

# Bakterie

**Bakterie** jsou všudypřítomné *prokaryotní* organismy o velikosti **0,3–10  $\mu\text{m}$** .

## Obecné informace

Bakterie patřily k řetězci vývoje života na Zemi. Vznikly cca **před 3 miliardami let** a ovlivnily jak vývoj prostředí, tak vývoj jiných druhů, neboť infekce jsou významnými faktory selekce. Již bylo popsáno více než **2000 druhů** bakterií. **Nemají** vytvořenou **jadernou membránu** ani **jadérko**. Transkripce i translace probíhají prakticky **současně** v cytoplasmě. Mají nezastupitelnou **úlohu v ekosystémech**:

- degradují organické látky a recyklují živiny (**saprofyté**)
- některé jsou schopné zachytávat vzdušný dusík
- jsou neobyčejně **přízpůsobivé** – vykazují obrovskou diverzitu metabolismu a schopností využívat různé zdroje energie

## Struktura bakterií

### Cytoplazma

**Cytoplazma** prokaryot má obdobné složení jako buněk eukaryotních. Nenacházejí se v ní ale žádné membránové struktury. Bakterie postrádají klasický cytoskelet.

### Ribozomy

Bakteriální ribozomy mají odlišnou stavbu, než ty eukaryotní. Prokaryotní ribozomy jsou menší, než ty eukaryotní a jejich podjednotky mají odlišné složení. Malá podjednotka je tvořena **30 S** (1 RNA, 21 molekul bílkovin) a velká **50 S** (2 RNA, 34 molekul bílkovin). Dohromady mají **70 S**.

Odlišné stavby ribozomů lze využít při léčbě antibiotiky. Mezi taková antibiotika patří například streptomycin, tetracyklin, chloramfenikol, erytromycin atd.

Počet ribozomů je úměrný rychlosti růstu buňky (konstantní rychlost překladu asi 13 aminokyselin za sekundu). V daném okamžiku přítomna v buňce 1 mRNA svého druhu (celkem 1000). Mají krátkou dobu života (několik minut), ale zároveň mají rychlou adaptační odpověď. **Transkripce a translace mohou probíhat zároveň.**

### Plazmidy

Jeden nebo více malých kruhových chromosomů, které nejsou nezbytně nutné k přežití a dělení bakterie, jsou nazývány **plazmidy**. Jsou genetickými endosymbionty. Plazmid má schopnost integrace do chromosomu. V buňce se může nacházet 1–100 plazmidů (plazmidové číslo). Mohou obsahovat geny, které mění vlastnosti bakterie.

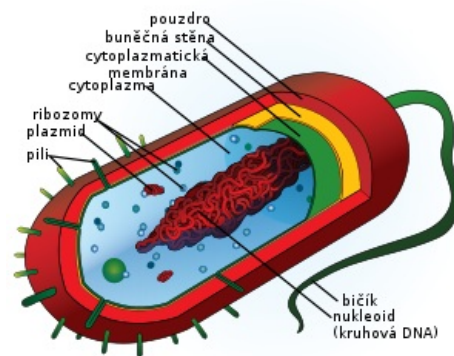
- **Tox** plazmidy – geny pro produkci toxinů.
- **R** plazmidy – rezistentní faktor, geny pro enzymy rozkládající či modifikující ATB.
  - Často součástí transpozonu – bakteriální kmen se může rychle stát nositelem plazmidů mnohočetné rezistence.
  - Často bývají konjugativní – šíření.
- **Col** plazmidy – tvorba bakteriocinů (např. kolicinů) zabíjejících jiné bakterie.
- **F-faktor** – geny pro tvorbu sex-pili, připojení b. F+ k b. F–, E. coli, salmonely.
- Plazmidy **virulence** – tvorba endotoxinu, kolonizačních faktorů.
- **Metabolické** plazmidy.

Buňka není sama schopna plazmid vytvořit – může ho získat:

- **Konjugací** přes fimbrie z jiné bakteriální buňky – šíření rezistence na antibiotika, horizontální přenos genetické informace.
- **Transdukci** – **přes baktriofág**.
- **Transformaci** – **přechod volné DNA z prostředí do buňky (Griffithovy pokusy, důkaz DNA jako nositele genetické informace).**

 Podrobnější informace naleznete na stránce *Parasexuální děje u bakterií*.

### Další funkce a využití



Bakteriální buňka.

Degradace a oxidace toxických látek, rezistence na antibiotika, těžké kovy, produkce antibiotik, toxinů, tvorba restriktivních a modifikačních enzymů. Využívají se pro svou velkou replikační schopnost jako **vektory** v genetickém inženýrství.

## Inkluzní tělíska, granula

- Glykogen,
- kapénky polybetahydroxymáselné kyseliny – specifická zásobní látka pro bakterie,
- polyfosfáty,
- lipidy,
- vakuoly – nadnášení vodních bakterií.

## Spory

V některých bakteriích (*Bacillus*, *Clostridium*) se mohou nacházet spory.

 *Podrobnější informace naleznete na stránce Bakteriální spora.*

## Hlavní kruhovitý chromosom (nukleoid)

 *Podrobnější informace naleznete na stránce Reprodukce bakterií.*

DNA bakterií se nachází volně v cytoplazmě, není obalena membránou, proto nehovoříme o jádře. Je tvořena jedním kruhovým chromosomem. Ten je v tzv. *nukleolární oblasti* a je uchycen v jednom místě k cytoplazmatické membráně (**OriC**). Toto místo je označováno jako **mesosom**.

DNA dvoušroubovice je uzavřena do superhelicity – fyziologická je negativní, tj. více rozvolněná, negativní superhelicitu je udržována enzymy topoizomerázami (I – uvolňuje, II – za spotřeby ATP vytváří). Dvoušroubovice je tvořena cca 3 Mbp o délce asi 1–2 mm (stupeň spiralizace závisí na transkripční aktivitě genů, které leží v daném úseku). Velikost genomu bakterií je druhově specifická, pohybuje se kolem šesti až osmi tisíc genů.

Množství proteinů v okolí chromosomu je nekonstantní a závisí na intenzitě proteosyntézy (jsou to zejména DNA (nukleová kyselina) a RNA polymerázy). Zastoupení RNA v okolí chromosomu závisí na počtu aktuálně transkribovaných genů. Rychlost dělení buňky je závislá na frekvenci iniciací replikací (nová může začít ještě během jiné probíhající).

Při dělení se DNA přichycuje na mesosom. Duplikace DNA podléhá negativní regulaci – vyředění inhibitoru replikace v rostoucím objemu buňky. Při poškození DNA je aktivován SOS regulační systém. V klidové nerostoucí buňce je jen jeden haploidní chromosom, mRNA neupravována – vysoká rychlost transkripce.

## Bakteriální stěna

**Bakteriální stěna** je tvořena několika vrstvami. Protože cytoplazmatická membrána je nezbytnou součástí všech bakterií, ostatní složky bakteriální stěny se mohou a nemusí vyskytovat. Jejich přítomnost může **zvýšovat patogenitu** mikroba.

## Cytoplazmatická membrána

Sestává se z fosfolipidové dvouvrstvy, kterou prostupují transmembránové proteiny a glykoproteiny. Neobsahuje cholesterol a při nižších teplotách je vyšší podíl nenasycených mastných kyselin. Zastává funkce transmembránového transportu, respirační funkce (zastupuje mitochondrie), zakotvuje rotor bakteriálních bičků.

## Buněčná stěna

 *Podrobnější informace naleznete na stránce Buněčná stěna bakterií.*

Hlavními složkami bakteriální stěny jsou **peptidoglykanové polymery (mureiny)**, složené z dlouhých disacharidových a kratších peptidových řetězců, které dohromady tvoří jakousi *mříž*. Stěna zajišťuje **tvar** bakterií a umožňuje jim přežití v **hypotonickém prostředí**.

Na jejím složení záleží, zda se bakterie jeví jako **G+** nebo **G–**.

- Bakterie s lipopolysacharidy a částí proteoglykanů jsou **gramnegativní**.
- Bakterie se stěnou pouze z peptidoglykanů jsou **grampozitivní**.

 *Podrobnější informace naleznete na stránce barvení podle Grama.*

Je přítoma u většiny bakterií, nevyskytuje se u mykoplazmat a **L-forem bakterií**.

Informace o struktuře bakteriální stěny jsou podstatné pro **volbu antibiotik** v léčbě bakteriálních infekcí.

## Pohybové a adhezní organely

Vyskytují se jen u některých bakterií. Jejich stavba a funkce se liší od eukaryotních pohybových organel.

### Funkce adhezních molekul (adhezínů)

- **Adherence** – interakce mezi strukturami na povrchu bakterie.
  - Tkáňový tropismus bakterií, **specifická vazba** na určité struktury na povrchu buňky.
  - Potřeba správné orientace (negativní náboje adhezínů i receptorů).
  - Adherence není charakteristická jen pro patogenní mikroby.
- Tvorba **biofilmu**.
- Znalost chemické struktury receptorů → možnost blokády pro bakterie.

### Extracelulární polymery (glykokalyx)

Extracelulární polymery se vyskytují jen u některých bakterií (např. *E. coli*). Přítomnost může být **rozhodujícím faktorem patogenity** mikroba (*Haemophilus influenzae*). Tvorba je ovlivňována okolním prostředím. Glykokalyx má **polysacharidový** charakter (pneumokoky, klebsielly, hemofily, ...). U *Bacillus anthracis* je tvořeno polypeptidy. Znázorňuje se negativním barvením (**tuš**). Kolonie mají mukózní vzhled.

### Funkce

- **Adherence** (funce adhesinů) – kolonizace hostitele, koagregace bakterií.
- Tvorba **biofilmu**.
- **Vzdorování** fagocytóze.
- **Rezistence** na antibiotika.

### Typy

1. **Pouzdro**
  - Jasně odděleno od okolí, lne pevně k buněčné stěně.
  - Strukturální integrita (dobře kondenzovaný polymer).
  - Antigenní vlastnosti, faktor virulence a invazivity.
2. **Sliz** – volně nasedající amorfní hmota.
3. **S-vrstva** – dlaždicovitý glykoprotein na povrchu buněčné stěny.

### Kapsula

Jen u některých bakterií. Je tvořena polysacharidy. Má ochrannou funkci.

### Fimbrie (pili)

- Umožňují adhezi bakterií na buňky hostitele a k ostatním bakteriím (sex pili).
- Krátká rigidní dutá vlákna, z proteinových podjednotek **pilin**, křehká.
- **Jen u G<sup>-</sup>**, desítky až stovky.
- Funkce **adhezínů** – schopnost kolonizace hostitele.
- Vazba na membránové glykoproteiny a glykolipidy.
- Velmi **četné**, na povrchu většinou rovnoměrně.
- Tvorba fimbrií často koordinována s tvorbou jiných nástrojů patogenity (toxiny).
- Vysoká specifita, pro každý druh bakterie typická.
- Velmi křehké – neustálá tvorba nových fimbrií – faktor virulence – **změna antigenního složení pilinu**, únik před protilátkami IgA (protiadherenční).
- Adherence manózasenzitivní a manózareizistentní (podle možnosti inhibice D-manózou).
- *E. coli* (P-fimbrie – pyelonefritida), *N. gonorrhoeae*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Bacteroides*, *Vibrio*.

1. **Sex fimbrie**
  - Širší a delší než obyčejná fimbrie.
  - Kódováno tzv. fertilním plazmidem.
  - Přenos DNA mezi bakteriemi (**konjugace**).
2. **Curli**
  - Shluky štíhlých a zprohýbaných vláček.
  - Na povrchu některých **escherichií a salmonel**.
  - Vazba sérových bílkovin (**sepse**).

### Nefimbriální adheziny

- **Protein F** (váže fibronektin, *Str. pyogenes*).
- Mohou působit též jako hemaglutininy (yersinie, bordetely, mykoplasmata).

### Bičíky

- Jsou tvořeny proteinem **flagelinem**, mají jednodušší stavbu než u eukaryot. Pohyb bakterie je vyvolán jejich rotací, kterou způsobuje prstenec proteinů v plazmatické membráně kolem úponu bičíku → prstenec reaguje změnou konformace na změnu gradientu H<sup>+</sup> iontů.
- Delší než celá buňka – až 20 μm, tloušťka 20–30 nm.

- 3 části – vlákno, háček a bazální část:
  1. **Vlákno** z flagelinu (duté, globulární bílkovina, druhově specifické).
  2. Háček (**kolénko**) – zpevnění a připojení k bazálnímu tělísku, o 90°.
  3. **Bazální tělísko** – zakotvení prstenci do stěny (stator) a cytoplazmatické membrány (rotor), liší se u G+ a G– (rozdílná stavba buněčné stěny).

### Rozdělení bakterií podle bičíků

1. Monotricha – jeden na pólu – *Vibrium*.
  2. Lophotricha – svazek na jednom pólu – *Pseudomonas fluorescens*.
  3. Amfitricha – svazky na obou pólech – *Spirillum minus*.
  4. Peritricha – bičíky po celém povrchu – většina (*Proteus*, *Escherichia*).
- Znázornění **stříbřením**, nepřímý průkaz detekcí pohybu.
  - **Axiální vlákna** – stavba analogická s bičíkem, ale umístěna pod povrchem buněk – pohyb **spirochet**.
  - Spirochety se pohybují změnou svého tvaru. Myxobakterie se pohybují pomocí produkovaného sekretu.

## Reprodukce bakterií

Bakterie se množí pomocí **nepohlavního dělení** velmi rychle. Délka jednoho reprodukčního cyklu je 20–150 min (čím příznivější podmínky, tím je cyklus kratší). Množení je regulováno množstvím živin a koncentrací produktů bakteriálního metabolismu. Nepohlavní dělení začíná prodlužováním buňky a replikací kruhového chromosomu bakterie. Replikace je zahájena v místě **OriC** – místo připojení chromosomu na plazmatickou membránu. Genetická shoda klonů (dceřiných buněk) je přitom omezená náhodnými mutacemi. Tvorba nového úseku membrány mezi těmito dvěma úpony posunuje nově vzniklé dceřiné chromosomy od sebe. Může tedy nastat situace, kdy se buňky vzdálí dostatečně a vytvoří se septum nebo se obě dceřiné buňky od sebe oddělí – tzv. přehrádečné dělení.

### Replikace bakteriální DNA

Probíhá oběma směry proti sobě, je semikonzervativní. Syntézu i opravy řídí **DNA-polymeráza**. **Vedoucí řetězec** vede od 5' k 3' konci, syntéza kontinuálně. **Zaostávající vlákno** – syntéza **Okazakiho fragmentů** – spojovány ligázou. Enzymy zapojené do replikace bakteriální DNA jsou:

- helikázy – rozplétání;
- topoisomerázy – uvolňují napětí ve vznikající DNA;
- gyrázy – odstranění nadbytečných závitů.

## Exprese genu

### Transkripce do RNA

DNA-dependentní RNA-polymeráza nasedá na promotor sigma faktorem.

### Translace

Ribozomy jsou menší a strukturálně odlišné od ribozomů eukaryot (antibiotika účinkují selektivně jen na bakterie), tudíž je translace velmi rychlá – ribozomy se připojují hned na ještě nehotovou mRNA.

### Kontrola genové exprese

Bakterie mají schopnost adaptovat se na změnu prostředí (vniknutí do hostitele), což je dvoustupňový proces – senzor > aktivátor / represor.

 *Podrobnější informace naleznete na stránce Regulace genové exprese u prokaryot.*

## Mutace

Bakteriální mutace jsou bodové nebo větší změny – delece, inverze, inserce. Mnohé mutace vedou k přerušení metabolické dráhy – **auxotrof** (nevyroste na kultivačním médiu, kde chybí onen produkt). Je zde i **možnost vzniku výhodných znaků** – schopnost odolat bakteriofágům, chemikáliím či ATB. Mutace rozdělujeme na mutace spontánní a indukované

- analogy bází, alkylační činidla, interkalační agens;
- **Amesův test mutagenity** – čím více auxotrofních kmenů zpětně mutuje – tím více jich na médiu vyroste – tím je médium mutagennější.

## Plazmidy

Jsou to malé, cirkulární molekuly DNA **nezávislé** na bakteriálním chromozomu se samostatnou replikací. Nesou několik desítek genů, které nejsou pro bakterii nezbytné:

- **episomový plasmid** – může existovat i integrovaný do chromosomu;
- **konjugativní plasmid** – geny pro tvorbu pilů, během konjugace dokážou přenášet své kopie do jiných

bakterií.

 Podrobnější informace naleznete na stránkách *Struktura bakterií, Konjugace*.

## Rekombinace

Rekombinace je přerušení a opětovné spojení DNA s výměnou jejích segmentů. Může být:

### 1. Heterologní

Dochází k vnesení nových genů a vzájemné výměně mezi párem homologních sekvencí DNA. Rozlišujeme zde transpozony, integrony.

#### Transpozony

Přesouvání uvnitř genomu i z plazmidu na chromosom, označujeme jako „skákavé geny“. Přesunem transpozonů se mohou spouštět a vypínat určité geny. Od viru se liší tím, že postrádají reprodukční cyklus, od plazmidu neschopností samostatné replikace a existence mimo chromosom. Po včlenění – mutace, může nést stop-kodóny, terminační sekvence, promotory.

- inzerční sekvence – nejjednodušší typ transpozonu, nese jen gen pro trasposázu a obráceně orientované sekvence na konci (inverted repeats);
- složené transpozony – alespoň jeden gen navíc oproti IS, (geny pro faktory virulence, pro rezistenci na ATB).

### 2. Homologní

Některé bakterie mění své vlastnosti přeskupením vlastních genů. Rozlišujeme poté místní inverzi a genovou konverzi, např. u gonokoků (*Neisseria gonorrhoeae*), kdy dochází ke změně antigenního složení a vzniku nových sérotypů. Existuje řada genů pro antigeny, jen jeden je funkční a ostatní defektní – množení a přeskupení genů → funkční gen se stává defektní a nějaký z defektních zase funkční.

## Mezibakteriální výměna genetické informace

1. Konjugace
2. Transformace
3. Transdukce

 Podrobnější informace naleznete na stránce *Parasexuální děje u bakterií*.

## Tvar bakterií

- **kulatý** (koky)
- **tyčinkovitý** (vibria, spirily, spirochety)

## Druhy bakterií a způsob jejich života

Bakterie jsou vybaveny četnými **chemoreceptory** → reagují *pohybem* (pozitivně / negativně) na:

- koncentraci kyslíku
- osvětlení
- chemické látky (např. glukózu)
- přítomnost svých vlastních produktů metabolismu

Bakterie jsou **vysoce adaptabilní**.

### Heterotrofní bakterie

Uplatňují se jako **dekompozitoři** v procesu recyklace látek v přírodě. Živí se produkty rozpadu a mrtvou organickou hmotou. Jako paraziti mohou vyvolávat infekční onemocnění rostlin a živočichů.

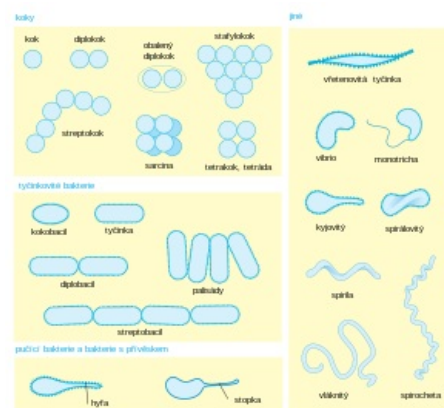
### Autotrofní bakterie

Jsou schopné získávat energii **fotosyntézou** nebo **oxidací anorganických látek**. **Enzymatická výbava** bakterií je různorodá – odpovídá prostředí, na které se svým vývojem adaptovaly.

### Prototrofní bakterie

Jsou schopné žít na minimální půdě a **syntetizovat si všechny látky** potřebné pro život.

### Auxotrofní bakterie



Různé tvary bakterií.

Biochemické ztrátové mutace způsobí, že bakterie jsou schopné růst pouze v prostředí, které obsahuje látku, kterou **nejsou schopné syntetizovat**.

Dle potřeby **kyslíku** dělíme bakterie na:

- **aerobní bakterie:** potřebují pro svůj metabolismus kyslík
- **anaerobní bakterie:** neschopné přežít v přítomnosti kyslíku. Ohrožují proto pacienty s poruchami prokrvení tkání, např. po úrazech.
- **fakultativně anaerobní:** bakterie schopné žít v aerobním i anaerobním prostředí
- **kapnofilní, mikroaerofilní bakterie:** nejlépe rostou v prostředí se zvýšeným obsahem CO<sub>2</sub>

## Význam bakterií v medicíně

**E. coli** je tyčinkovitá bakterie, která se pohybuje za pomoci bičíků. Je součástí střevní mikroflóry všech teplokrevných živočichů. Své místo má v tlustém střevě a dolní části tenkého střeva. Jako součást střevní mikroflóry je člověku prospěšná. Produkuje řadu látek, které brání rozšiřování patogenních bakterií. Kromě toho se podílí na tvorbě některých vitamínů. Člověk je touto bakterií kolonizován už od narození.

Tato bakterie má **významnou** roli při **produkci insulínu**. (Dříve se k léčbě používal insulín získávaný z jatečných prasat. Z důvodu vyskytujících se alergických reakcí se přešlo na produkci insulínu pomocí geneticky modifikované bakterie E. coli.) Kromě toho se používá při přípravě lidského **růstového hormonu, vakcíny proti lymské borelióze, produkci aminokyselin, hormonů parathormonu a kalcitoninu**. Probiotických kmenů E. coli se může použít k léčbě infekci způsobenou adherentní invazní E. coli a při léčbě Crohnovi choroby.

V **genovém inženýrství** nám bakterie mohou posloužit díky tomu, že obsahují malé množství DNA – plazmidy. Plazmidy z bakterie izolujeme, napojíme na ně části DNA z chromozomů živočichů a rostlin a použijeme k produkci bílkovin, které bakterie samy nejsou schopny produkovat. Takto lze například pomocí bakterií nasyntetizovat inzulin a další důležité látky. V zahraničí tímto způsobem průmyslově vyrábějí inzulin a růstový hormon.

## Odkazy

### Související články

- Struktura bakterií
- Reprodukce bakterií
- Parasexuální děje u bakterií
- Prokaryota
- Regulace genové exprese u prokaryot

### Externí odkazy

- Bakterie (česká wikipedie)
- Bacteria (anglická wikipedie)

### Zdroj

- ŠTEFÁNEK, Jiří. *Medicína, nemoci, studium na 1. LF UK* [online]. [cit. 11. 2. 2010]. <<https://www.stefajir.cz/>>.

### Reference