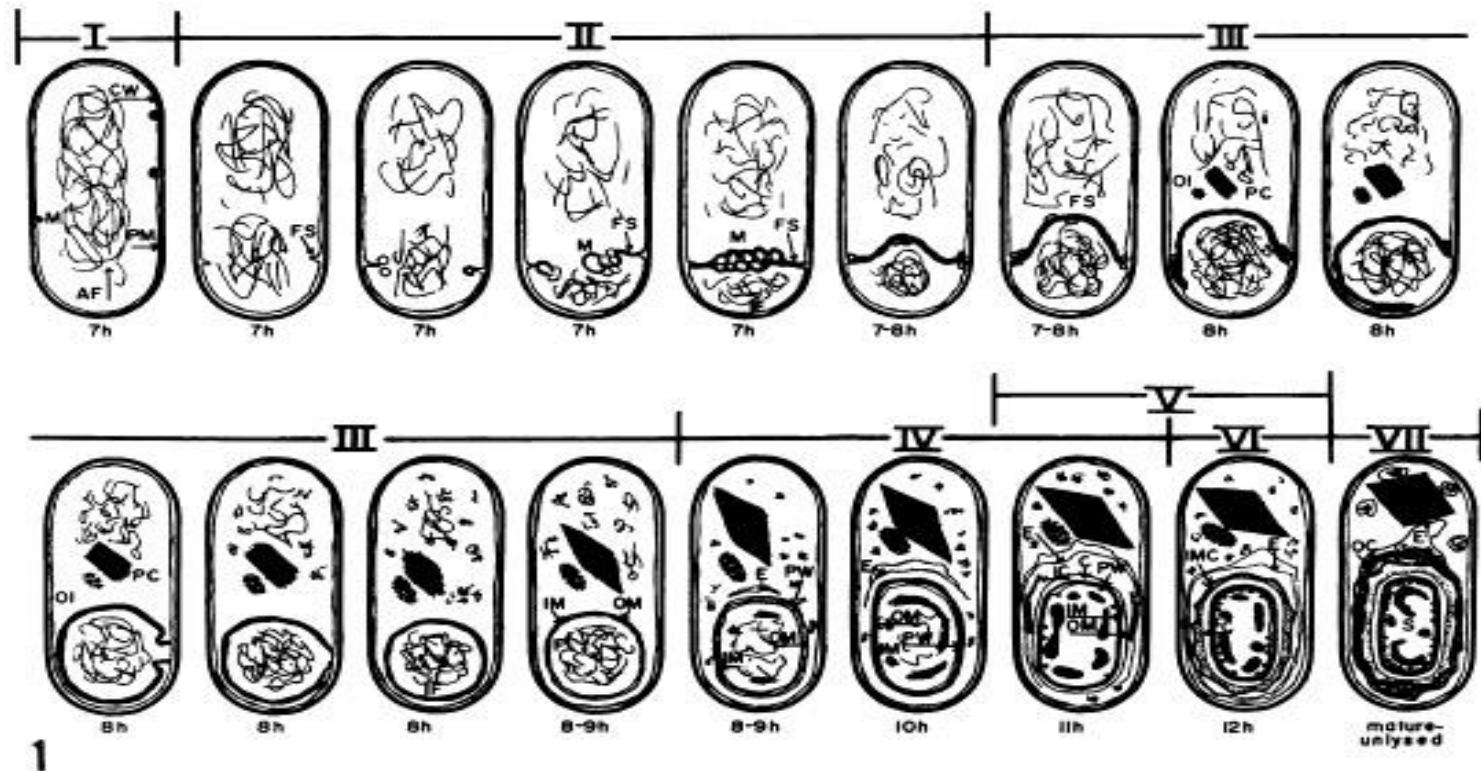
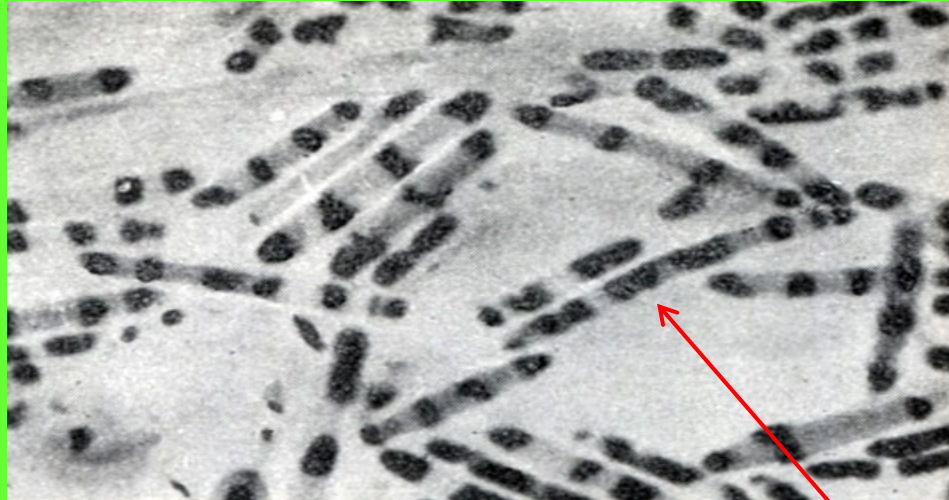
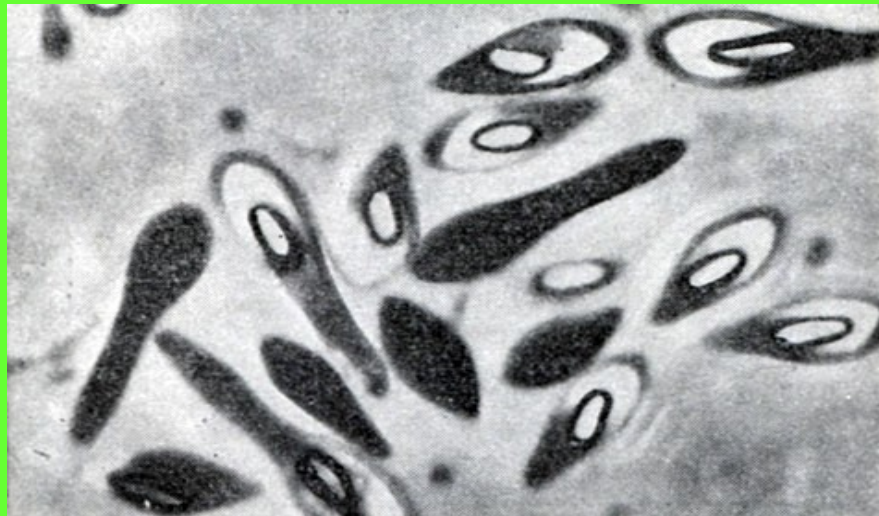


FIG. 1. Diagrammatic scheme of sporulation in *B. thuringiensis*. Abbreviations: M, mesosome; CW, cell wall; PM, plasma membrane; AF, axial filament; FS, forespore septum; IF, incipient forespore; OI, ovoid inclusion; PC, parasporal crystal; F, forespore; IM, inner membrane; OM, outer membrane; PW, primordial cell wall; E, exosporium; LC, lamellar spore coat; OC, outer spore coat; C, cortex; IMC, incorporated mother cell cytoplasm; S, mature spore in an unlysed sporangium.

Endospory u klostridií



Mladé intenzivně se dělí se buňky – dělicí se nukleoidy

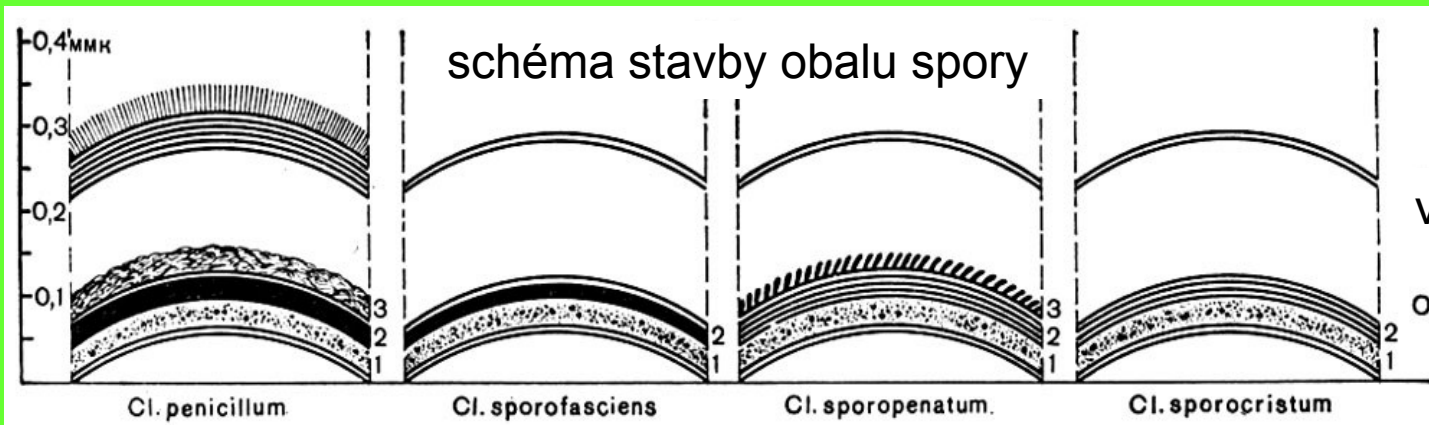


klostridiální typ spory

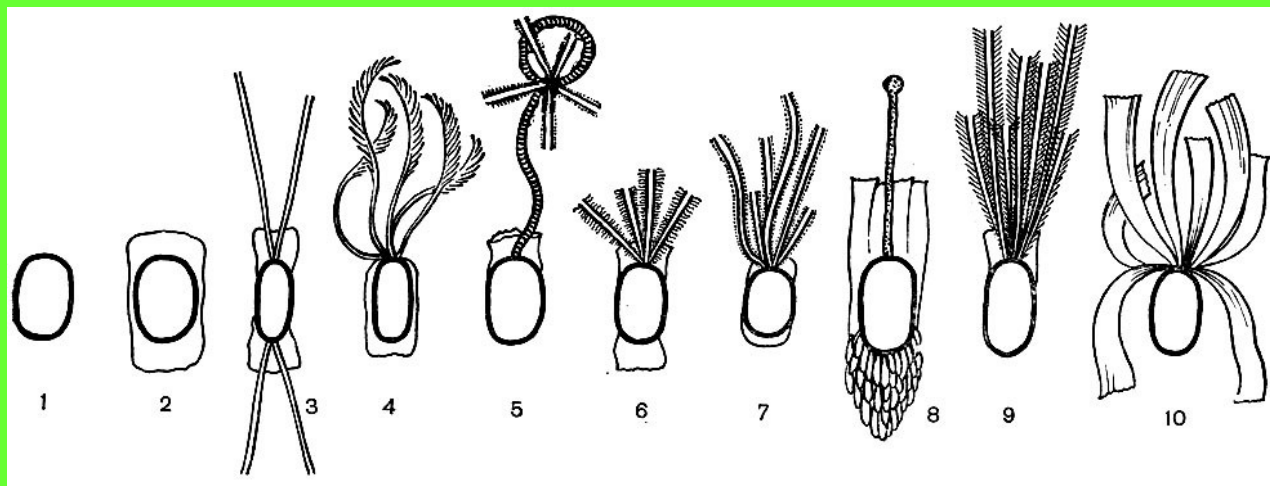


plektridiální typ spory

Endospory u klostridií

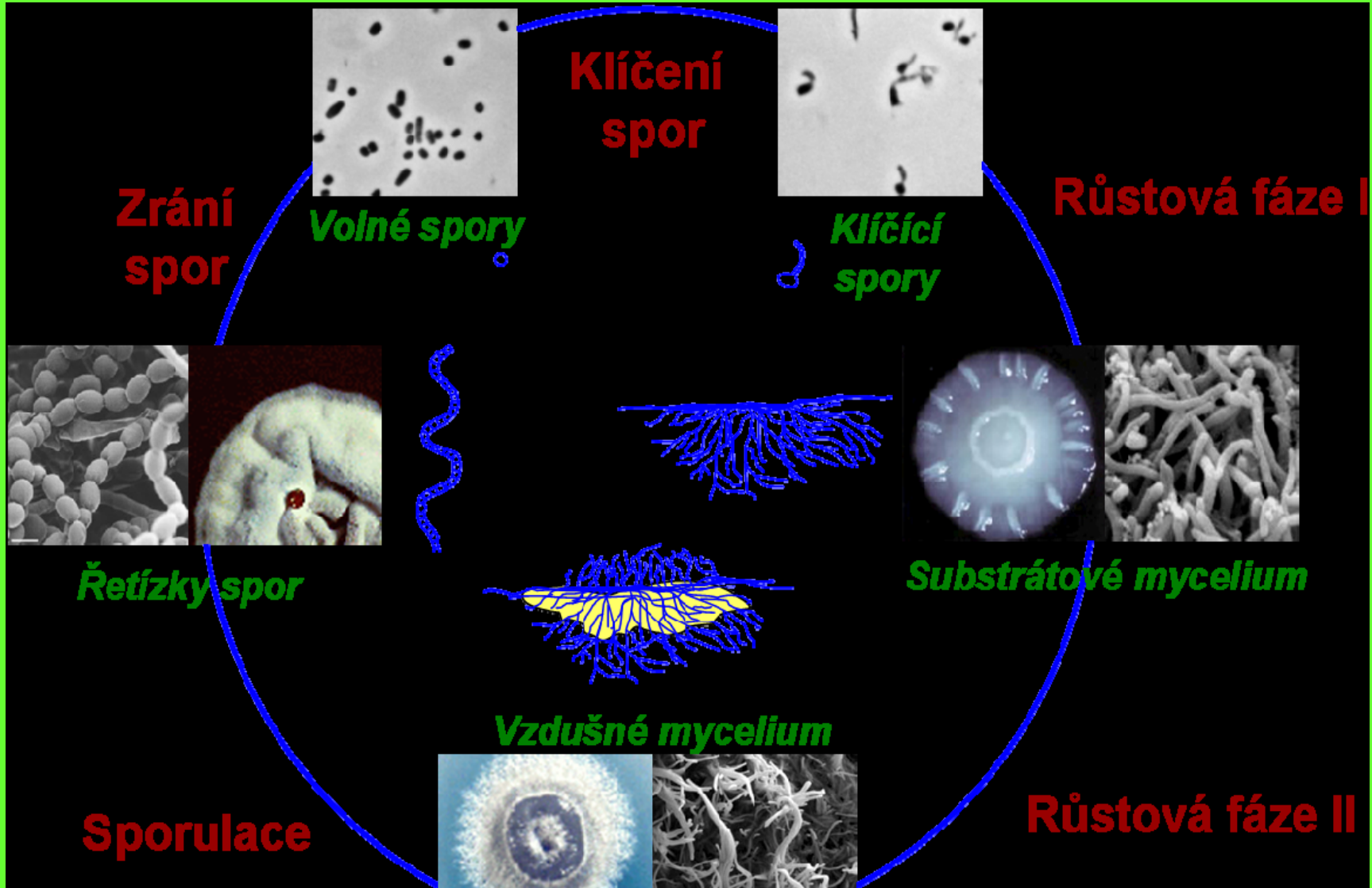


povrchové struktury spory



- 1- *C.felsineum*
- 2- *C.pasteurianum*
- 3- *C.sporopetatum*
- 4- *C.sporosetosum*
- 5- *C.saprogenes*
- 6- *C.sporofaciens*
- 7- *C.sartgoformum*
- 8- *C.corinoformum*
- 9- *C.penicillum*
- 10- *C.taeniosporum*

Sporulace streptomycet



Sporulace streptomycet

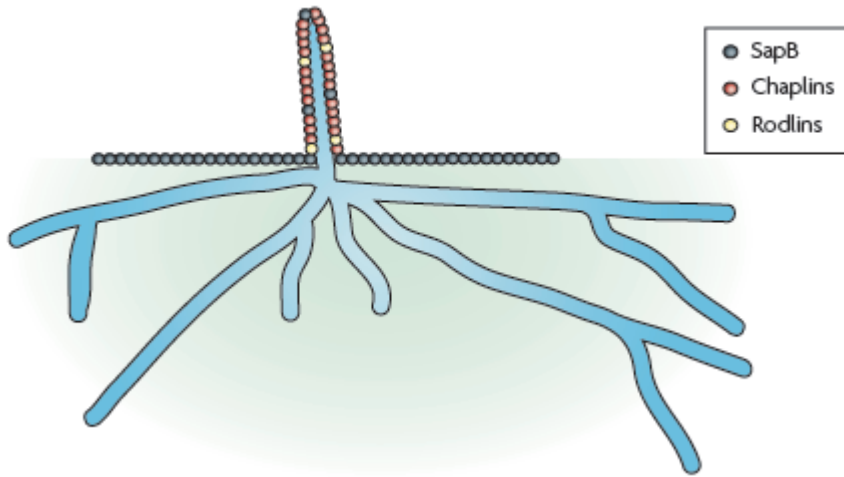


Schéma umístění hydrofobních povrchových proteinů při tvorbě vzdušného mycelia



Vzdušné hyfy rostou ve špičce a v prodloužení nesou apikální sestavy proteinů **DivIVA**. Tvoření apikální sporogenní buňky vede k zastavení růstu. Protein **FtsZ** se sestavuje do šroubovicových vláken, která se přeměňují do pravidelně rozmístěných **Z** prstenců, řídících tvorbu sporových sept. Po dokončení septa, prespory vytvoří silné stěny spor, které vyžadují přítomnost "bakteriálního aktinu" **MreB**. Ten je lokalizovaný nejdříve v místě uzavření septa a potom se objevuje v okolí vznikajících spor. **MreB7** zajišťuje správné sestavení stěny spory

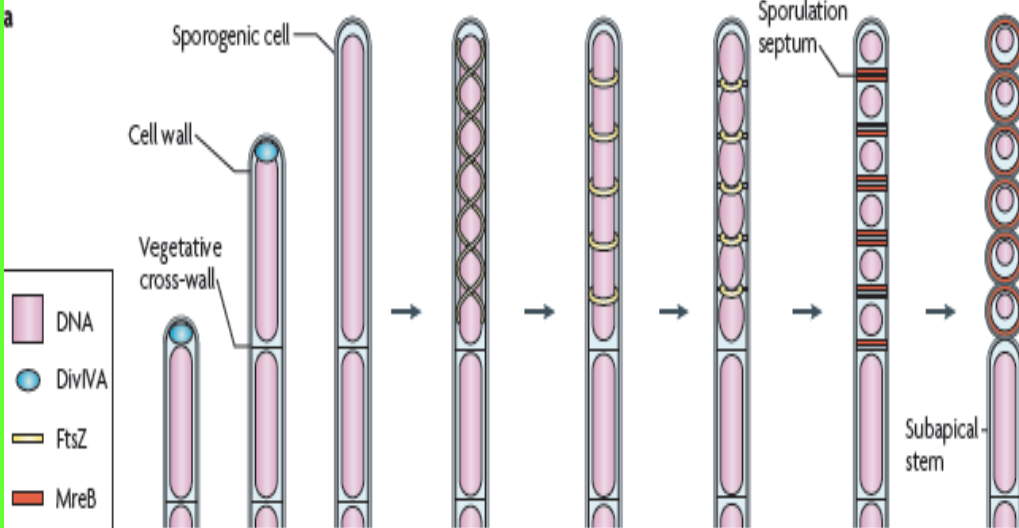


Schéma realizace procesů vedoucích k diferenciaci vzdušných hyf do spor