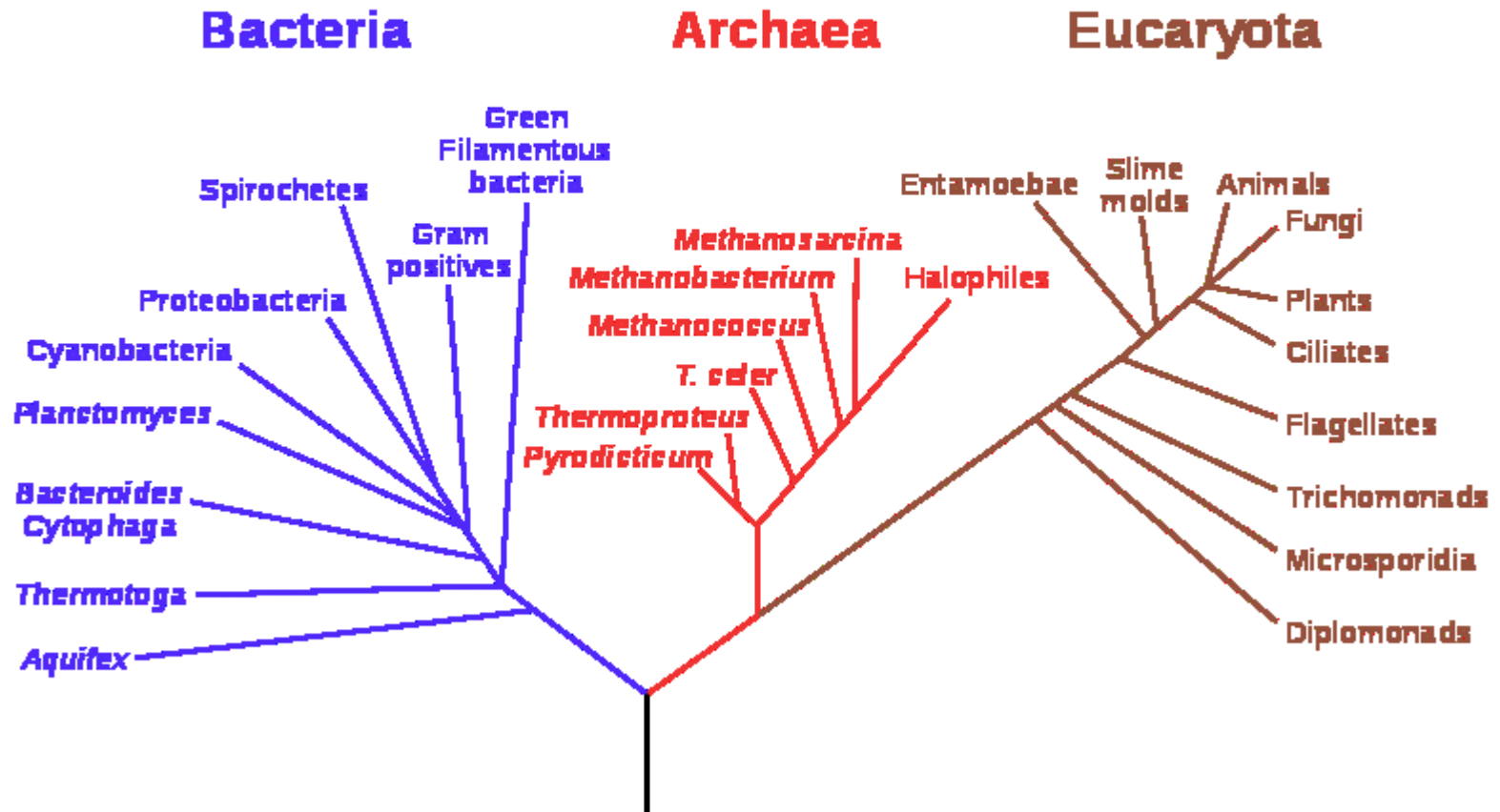




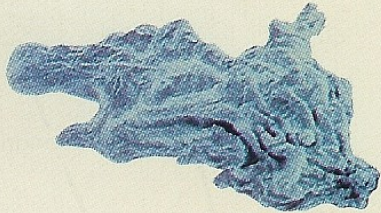
Archea

Phylogenetic Tree of Life



Tři domény

Srovnání některých znaků Archaea, bakterií a eukaryot

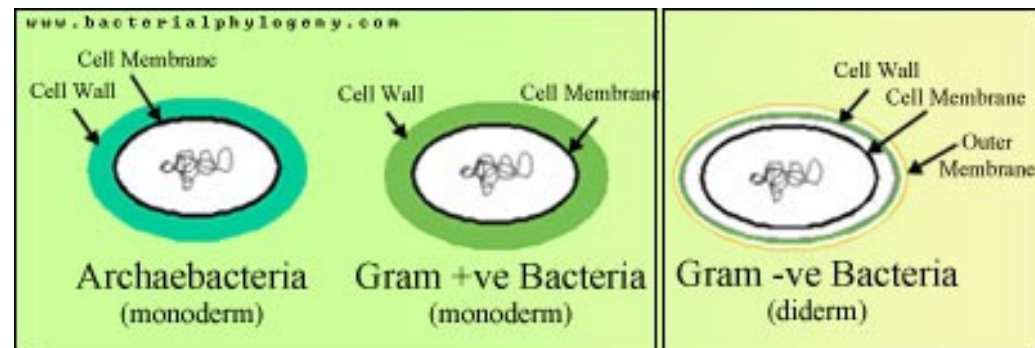
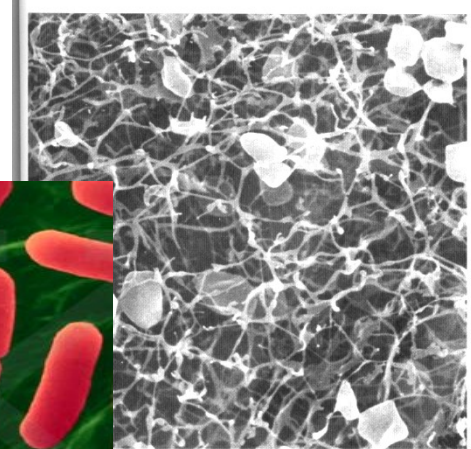
	Archaea	Bacteria	Eukaryotes
	 <p><i>Methanosarcina</i></p> <p>SEM 10 μm</p>	 <p><i>E. coli</i></p> <p>SEM 1 μm</p>	 <p><i>Amoeba</i></p> <p>SEM 1 μm</p>
Cell Type	Prokaryotic	Prokaryotic	Eukaryotic
Cell Wall	Varies in composition; contains no peptidoglycan	Contains peptidoglycan	Varies in composition; contains carbohydrates
Membrane Lipids	Composed of branched carbon chains attached to glycerol by <u>ether</u> linkage	Composed of straight carbon chains attached to glycerol by <u>ester</u> linkage	Composed of straight carbon chains attached to glycerol by <u>ester</u> 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

*Binds to ribosomal protein; found in all bacteria.

**A sequence of bases on tRNA found in all eukaryotes and bacteria: guanine-thymine-pseudouridine-cytosine-guanine.

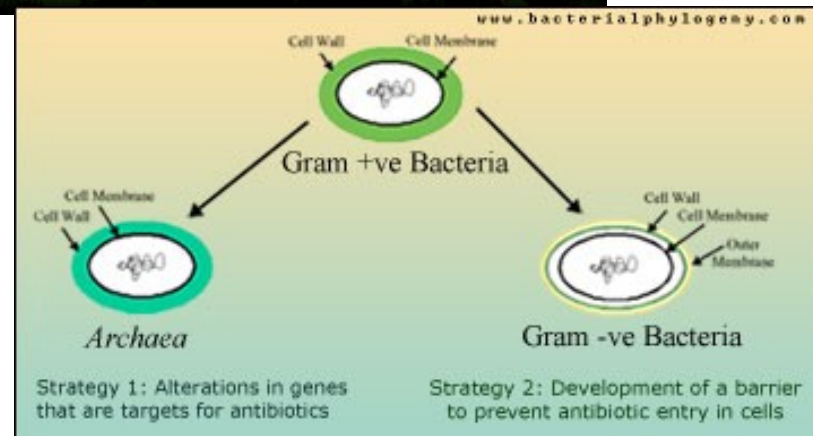
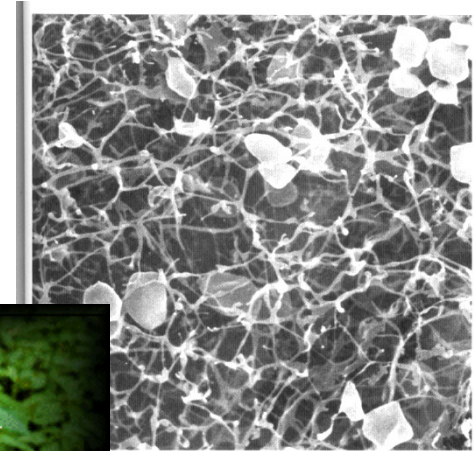
Společné vlastnosti *Archaea* a *Bacteria*

- Prokaryotní stavba
- Malá velikost buněk (mikrometry)
- Jeden kruhový chromozom
- Dělení buněk
- Ribozomy 70S
- Zásobní látky podobné jako u bakterií
- Fixace molekulárního dusíku
- Bičík – podobná funkce, ale složení a původ se liší
- 63% genů jako u bakterií (tentýž poměr mezi bakteriemi)
- Nejvíce rozdílů v replikaci DNA transkripci a translaci

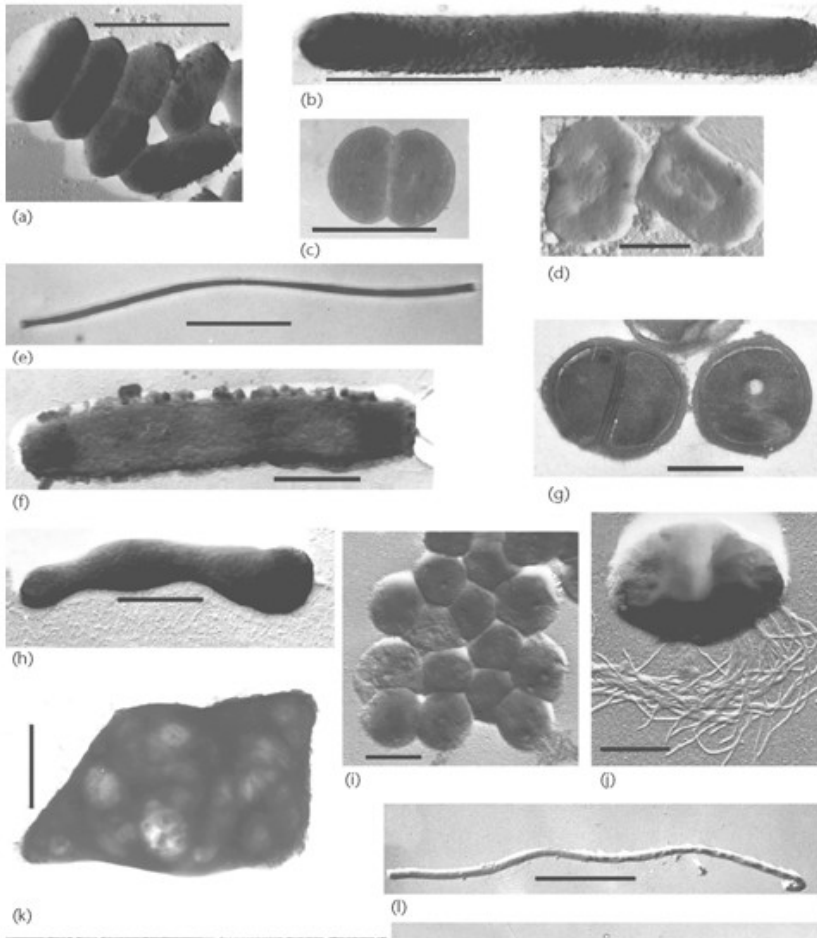


Společné vlastnosti *Archaea* a *Eukarya*

- Stavba RNA polymerázy
- Homologie ribozomálních proteinů
- Účinek antibiotik na proteosyntézu
- Met místo fMet na počátku proteinu (*N-Formylmethionine*)
- DNA vazebné proteiny homologické s histony



Morfologie buněk *Archaea*



a/ *Methanobacterium*

b/ *Methanosphaera*

c/ *Methanoplanus*

d/ *Methanospirillum*

e/ *Halobacterium*

f/ *Halococcus*

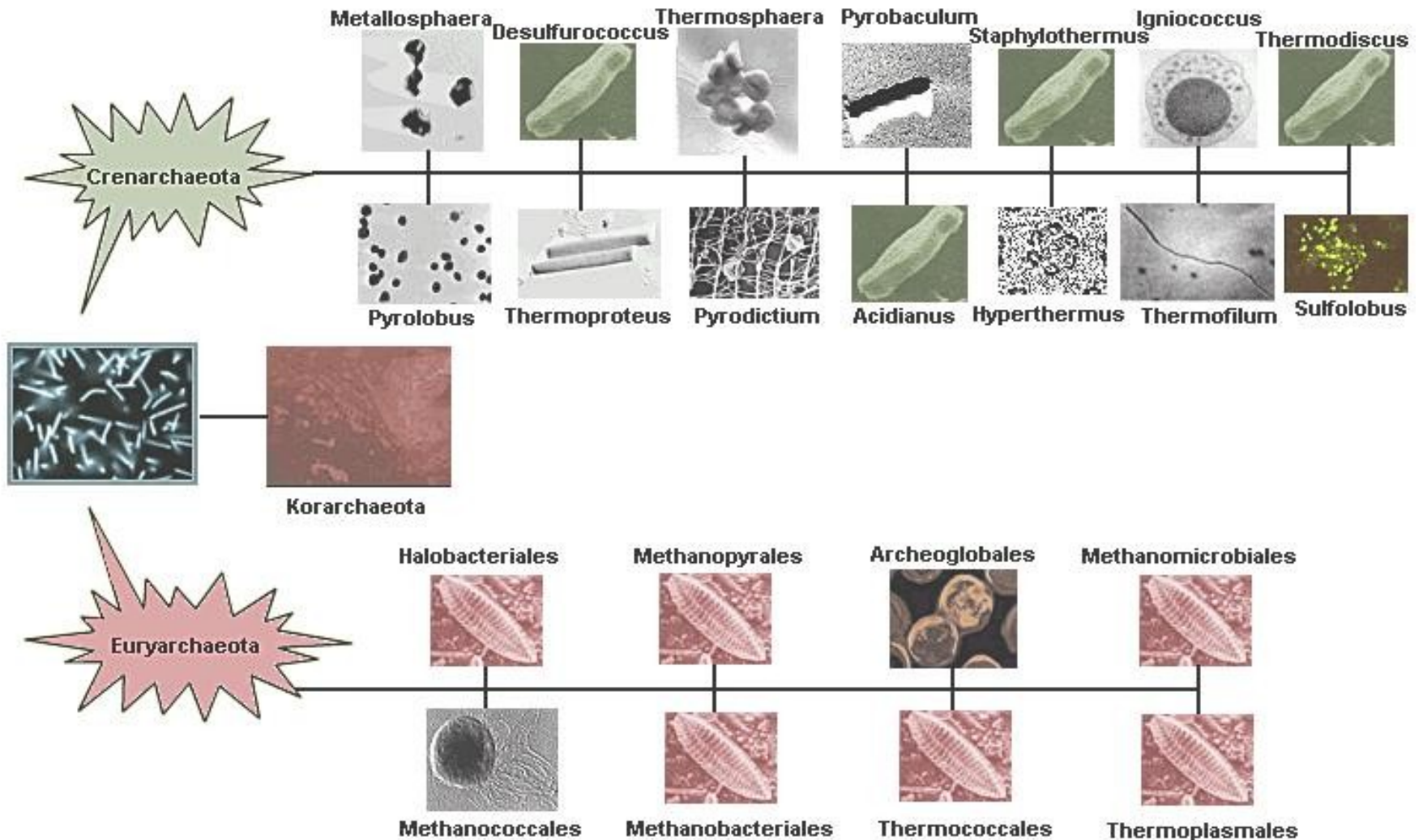
g/ *Thermoplasma*

h/ *Methanolobus*

i/ *Pyrococcus*

j/ *Haloferax*

Morfologie buněk *Archaea*



Základní struktura buňky *Archaea*

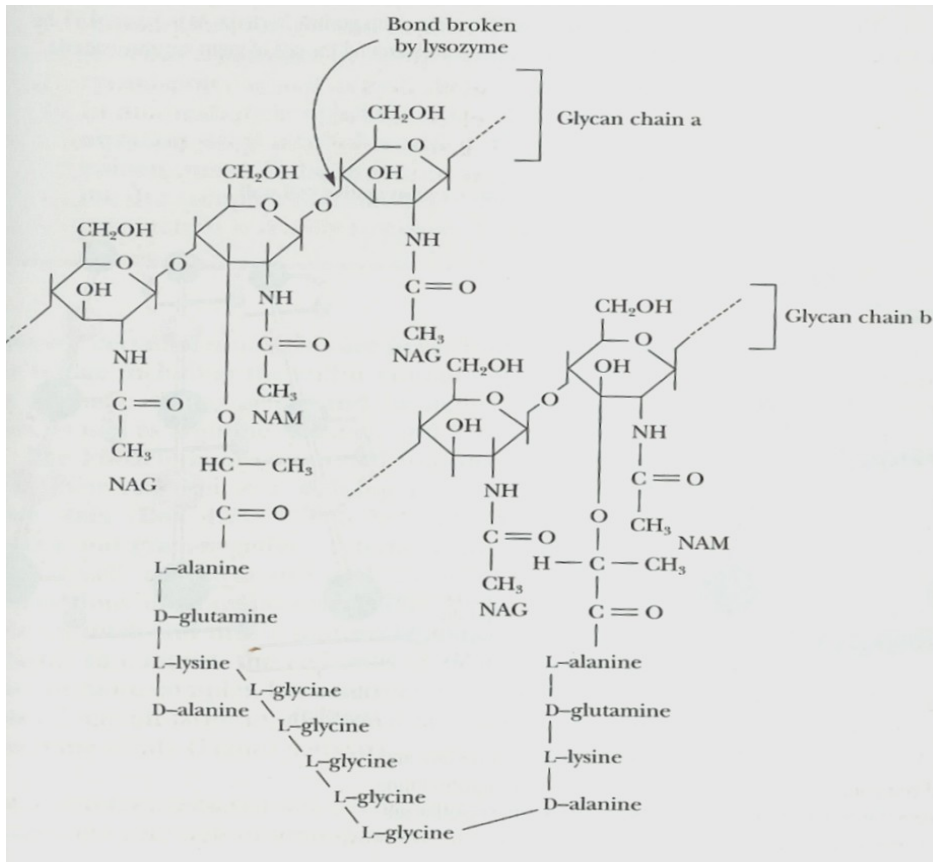
- Buněčná stěna
- Cytoplazmatická membrána
- Základní cytoplazma

<http://www.ucmp.berkeley.edu/archaea/archaeamm.html>

Buněčná stěna *Archaea*

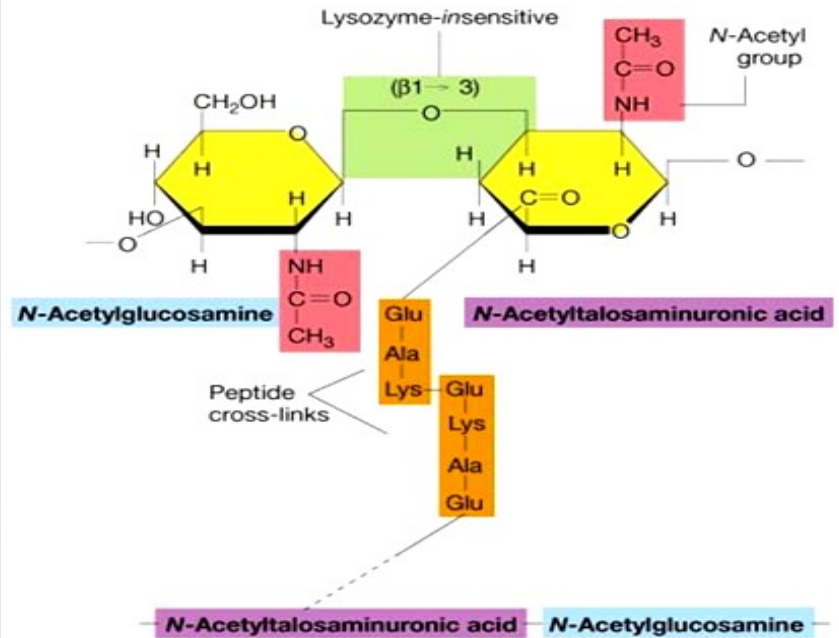
- Buněčná stěna má rozmanité chemické složení
- Není nikdy přítomný peptidoglykan jako u eubakterií
- *Methanobacterium* sp. obsahuje v buněčné stěně glykany a peptidy :
 - Glykany:
 - N-acetyltalosaminuronová kyselinu (NAM) a N-acetyl glukózamin (NAG)
 - NAM a NAG jsou spojeny **beta 1, 3 glykozidickou vazbou**
 - **Nejsou citlivé** na působení lysozymu
 - Peptidy:
 - Krátké peptidické řetězce jsou připojeny k NAM
 - Aminokyseliny jsou **pouze typu L**
 - **Penicilin nepůsobí** na syntézu buněčné stěny *Methanosarcina* sp. , obsahují sulfátované polysacharidy
- *Halococcus* sp. obsahují sulfátované polysacharidy
- *Halobacterium* sp. obsahuje v buněčné stěně negativně nabitě kyselé aminokyseliny, umožňující růst až do koncentrace 15% NaCl
- *Methanomicrobium* sp. & *Methanococcus* sp. mají buněčnou stěnu tvořenu **pouze bílkovinnými podjednotkami**
- **Některé archea buněčnou stěnu nemají** (např. *Thermoplasma*)

Bakterie



beta-1,4 glykosidická vazba

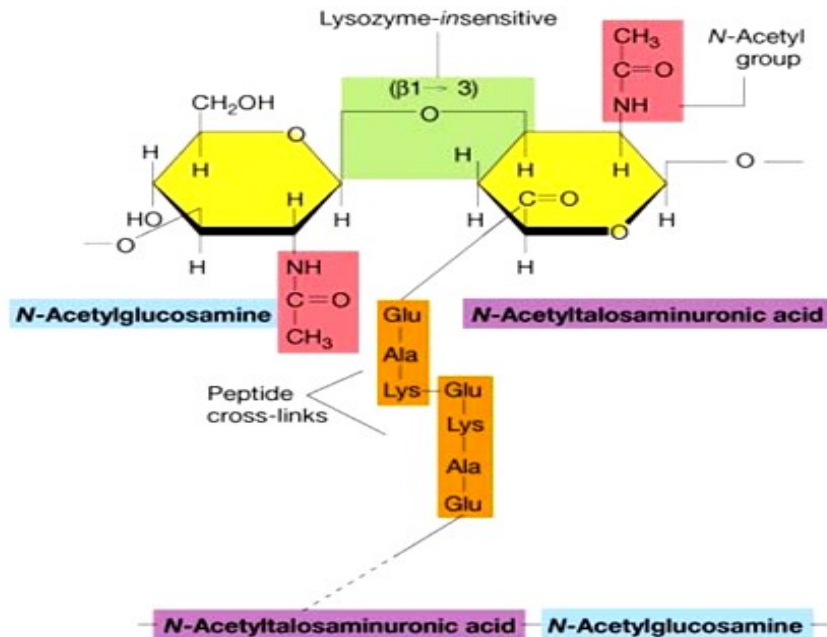
Archaea



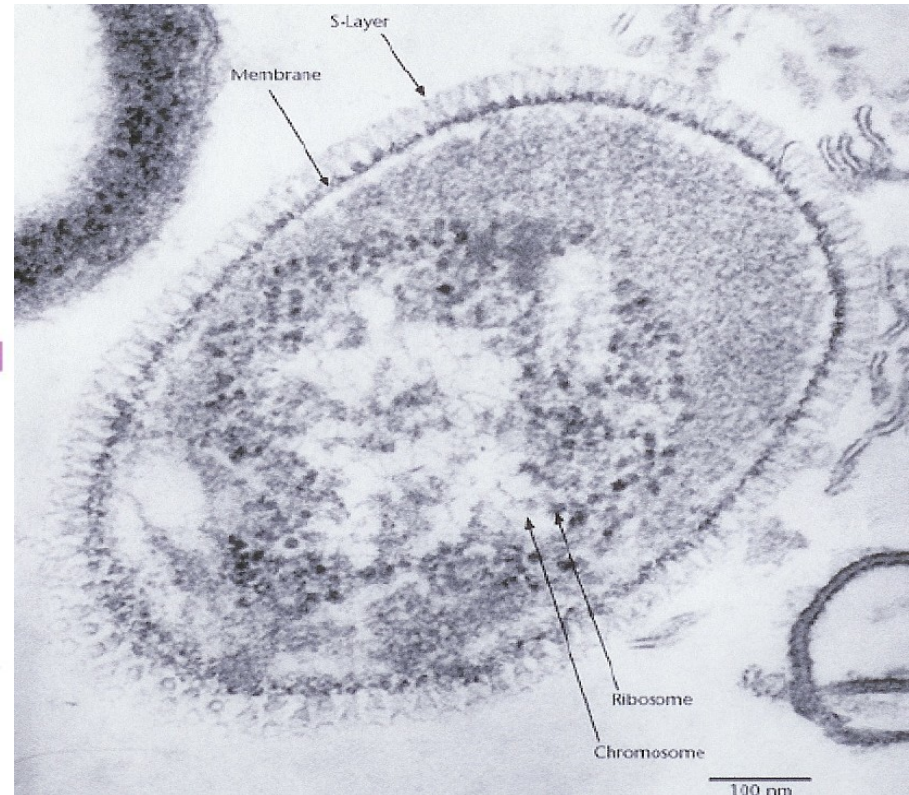
beta-1,3 glykosidická vazba

Buněčná stěna

“Pseudopeptidoglykan“
(Methanobacteriales)



Někdy S-vrstva (proteiny) jako
jediná komponenta buněčné stěny



postrádá D-amino acids a N-acetylmuramic acid

S-vrstva

Funkce : není jasně určena - různá

Složení : krystalické proteiny

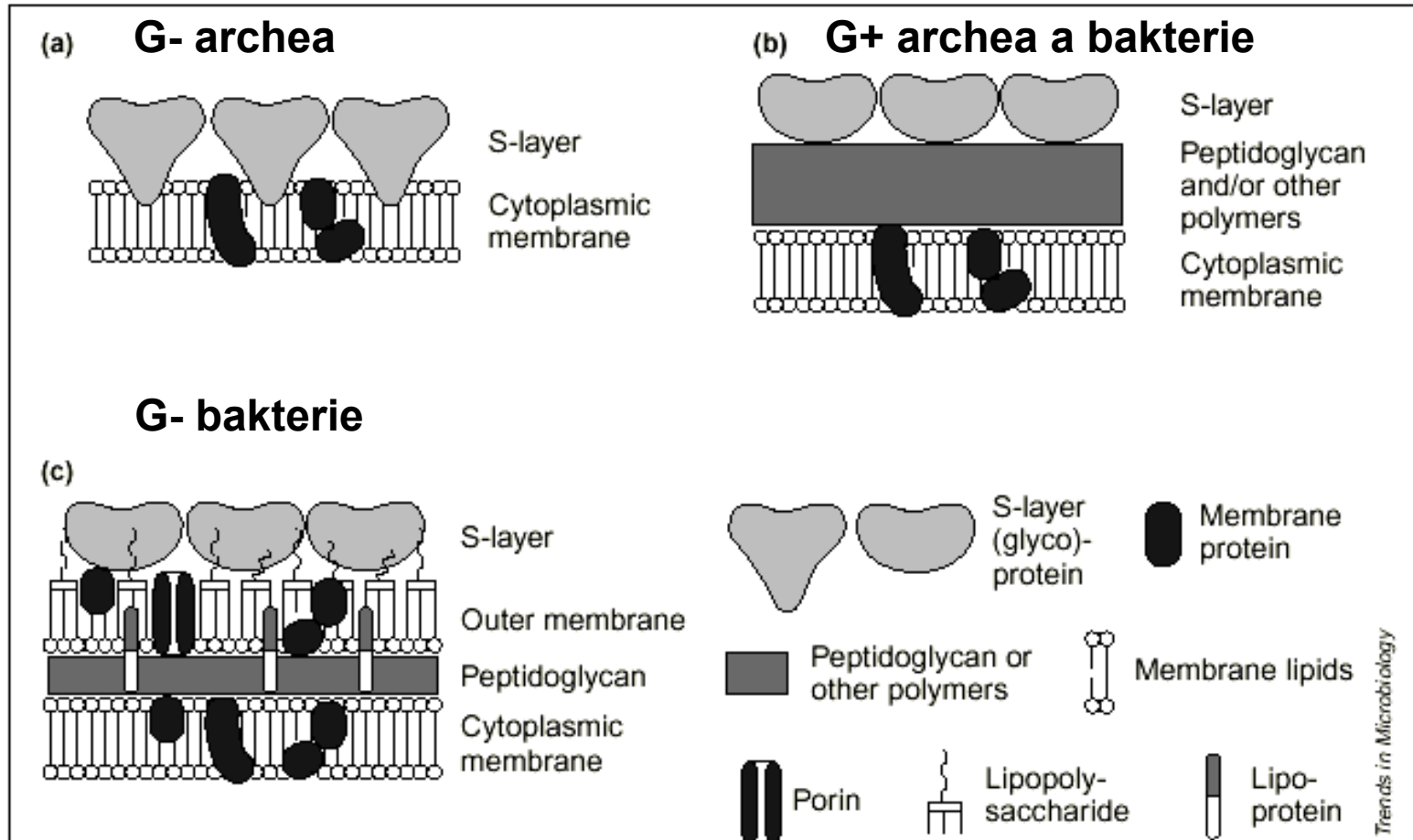


Fig. 3. Schematic illustration of the supramolecular architecture of the three major classes of prokaryotic cell envelopes containing crystalline bacterial cell surface layers (S-layers). **(a)** Cell-envelope structure of Gram-negative Archaea with S-layers as the only cell-wall component external to the plasma (cytoplasmic) membrane. **(b)** The cell envelope as observed in Gram-positive Archaea and Eubacteria. In Eubacteria, the rigid wall component is primarily composed of peptidoglycan. In Archaea, other wall polymers (e.g. pseudomurein or methanochondroitin) are found. **(c)** Cell-envelope profile of Gram-negative Eubacteria, composed of a thin peptidoglycan layer and an outer membrane. If present, the S-layer is closely associated with the lipopolysaccharide of the outer membrane.

Základní struktura buňky *Archaea*

- Buněčná stěna
- Cytoplazmatická membrána
- Základní cytoplazma

Stavba cytoplazmatické membrány u *Archaea*

- **Struktura se zásadně liší od CM bakterií a eukaryot**

Glycerol

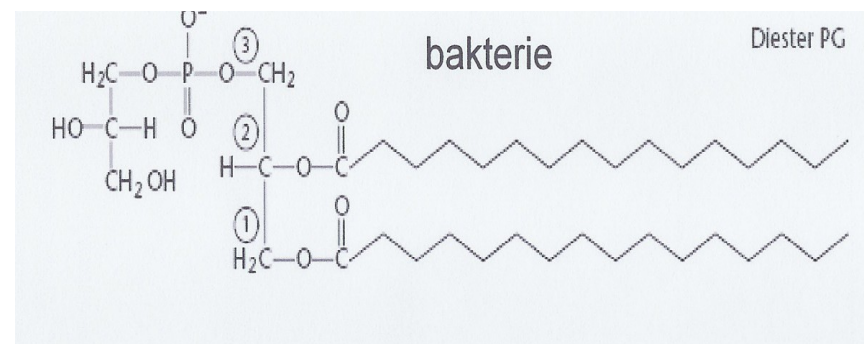
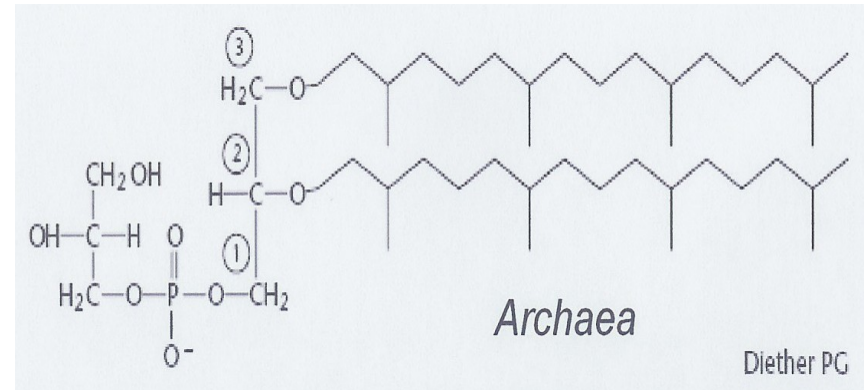
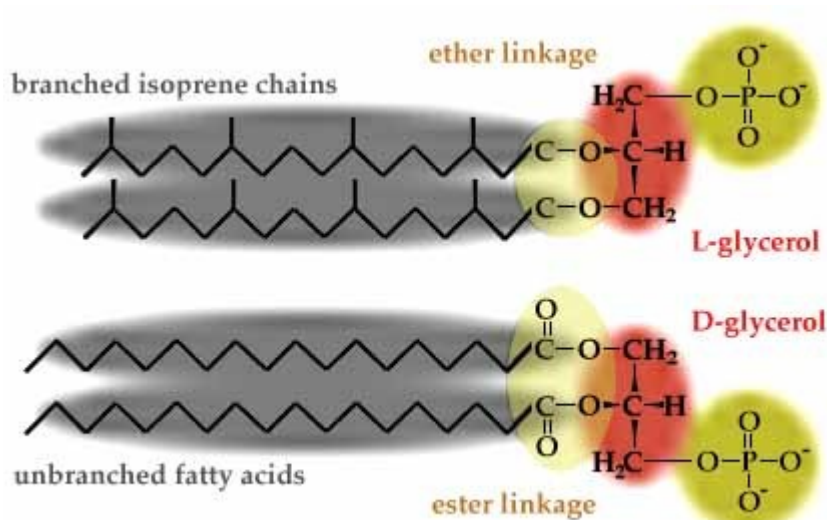
- bakterie a eukaryota - D glycerol
- archebakterie - L glycerol

Lipidy

- glycerol dieter (Glycerol + C20)
dvouvrstevná membrána
- glycerol tetraeter (Glycerol + C40)-
jednovrstevná membrána
- směs di- & tetra- Mono /Bi vrstevná
membrána

Lipidy CM u bakterií a *Archaea*

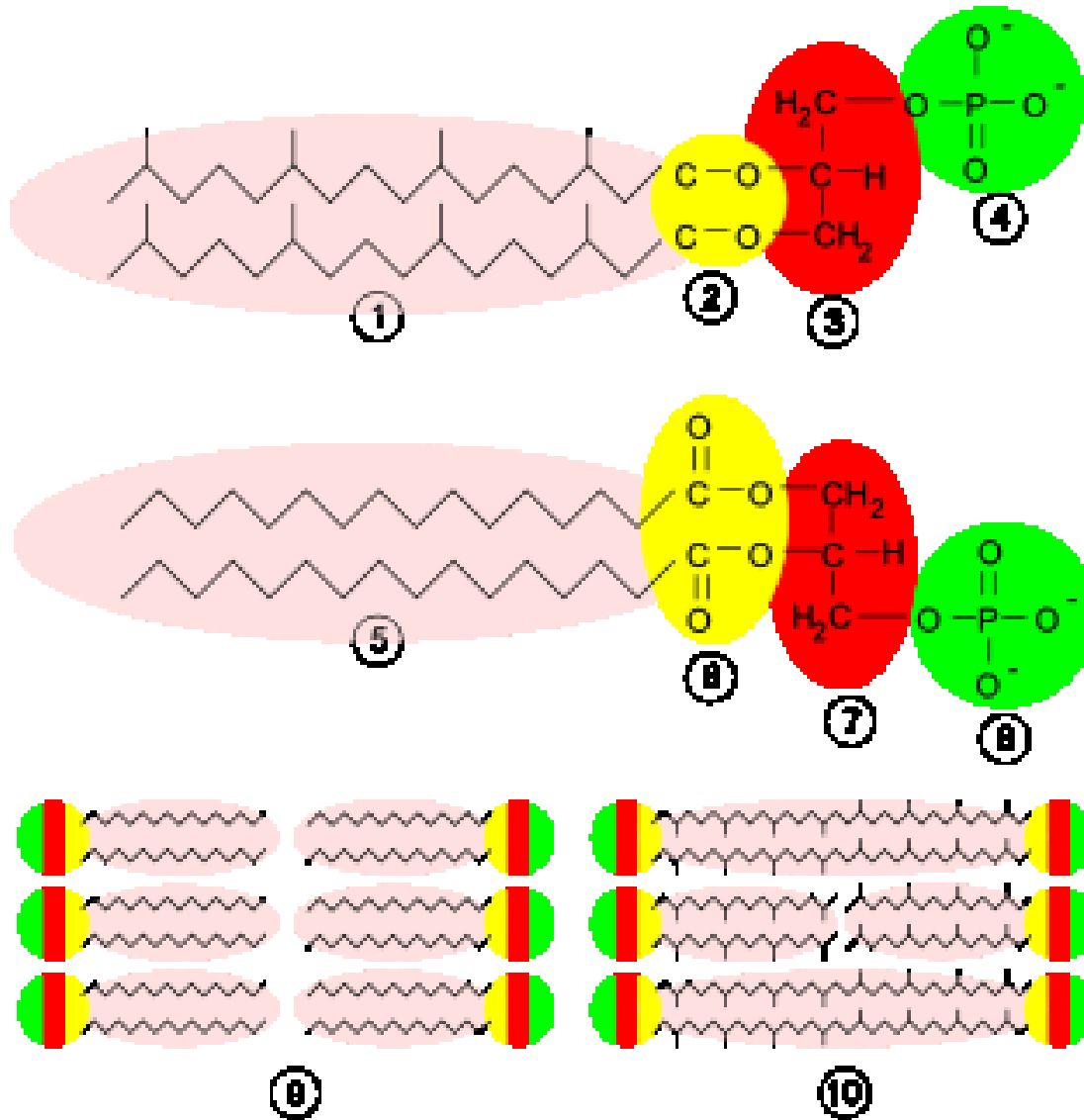
Archaea



Většina organismů

→ Odlišné vlastnosti CM

Stavba cytoplazmatické membrány u *Archaea*



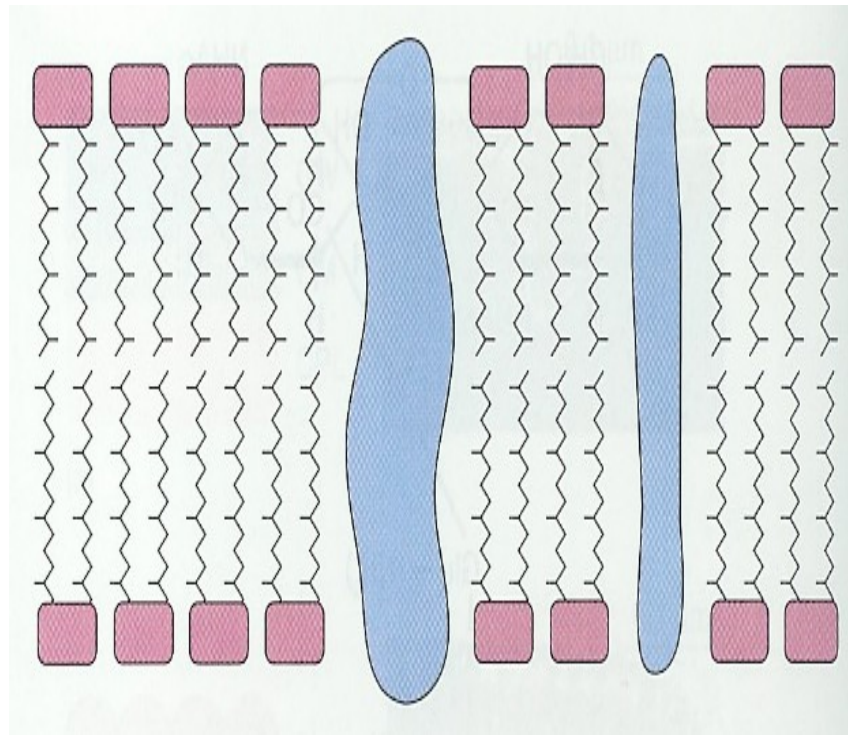
Membrane structures.

Top: an archaeal phospholipid,
1 isoprene sidechain,
2 ether linkage,
3 L-glycerol,
4 phosphate moieties.

Middle: a bacterial and eukaryotic phospholipid:
5 fatty acid,
6 ester linkage,
7 D-glycerol,
8 phosphate moieties.

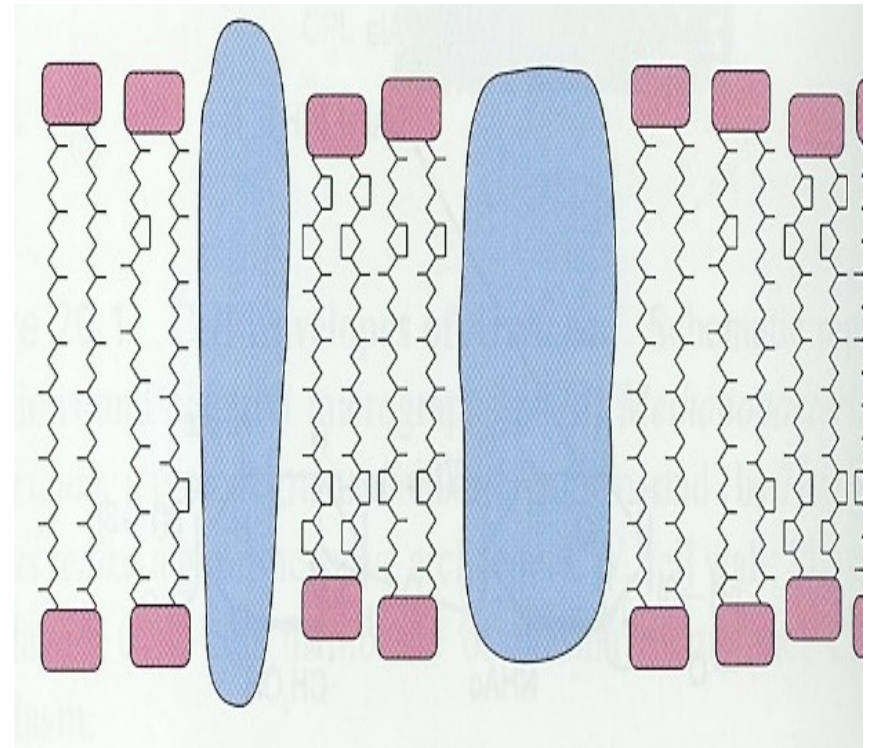
Bottom:
9 lipid bilayer of bacteria and eukaryotes,
10 lipid monolayer of some archaea.

Model membrány *Archea*



Membrána složená z integrovaných proteinů a dvojvrstvy **C₂₀ diacyterů**

Membrána složená z integrovaných proteinů a vrstvy **C₄₀ tetraeterů**



Cytoplazmatická membrána

- Diverzita ve struktuře membrány odpovídá podmínkám, ve kterých archebakterie žijí
 - *Sulfolobus* (90°C, pH 2)- rozvětvený řetězec C40. Rozvětvené řetězce zvyšují fluiditu membrány (nevětvené a nasycené mastné kyseliny mají opačný efekt) - zvýšená fluidita je nutná pro růst při vysokých teplotách (až do 110°C, **hypertermofilové**)
 - *Halobacterium* - růst v nasycených roztocích solí
 - *Thermoplasma* – růst při vysokých teplotách – bez buněčné stěny

Základní struktura buňky *Archaea*

Buněčná stěna

Cytoplazmatická membrána

Základní cytoplazma

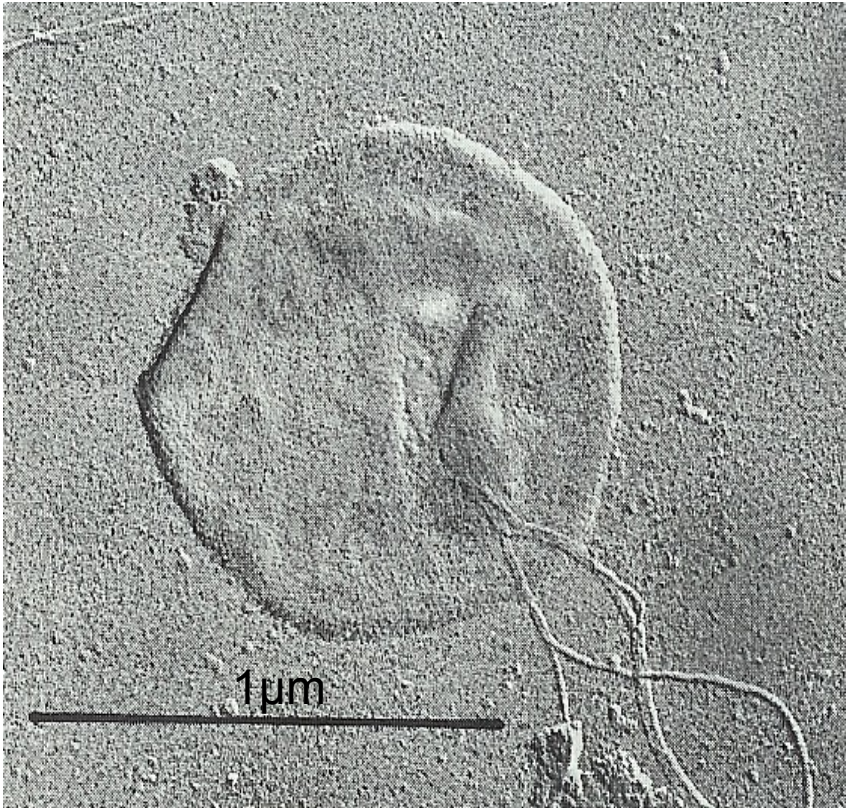
Organizace genomu

- Je podobná bakteriím
 - Jeden cirkulární chromozóm
 - Extrachromozomální elementy - plazmidy
 - Odolnost genomu vůči denaturaci teplem
 - Za zachování integrity genomu u extremofilů je zodpovědná :
 - Vysoká intracelulární koncentrace solí (cyklický 2,3-difosfoglycerát K – brání depurinaci a depyrimidizaci)
 - DNA vázající proteiny – zvýší teplotu tání DNA o 40oC
- (aka **Histone** - proteiny podobné Eucarya):
- MC1 : Methanosarcinaceae
 - HMf : Methanobacteriales
 - Aminokyselinové složení je podobné histonovým proteinům u Eucarya
 - organizace DNA do chromatinu podobných struktur
 - » histone + Eucarya DNA
 - » HMf + Archaea DNA
 - HTa : *Thermoplasma*
 - HTa-like: *Sulfolobus*
- topoizomeráza reverzní DNA gyráza – stabilizace DNA šroubovice

Ribozomy

- Ribozomy jsou stejné jako u bakterií – 70S
- Jejich počet závisí na metabolické aktivitě
- Obvykle se netvoří polyribozomy
- Ribozomy nejsou citlivé na působení chemických látek (stejně jako u eukaryot)

Bičíky



Archeoglobus fulgidus

- Počet bičíků 1 -
- Počet bičíků se může měnit
- Bičíky buňka může snadno ztrácet
- Obvykle jsou lokalizovány na jedné části buňky nebo peritrichálně
- Ultrastruktura bičíku je stejná jako bakterií – základní stavební jednotka **flagelin**
- Geny **zcela** odlišné od bakterií
- Rotační pohyb bičíku – tokem protonů

Energetický metabolismus u *Archaea*

- **Aerobní respirace (*Halobacterium*)**
- Anaerobní respirace: **unikátní respirace CO₂** (metanogeneze - rozklad org.l. na CO₂ a z něj metan), sulfátu, síry
- Chemolitotrofie sloučenin síry a železa
- **Fotofosforylace pomocí bakteriorhodopsinu**
- Metabolismus uhlíku – heterotrofie a autotrofie:
 - *Oxidace cukrů (Entner-Doudoroff)*
 - ***Zvláštní mechanismy asimilace CO₂***

Energetický metabolismus

halofilní *Archea*

- Šest rodů extrémně halofilních Archaea žije v **hypersalinním** prostředí a neroste při **nižší než 1,5 M (9%)** koncentraci NaCl
- většina druhů vyžaduje 2-4 M NaCl (12-23%)
- Všichni extrémní halofilové mohou růst v prostředí téměř nasycených roztoků solí (5,5 M NaCl – 32%-nasycení)
- Dva rody jsou nejen halofilní, ale také **alkalifilní**
Dobře rostou v prostředí nad pH 9
- Tyto organizmy vyžadují Na⁺ ionty ke stabilizaci glykoproteinu buněčné stěny
- Vysoká externí koncentrace solí je balancována akumulací K⁺ uvnitř buňky

Energetický metabolismus

halofilní *Archea*

- Jsou to aerobní chemoorganotrofové s respiratorním metabolismem
- Vyžadují komplexní výživu, především bílkoviny a aminokyseliny
- Mohou růst na potravinách (především rybách) a vyvolávají jejich znehodnocení
- Některé kmeny syntetizují "modifikovanou" cytoplazmatickou membránu – purpurovou membránu, obsahující **bakteriorhodopsin** – (chromoforem je derivát retinalu - Ret) tvorba ATP ze světelného kvanta

bez bakteriochlorofylu

Bakteriorhodopsin je [integrální membránový protein](#) obsažený ve slanomilných [archeích *Halobacteria*](#). Při nízkém obsahu [kyslíku](#) tyto organismy v membráně vytváří okolo 0,5 μm ^[1] široké purpurové nebo nachové oblasti, jejichž jedinou [bílkovinnou](#) složkou je právě bakteriorhodopsin.



Salt ponds SF Bay



Lanzarote salt pans (Španělsko – Kanárské ostrovy)

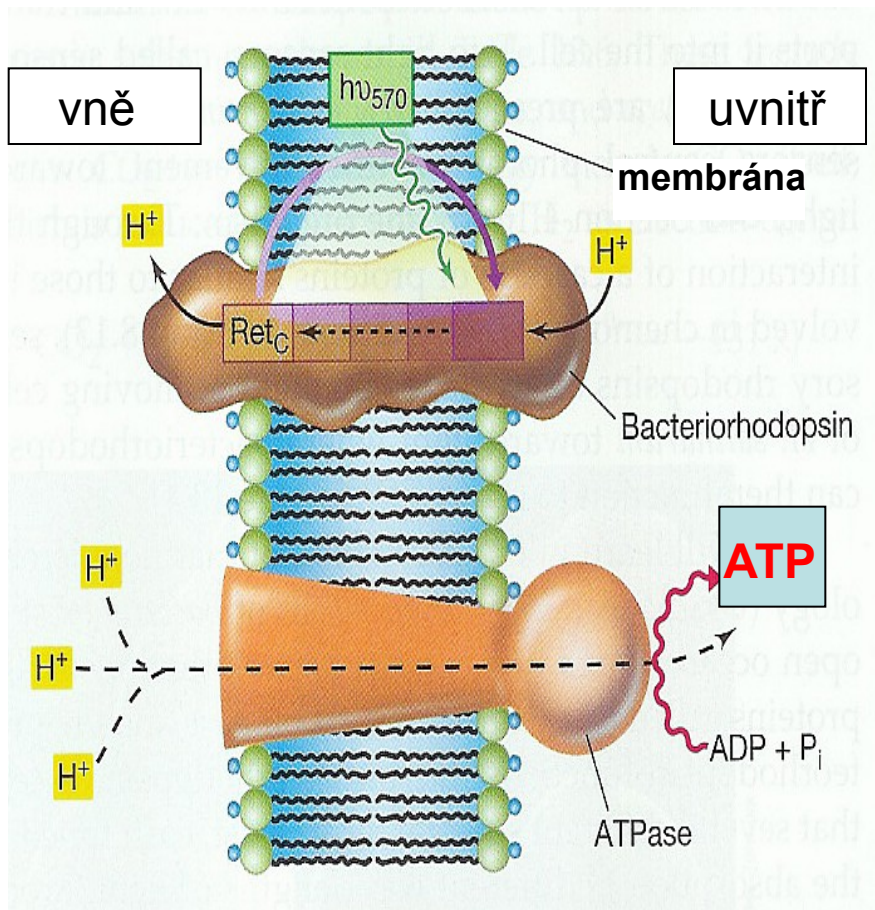
Energetický metabolismus

halofilní *Archea*

- **bakteriorhodopsiny** (podobne rhodopsinu v oku)
 - jeden zabezpečuje vytvoření protonového gradientu pro tvorbu ATP (v membráně)
protonová pumpa -, i.e. it captures light energy and uses it to move protons across the membrane out of the cell. The resulting proton gradient is subsequently converted into chemical energy.
Jednodušší než u chlorofylu (zde elektronový transportní řetězec)
 - halorhodopsin – využití světla pro transport chloridových iontů do buňky (iontová pumpa) (vysoký obsah K^+ v buňce)
 - další dva rhodopsiny vystupují jako fotoreceptory – light sensor (jeden je červený a druhý modrý) mimo jiné řídí pohyb bičíků tak, aby buňka byla v co nejlepší poloze ke světlu (ve vodném prostředí)

Energetický metabolismus **halofilní *Archea***

Model aktivity bakteriorhodopsinu



Světelným kvantem protonovaný **retinal** bakteriorhodopsinu přechází z **trans** formy (Ret_T) na **cis** formu (Ret_C) za současné translokace protonu na vnější stranu. Přechodem “přes” **ATPázu** vytvoření **ATP**

Energetický metabolismus **methanogeneze**

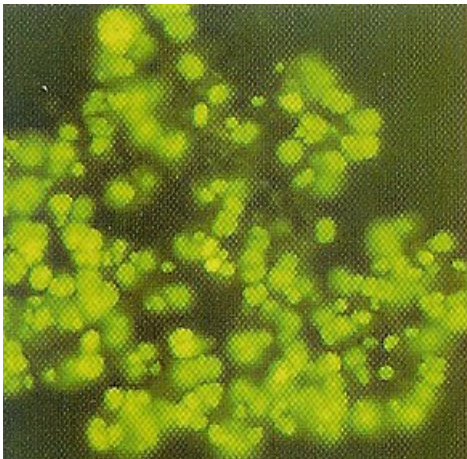
- liší se od metabolismu jiných zástupců *Archaea* i *Bacteria*
- 2 klíčové skupiny koenzymů:
 - 1) přenos C1 jednotky z CO_2 na finální produkt
 - 2) redox reakce zásobující elektrony pro redukci CO_2 na CH_4

Ad1) methanofuran – první krok – vazba CO_2
methanopterin – přenos C1 v meziproduktech ($\text{CO}_2 - \text{CH}_4$)
coenzym M (CoM) – finální krok (CH_3) – CH_4
coenzym F_{430} – terminální krok metanogeneze (nepřenáší C1)

Ad2) koenzym F_{420} – donor elektronů
- absorpce světla – fluorescence (detekce metanogenů)
coenzym B (CoB) – donor elektronů v terminálním kroku metanogeneze

Fluorescence metanogenních bakterií

Za autofluorescenci metanogenních bakterií je zodpovědná přítomnost specifického přenašeče elektronů – koenzym F_{420}



Methanosarcina barkeri



Methanobacterium formicum

Energetický metabolismus **methanogeneze**

Redukce CO₂ a CO

- Konečným produktem redukce je **metan**
- Organizmy jsou **striktní anaerobové** (jsou podstatně citlivější ke kyslíku než denitrifikační nebo desulfurikační bakterie)
- Jsou dvě skupiny metanogenních organizmů využívajících jako akceptor elektronů CO₂
 - metanogenní**
 - homoacetogenní**
- Jako zdroj vodíku a elektronů **nikdy** nevyužívají cukry a aminokyseliny
- Jako substrát slouží H₂, nižší mastné kyseliny, primární alkoholy, izoalkoholy,

Energetický metabolismus **methanogeneze**

Typické substráty přeměňované na metan

I. Typ CO_2 substrátů

CO_2 (s elektrony z H_2), některé alkoholy nebo pyruvát

II. Metyl substráty

metanol

metylamin CH_3NH_3^+

dimetylamin $(\text{CH}_3)_2\text{NH}_2^+$

trimetylamin $(\text{CH}_3)_3\text{NH}^+$

metylmerkaptan CH_3SH

dimetylsulfoxid $(\text{CH}_3)_2\text{S}$

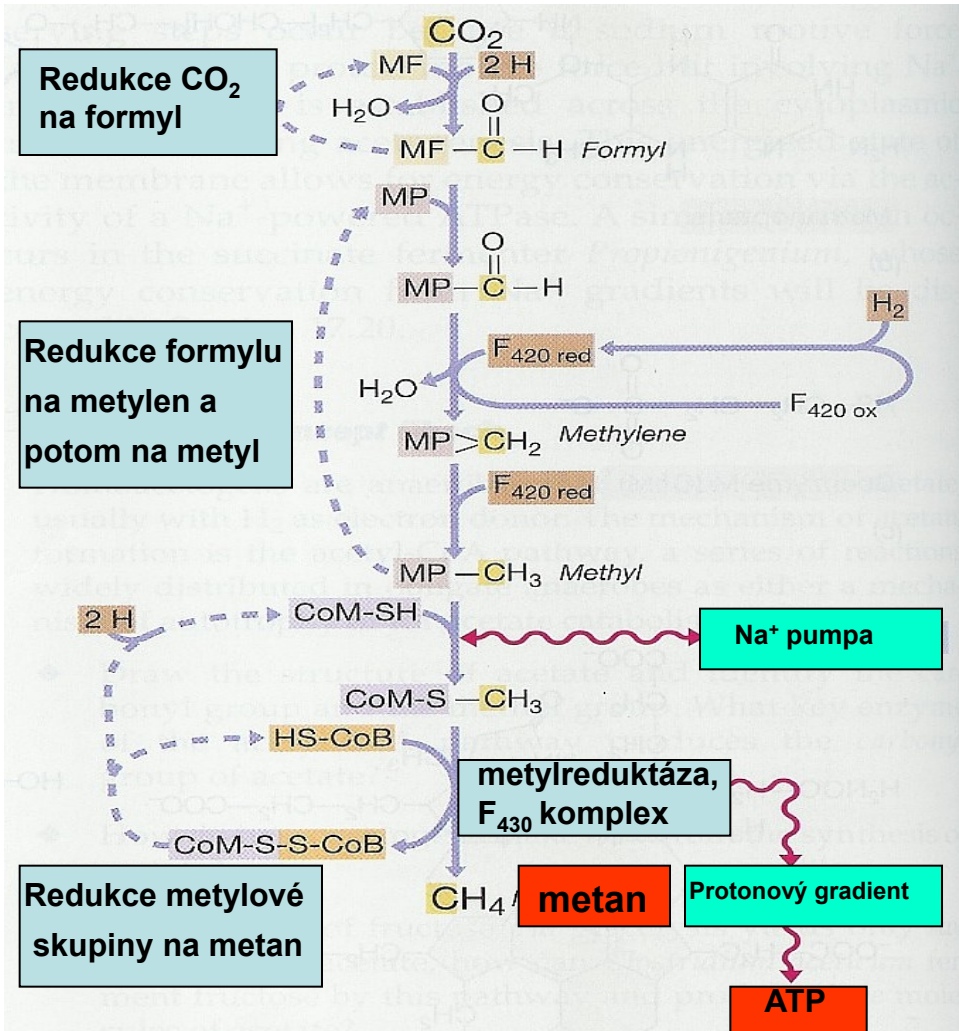
III. Acetotrofní substráty

acetát

pyruvát

Energetický metabolismus **methanogeneze**

Redukce CO₂ **plynným vodíkem**



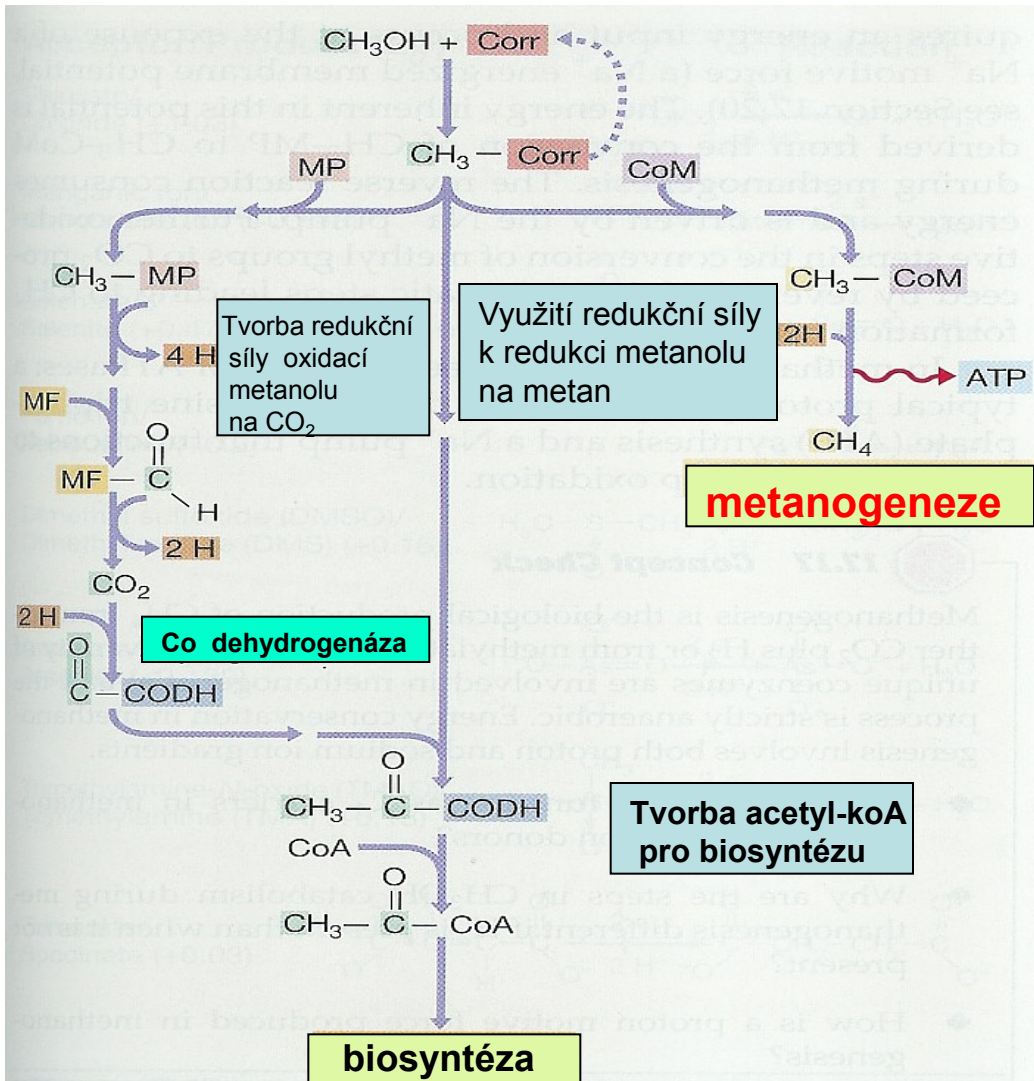
Elektrony pro redukci CO₂ jsou brány z H₂, ale v některých případech i z jednoduchých organických látek

MF – metanofuran
MP – metanopterin
CoM – koenzym M
CoB – koenzym B

Organismus: *Methanosarcina barkeri*

Energetický metabolismus **methanogeneze**

Redukce CO_2 - donor **metanol**



Corr – protein obsahující korrinoid (strukturou je podobný B12, s korrinoidním kruhem – podobný porfirinovému), centrální atom Co

CODH – karbonmonoxid dehydrogenáza

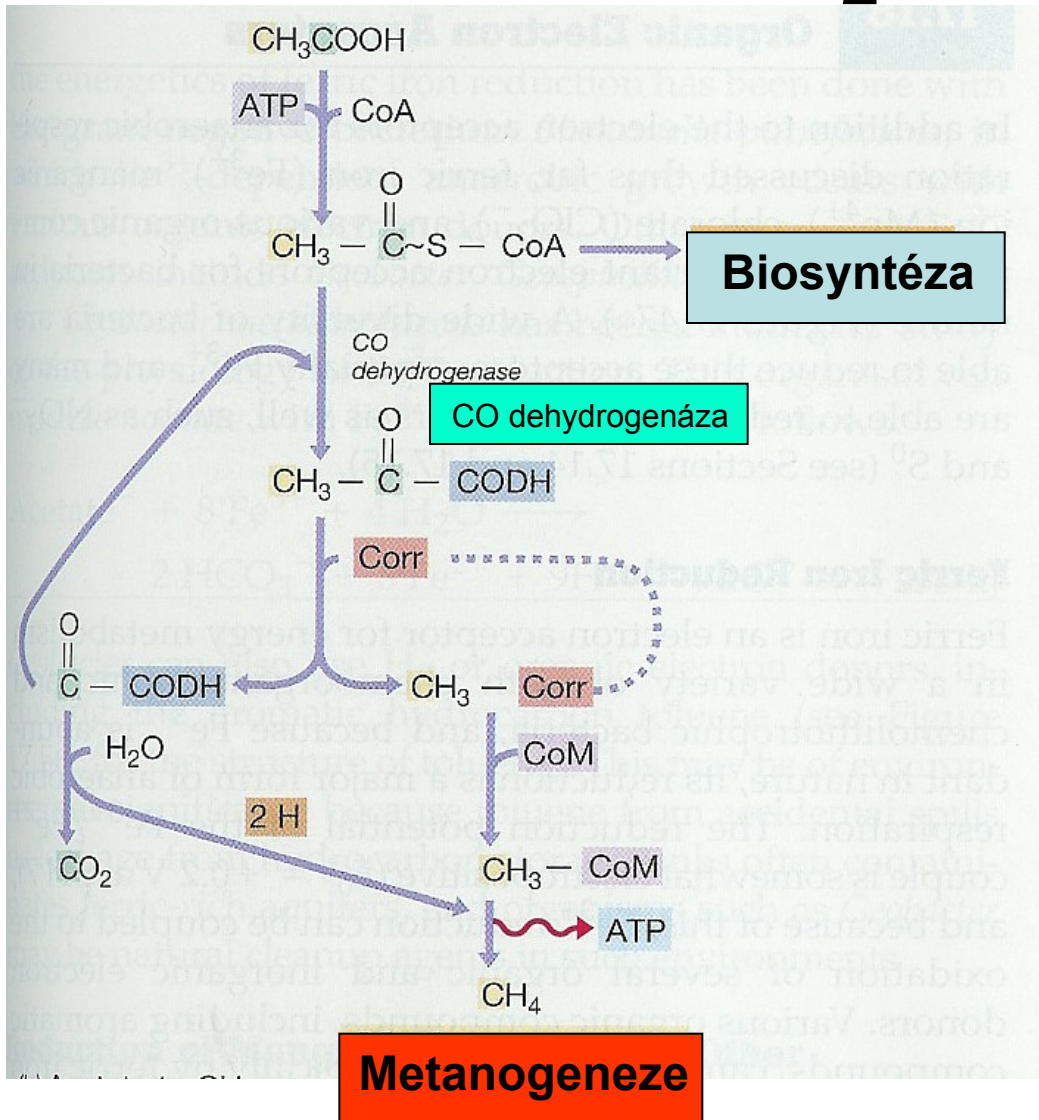
CoM – koenzym M

MP – metanopterin

MF – metanofuran

Energetický metabolismus **methanogeneze**

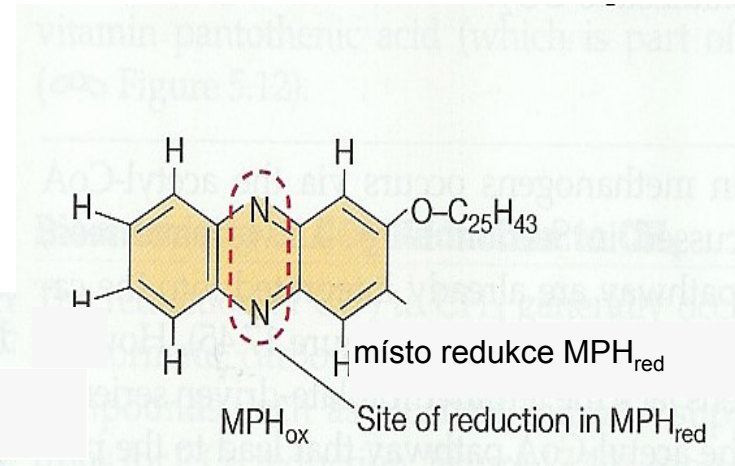
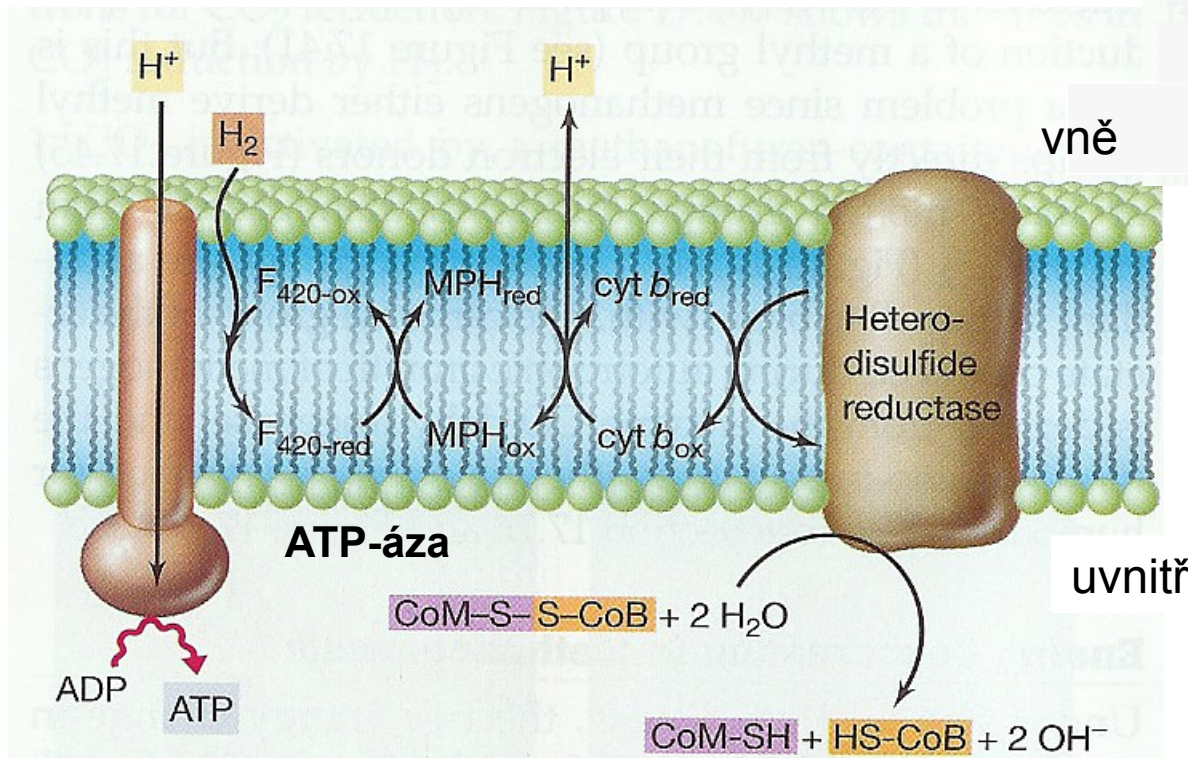
Redukce CO_2 - donor **acetát**



Corr – protein obsahující korrinoid
CODH – karbonmonooxid
dehydrogenáza
CoM – koenzym M

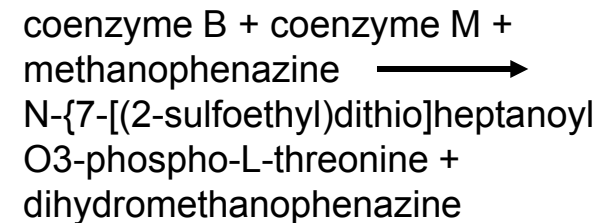
Energetický metabolismus **methanogeneze**

Tvorba energie u metanogenů



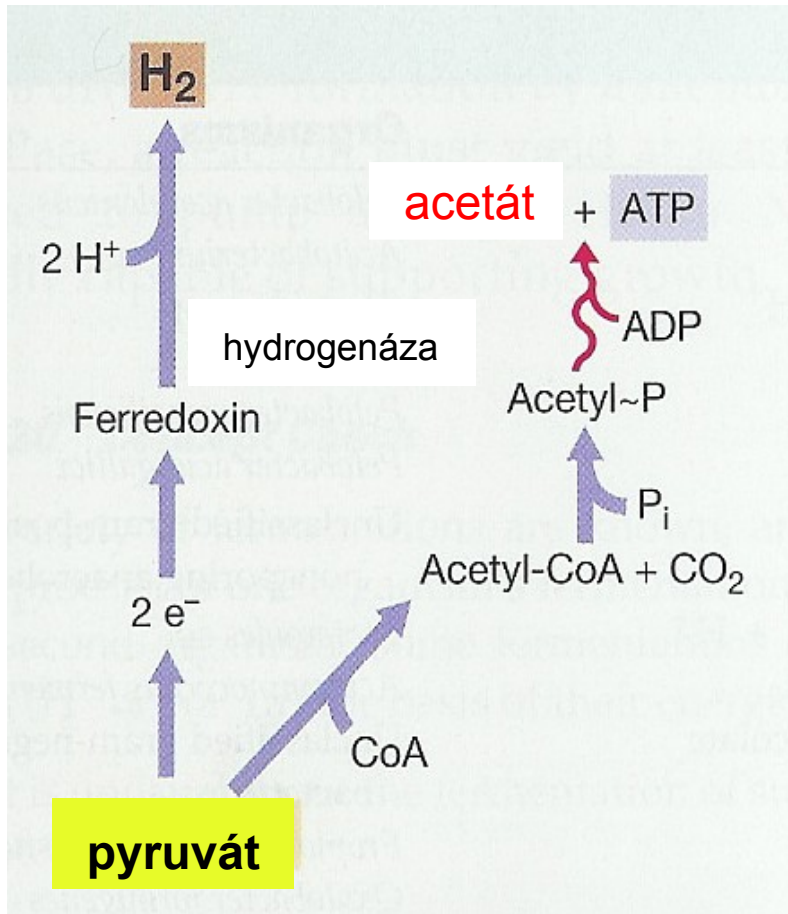
metanofenazin

CoB---CoM heterodisulfide reductase is an [enzyme](#) that [catalyzes](#) the [chemical reaction](#)



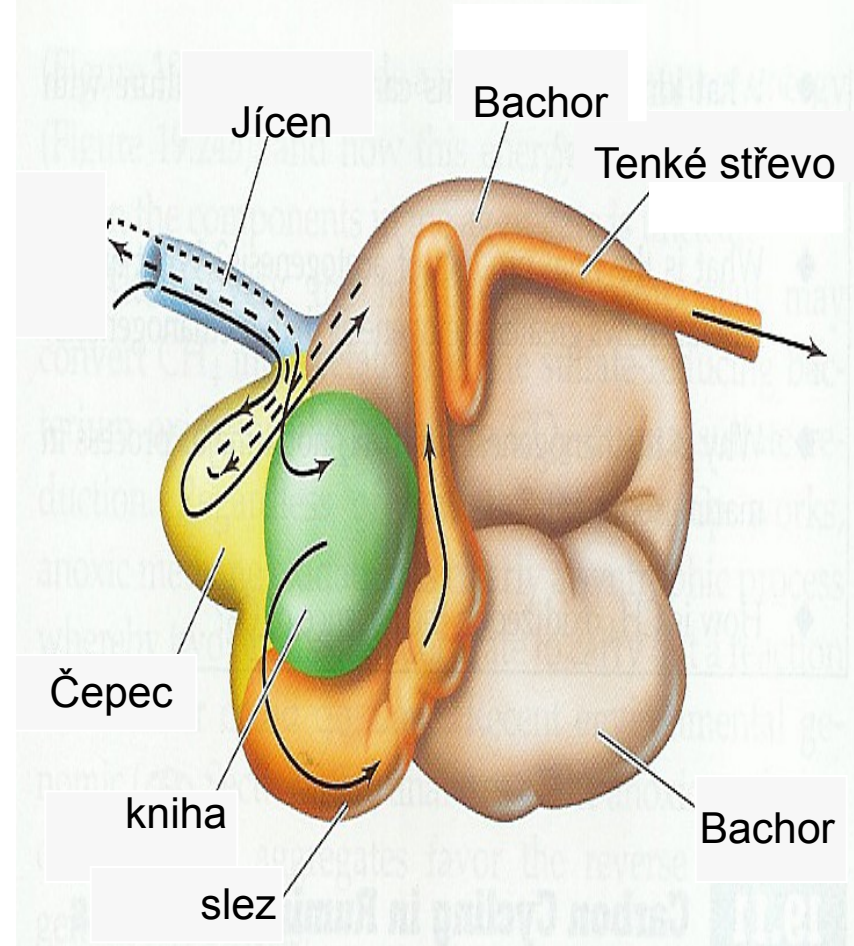
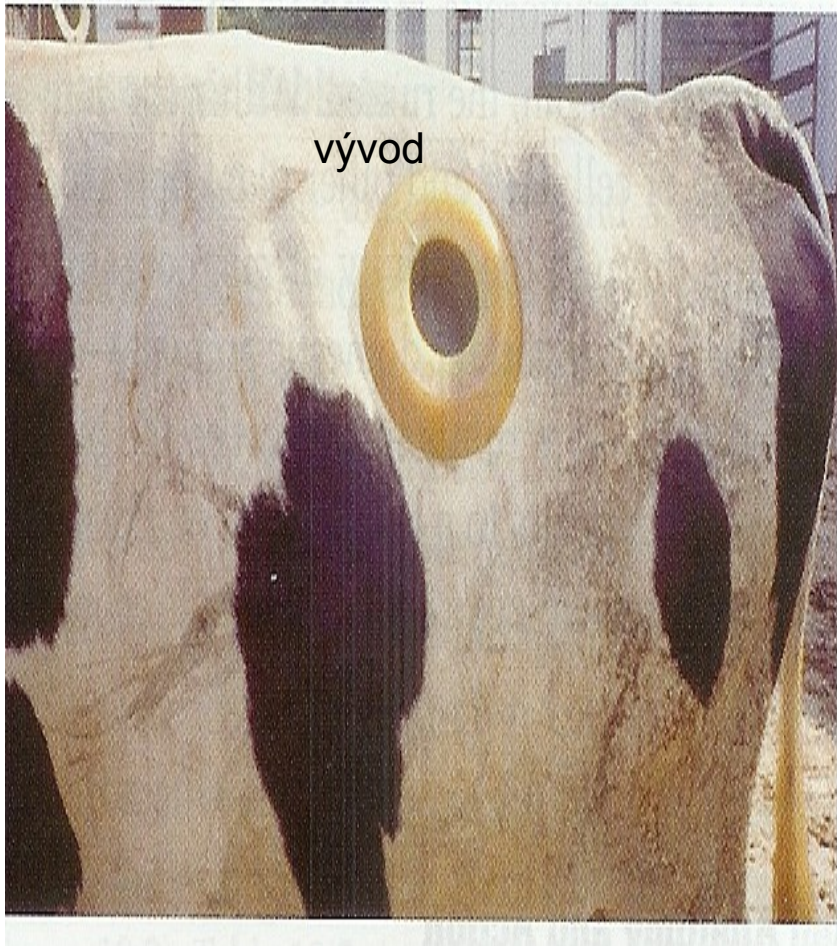
Energetický metabolismus **methanogeneze**

Přeměna pyruvátu na “vhodnější” substrát pro metanogenezi



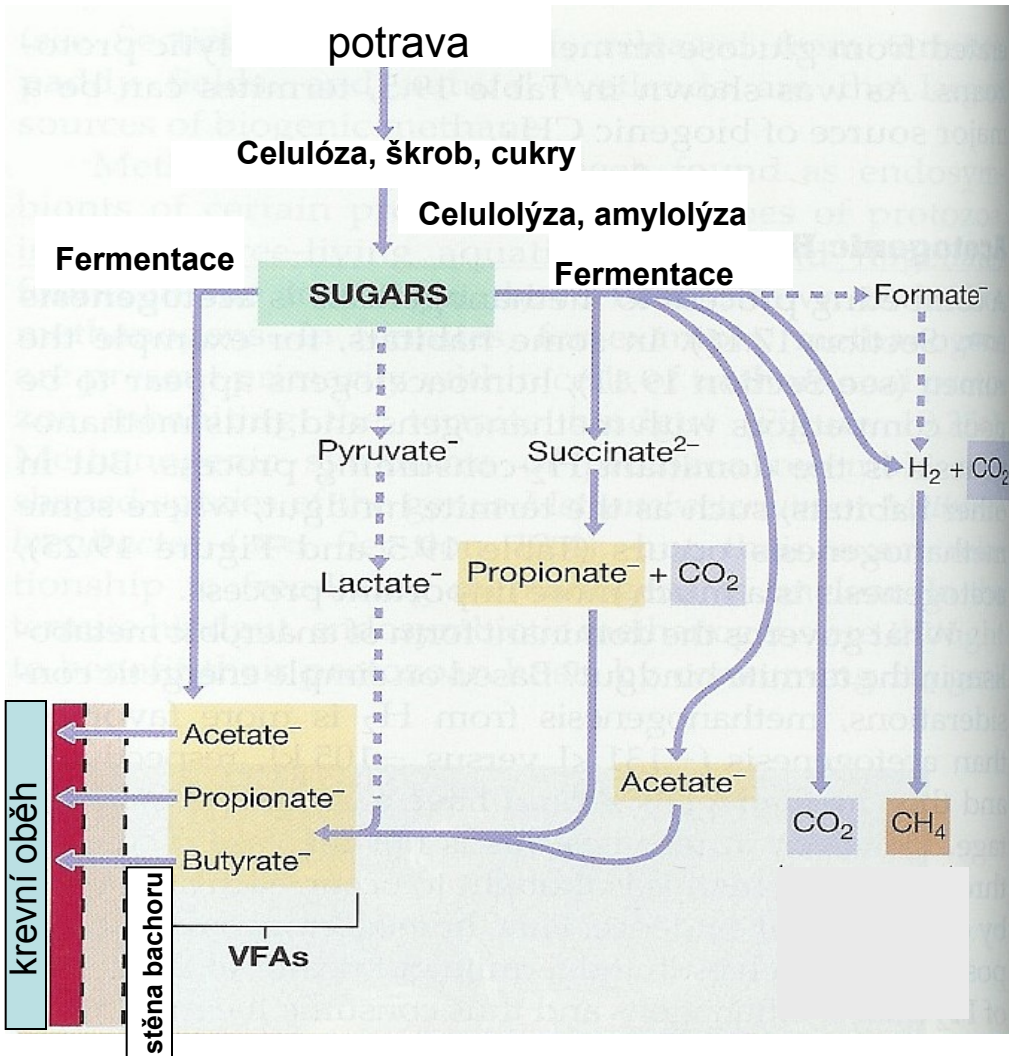
- Pro metanogény je výhodnější přeměnit pyruvát na acetyl-koA nebo acetát (navíc tímto krokem získají 1 mol ATP)
- Další produkty této konverze, H₂ a CO₂, jsou dále zařazovány do jejich metabolismu

Tvorba metanu u přežvýkavců



Bachorová mikroflóra vyprodukuje za 24 hodin 200 – 600 l metanu

Tvorba metanu u přežvýkavců



VFA – těkavé mastné kyseliny

Stechiometrie při fermentaci v rumenu

57,5 **glukóza** →
 65 acetát +
 20 propionát +
 15 butyrát +
 60 CO₂ +
 35 CH₄ +
 25 H₂O

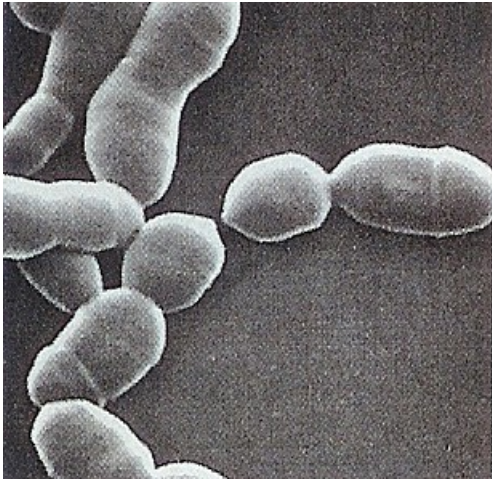
Obvyklý obsah VFA v bachoru:

60mM acetát, 20mM propionát, 10mM butyrát

Některé bakterie v bachoru

Organismus	Produkt metabolismu
Celulolytické	
<i>Butyrivibrio fibrisolvens</i>	acetát, formiát, laktát
<i>Rumicoccus albus</i>	acetát, formiát, H ₂
<i>Clostridium lochheadii</i>	acetát, formiát, H ₂ , CO ₂
Amylolytické	
<i>Ruminobacter amylophilus</i>	formiát, acetát, sukcinát
<i>Selenomonas ruminantium</i>	acetát, propionát, laktát
<i>Succinomonas amylolytica</i>	acetát, propionát, sukcinát
<i>Streptococcus bovis</i>	laktát
Pektolytické	
<i>Lachnospira multiparus</i>	acetát, formiát, laktát, H ₂ , CO ₂
Transformace laktátu	
<i>Selenomonas lactilytica</i>	acetát, sukcinát
Transformace sukcinátu	
<i>Schwartzia succinovorans</i>	propionát, CO ₂
Metanogény	
<i>Methanobrevibacter ruminantium</i>	CH ₄ z H ₂ +CO ₂ nebo formiátu
<i>Methanobacterium mobile</i>	CH ₄ z H ₂ +CO ₂ nebo formiátu

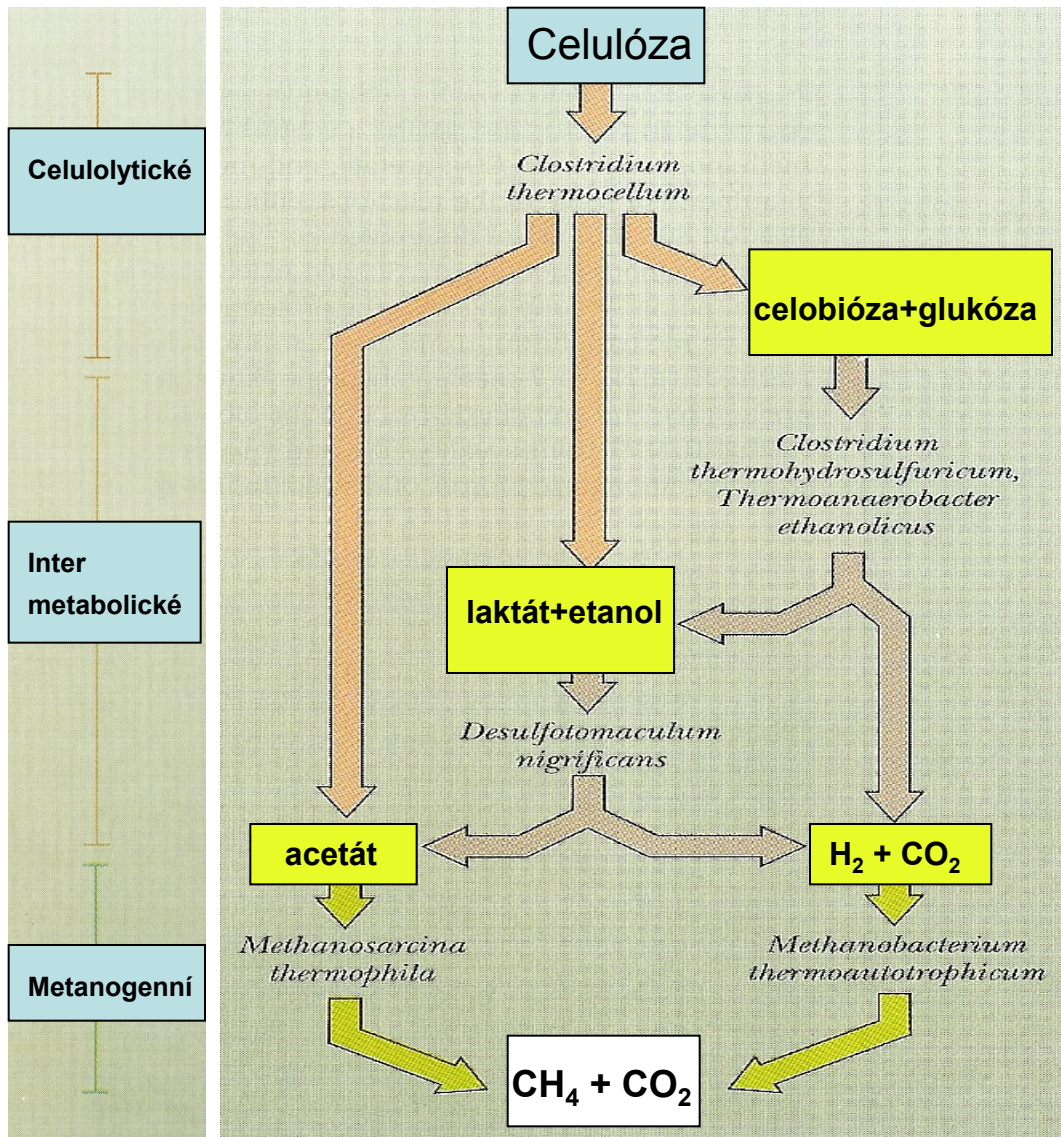
Tvorba metanu u člověka



Methanobrevibacter smithii

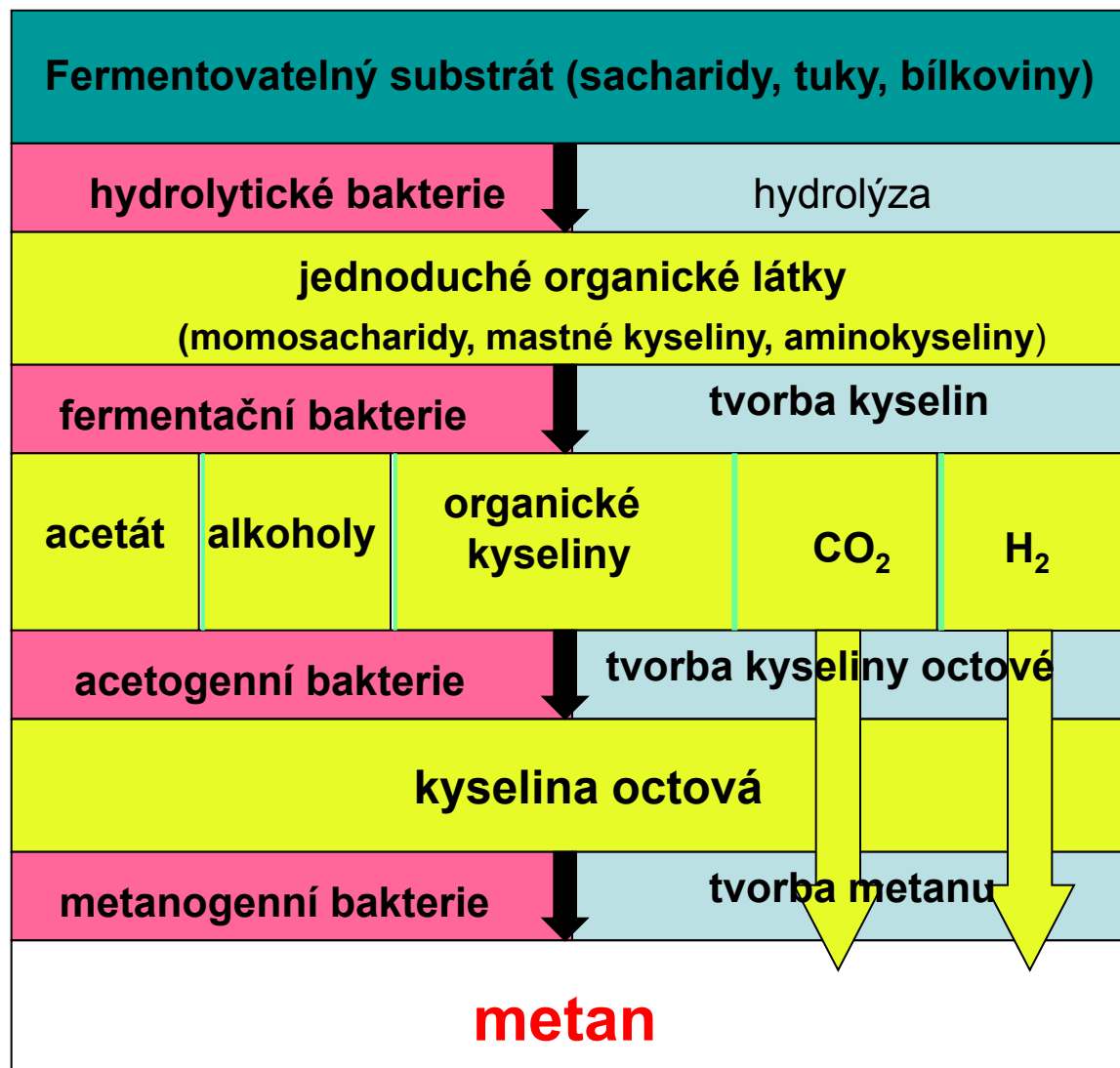
- Metanogenní bakterie jsou u většiny lidí součástí normální mikroflóry tlustého střeva
- Dominantním metanogenem u člověka je *Methanobrevibacter smithii*, který je G⁺ kokobacilus a pro redukci CO₂ využívá H₂ nebo formiát
- Počet *M.smithii* u jedinců, kteří produkují metan se pohybuje v rozmezí 10⁷-10¹⁰ CFU/g suché váhy feces. To představuje asi 0,001-12% celkového počtu živých buněk anaerobů. Počet buněk však velmi kolísá.
- Mimo *M.smithii* je ve střevě přítomna i *Methanosphaera stadtmaniae*, ale v podstatně menším množství
- Část vyprodukovaného metanu přechází do krve a je exkretován plícemi

Typický trofický řetězec v reaktoru



Celulóza je přeměňována na metan a CO_2 společným působením celulolytických, intermetabolických (hydrolytické, fermentační, acetogenní) a metanogenních bakterií. Při této fermentaci je asi 95% uložené energie uvolněno jako CH_4 .

Biochemické reakce při výrobě bioplynu



Největší zdroje produkce metanu v přírodě

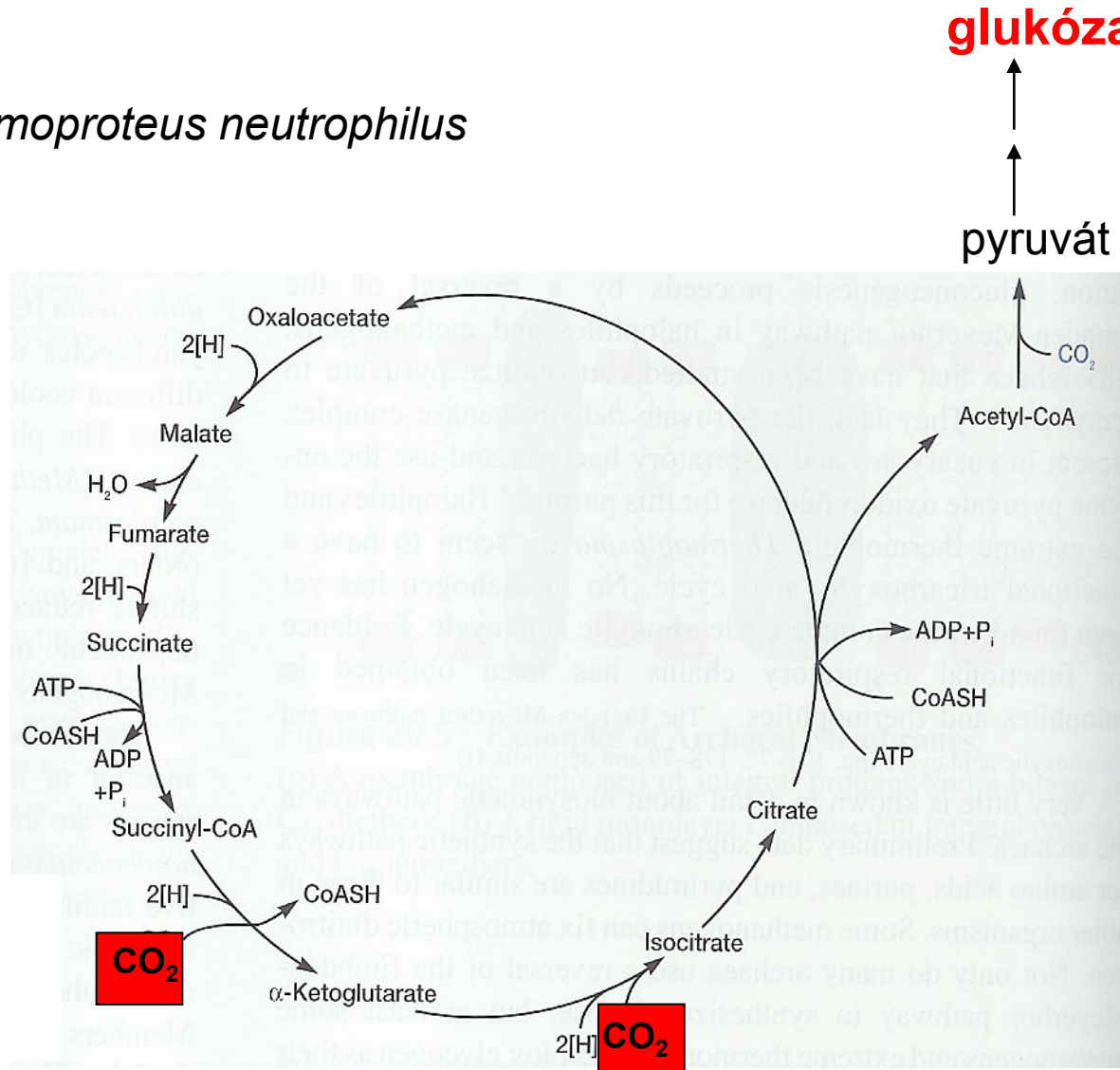
Zdroj	Vyprodukované množství (10 ⁹ kg/rok)	Podíl na atmosférickém metanu (%)
Rýžová pole	280	25
Bažiny	130-260	45
Přežvýkavci	101	20
Řeky, jezera	1,25-25	3-10
Oceány	5-8	4
Ostatní	15-26	-

<http://whatsyourimpact.org/greenhouse-gases>

<http://whatsyourimpact.org/greenhouse-gases/methane-sources>

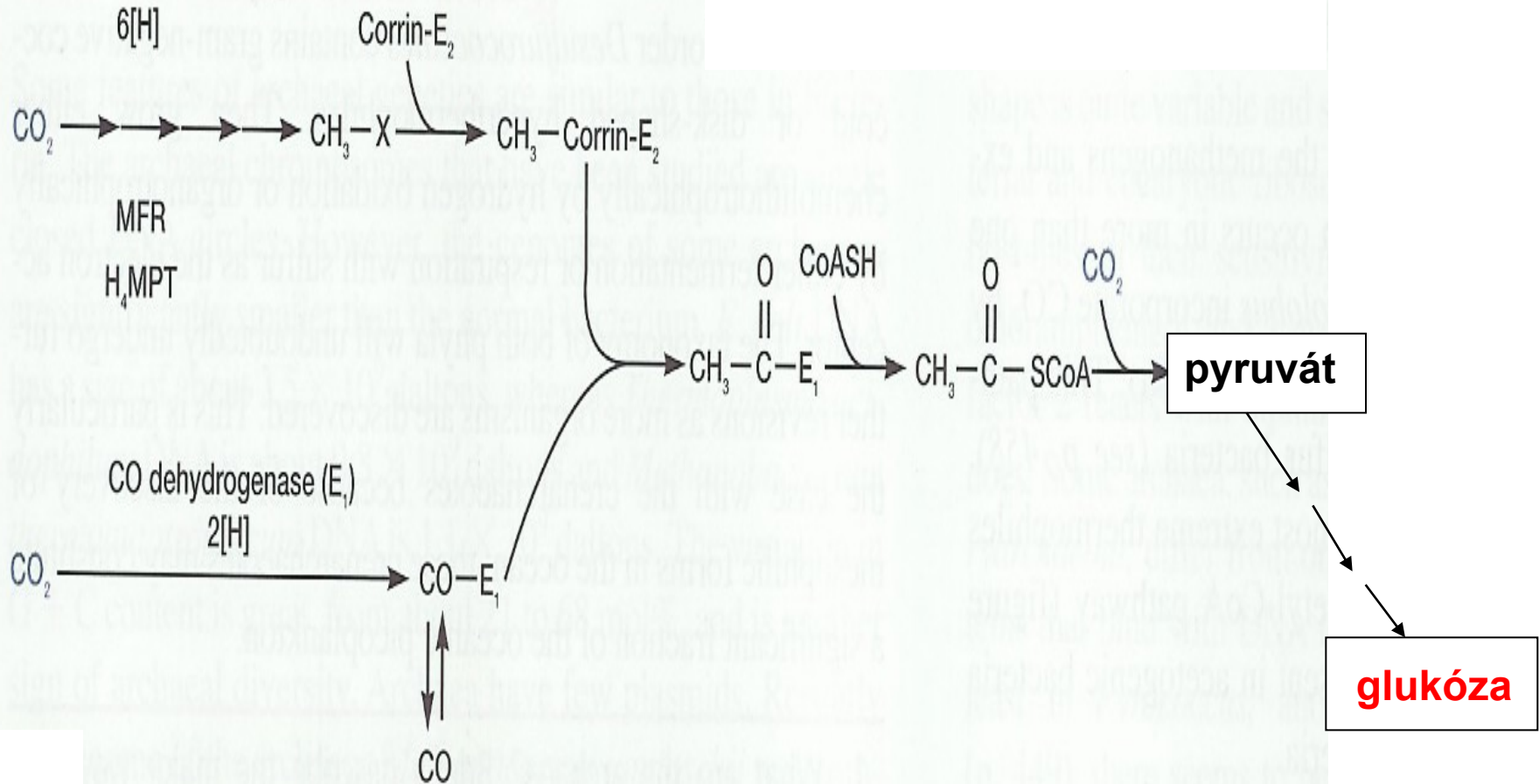
Mechanismus autotrofní fixace CO₂

Organismus: *Thermoproteus neutrophilus*



Reduktivní cyklus
trikarbonových
kyselin

Mechanismus autotrofní fixace CO₂

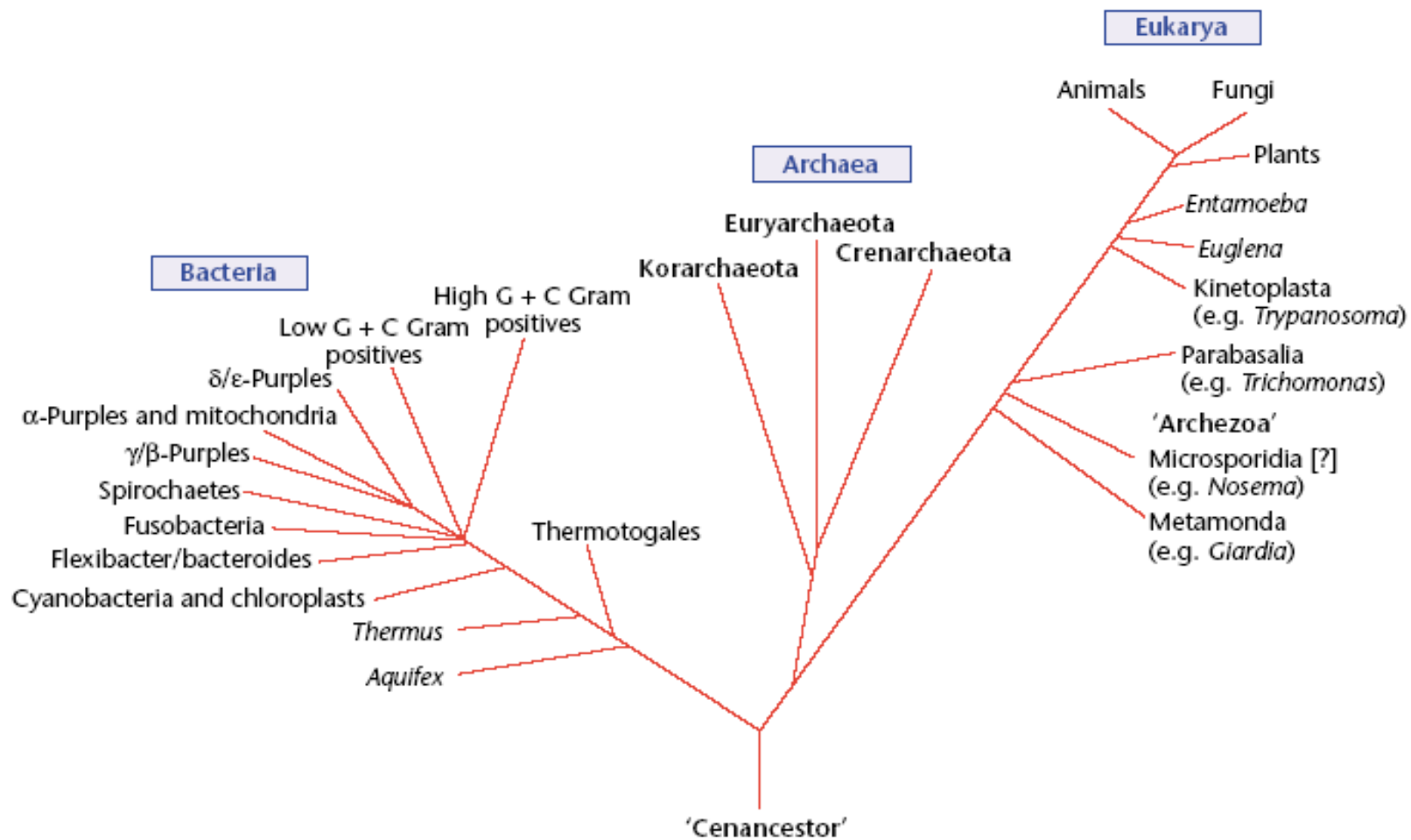


Corrin-E2 – Co obsahující enzym – podílí se na transportu metylu

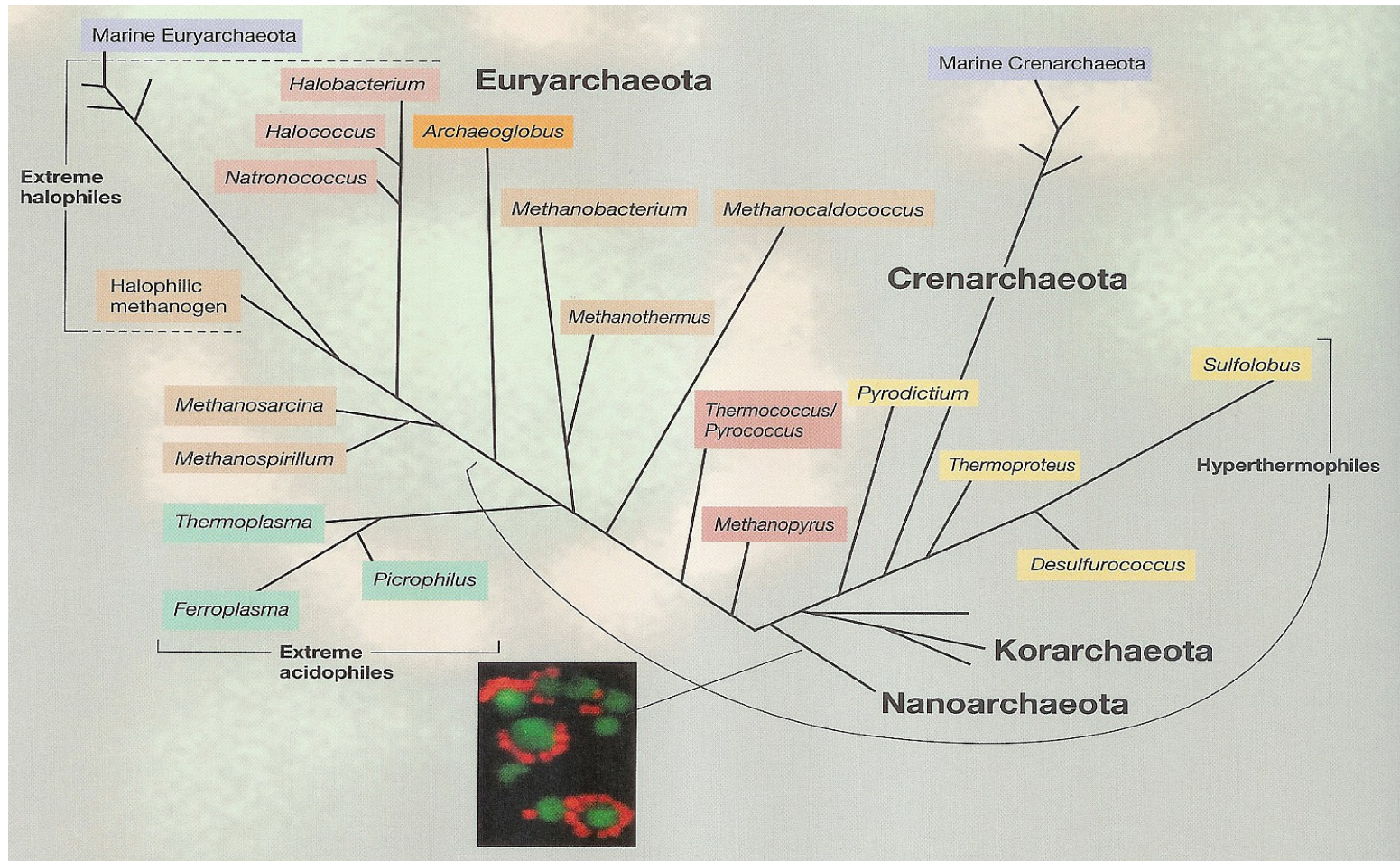
MFR - metanofuran

MPT - metanopterin

Základní tři domény



Fylogenetický strom - *Archaea*



Strom je odvozen na základě sekvenční 16S ribozomální RNA (<http://rdp.cme.msu.edu>)

Přehled systému Archaea

Doména Archaea

Kmen	<i>Crenarchaeota</i>	
	Třída	<i>Thermoprotei</i>
		Řád <i>Thermoproteales</i>
		Řád <i>Desulfurococcales</i>
		Řád <i>Sulfolobales</i>
Kmen	<i>Euryarchaeota</i>	
	Třída	<i>Methanobacteria</i>
		Řád <i>Methanobacteriales</i>
	Třída	<i>Methanococci</i>
		Řád <i>Methanococcales</i>
	Třída	<i>Methanomicrobia</i>
		Řád <i>Methanomicrobiales</i>
		Řád <i>Methanosarcinales</i>
	Třída	<i>Halobacteria</i>
		Řád <i>Halobacteriales</i>
	Třída	<i>Thermoplasmata</i>
		Řád <i>Thermoplasmatales</i>
	Třída	<i>Thermococci</i>
		Řád <i>Thermococcales</i>
	Třída	<i>Archaeoglobi</i>
		Řád <i>Archaeoglobales</i>
	Třída	<i>Methanopyri</i>
		Řád <i>Methanopyrales</i>
Kmen	<i>Korarchaeota</i>	

Základní charakteristika tří základních kmenů *Archaea*

- **Crenarcheota**

- extrémně termofilní *Crenarcheota* (chemolitotrofie, respirace siřných sloučenin)

- **Euryarcheota**

- metanogenní *Euryarcheota*
 - extrémně halofilní *Euryarcheota*
 - termofilní *Euryarcheota* (respirace síry a síranů)

- **Korarcheota**

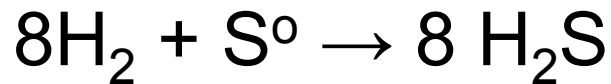
Crenarcheota

- Zástupci *Crenarchaeota* jsou aerobní, fakultativně anaerobní nebo anaerobní
- Metabolismus je od chemoautotrofie po chemorganotrofii
- Řada z nich využívá síru nebo železo pro tvorbu energie za striktně aerobních podmínek
- Některé druhy patří mezi primární producenty organickou hmotu vytvářejí z CO₂, jako jediného zdroje uhlíku
- Pro většinu je zdrojem energie organická látka – aerobní nebo anaerobní respirace nebo kvašení
- Všechny kultivované – přes 80°C
- Detekovány ale i v chladných mořích i ledu (2-4oC, 0oC)

Initially, the Crenarchaeota were thought to be [extremophiles](#) (e.g., [thermophilic](#) (113 °C) and [psychophilic](#) organisms) but recent studies have identified them as the most abundant archaea in the marine environment.

Crenarcheota

- Za anaerobních podmínek je možná i tzv. “S⁰/H₂ autotrofie“



kdy se vytváří nadměrné množství H₂S

- Některé obsahují “solfapterin“, který je podobný koenzymu F₄₂₀. Tento koenzym je typický u metanogenů
- Zástupci řádu Sulfolobales obsahují specifický chinon “sulfolobus quinone – SQ“, který se vyskytuje u některých druhů v největším množství za aerobních podmínek a u jiných naopak za podmínek anaerobních

Doména *Archaea*

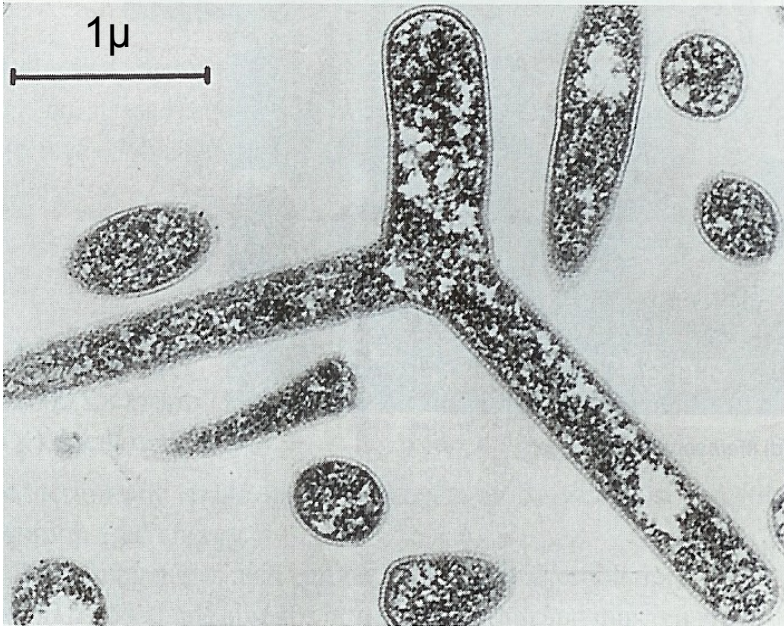
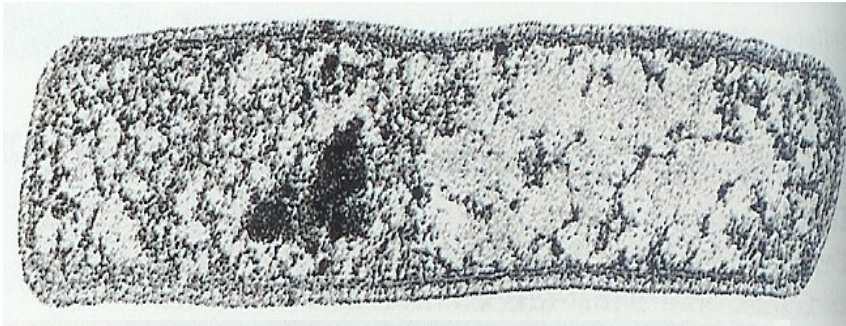
Kmen ***Crenarchaeota***

Třída ***Thermoprotei***

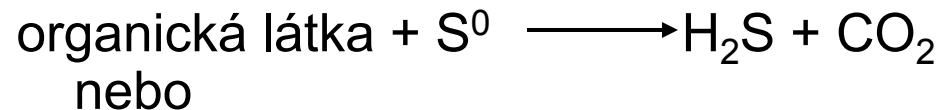
Řád ***Thermoproteales***

Čeď ***Thermoproteaceae***

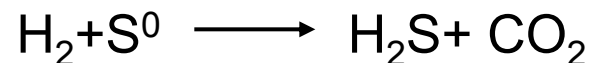
Rod ***Thermoproteus***



Thermoproteus je G- anaerobní hypertermofilní tyčka. Optimální růst je při teplotě 70- 97°C a pH mezi 2,5-6,5. Dobře roste ve vodním prostředí s vysokým obsahem síry. Energii získává anearobní respirací (substrát – glukóza, aminokyseliny, alkoholy, organické kyseliny)



chemolitotrofně



Autotrofní organismus

Doména *Archaea*

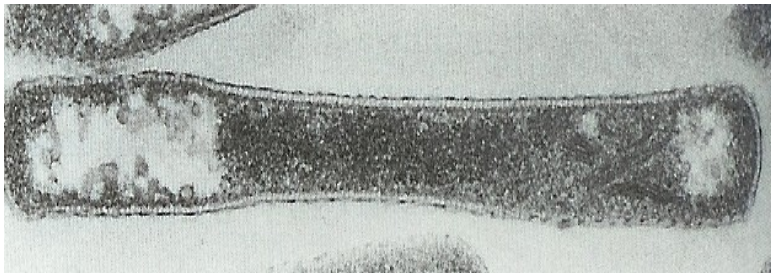
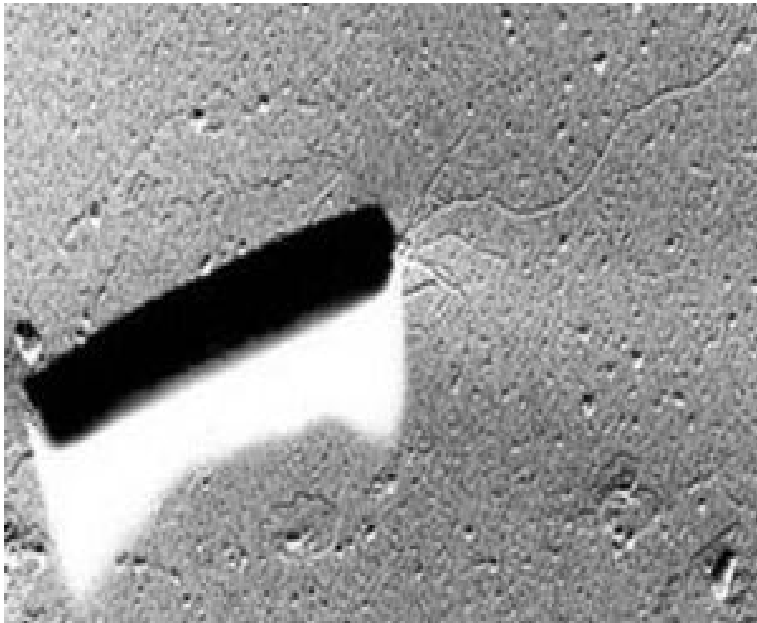
Kmen ***Crenarchaeota***

Třída ***Thermoprotei***

Řád ***Thermoproteales***

Čeď ***Thermoproteaceae***

Rod ***Pyrobaculum***



Buňky jsou ve tvaru tyček (téměř obdélníkové s pravoúhlými konci), někdy uspořádány do „V“.

Gramnegativní, neobsahují murein.

Pohyblivé pomocí bičíků (peritricha nebo amfitricha), fakultativně anaerobní nebo striktně anaerobní.

Hypertermofilní, optimální růstová teplota je kolem 100°C v mírně alkalickém nebo neutrálním prostředí.

Energii získávají anaerobní respirací – akceptorem H^+ a e je NO_3^- , S^0 nebo Fe^{3+} , nebo chemolitotrofií v přítomnosti H_2 .

Některé kmeny jsou schopny aerobní respirace

Doména *Archaea*

Kmen ***Crenarchaeota***
Třída ***Thermoprotei***
Řád ***Desulfurococcales***
Čeď ***Desulfurococcales***
Rod ***Thermosphaera***

Kokovité buňky se vyskytují jednotlivě, po dvou, v krátkých řetězcích nebo ve shlucích (podobné hroznům z několika až 100 jedinců).

Jednotlivé buňky mají více než 8 bičíků.

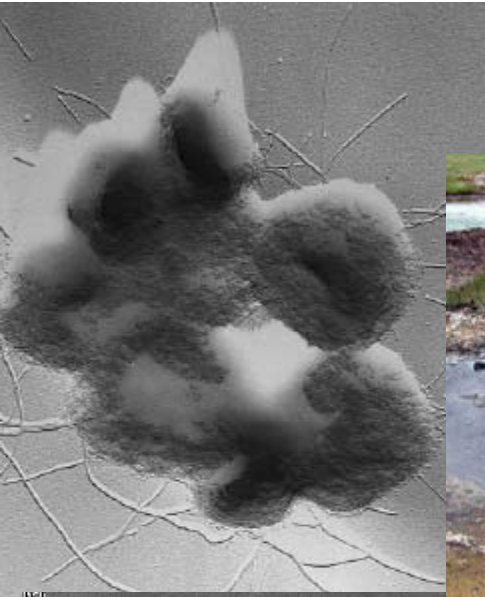
Povrch buněk je obdán amorfni vrstvou.

Ve stacionární fázi se vytvářejí agregáty buněk, viditelné pouhým okem, které mají bičíky.

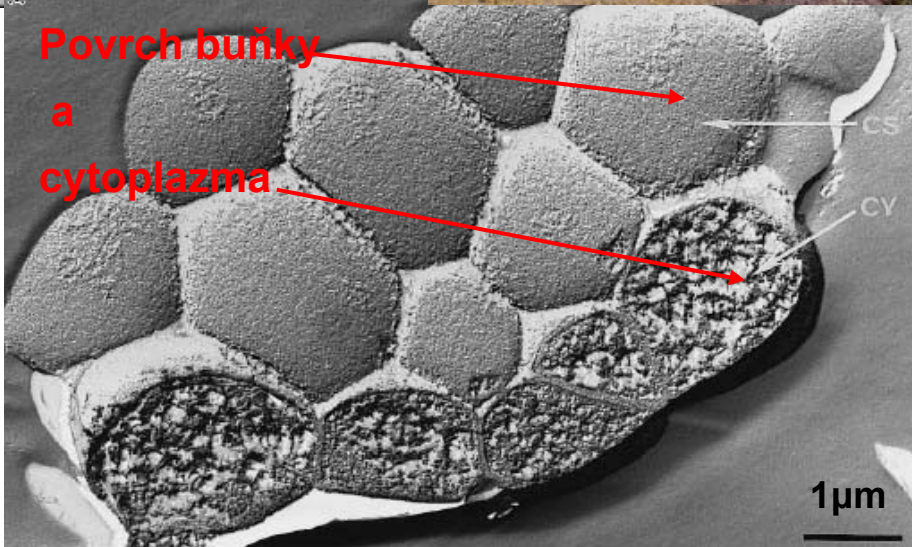
Jsou obligátně anaerobní, heterotrofní, hypertermofilní optimum 85°C; optimální pH v rozmezí 6,5 až 7,2.

Molekulární vodík nebo síra inhibují růst.

Izolovány v roce 1998 z pevninského horkého pramene (Yellowstone, USA).



Povrch buňky
a
cytoplazma

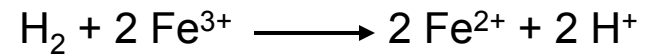


Doména Archaea

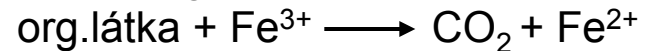
Kmen **Crenarchaeota**
Třída **Thermoprotei**
Řád **Desulfurococcales**
Čeleď **Pyrodictiaceae**
Rod **Pyrodictium**

buňky nepravidelného diskovitého tvaru a vyskytující se jednotlivě, jejich průměr je vysoce variabilní. Vytváří struktury tvaru tubul, které tvoří síť spojující buňky s vysokým obsahem elementární síry. Buněčná stěna je tvořena glykoproteinem. Je striktní anaerob, roste při více než 100°C

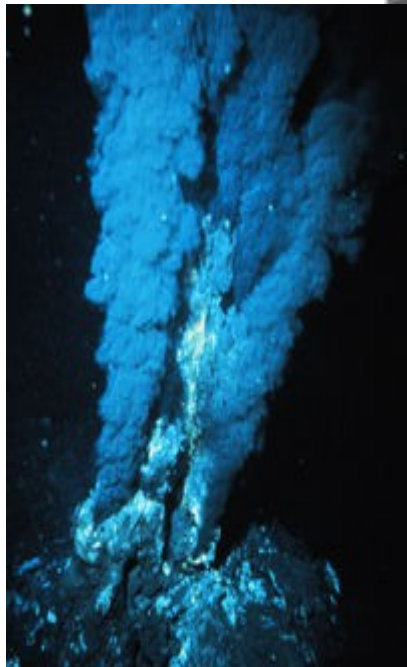
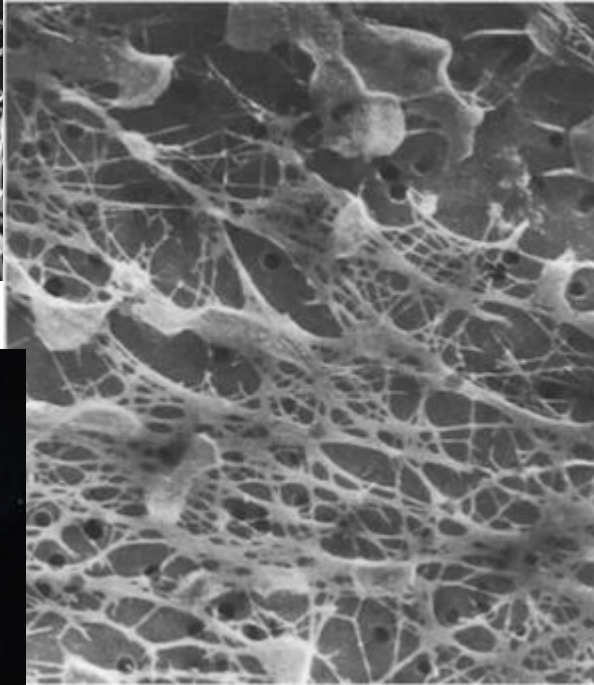
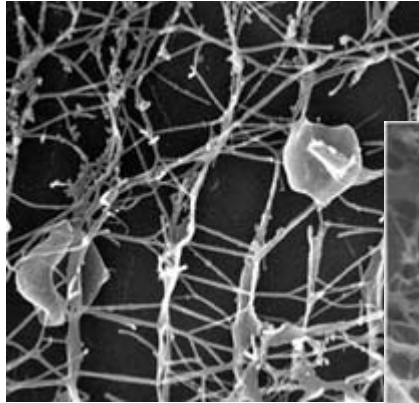
chemolitotrofně



chemoorganotrofně



They have a unique cell structure involving a network of cannulae and flat, disk-shaped cells. *Pyrodictium* are found in the porous walls of deep-sea vents where the temperatures inside get as high as 300o-400oC, while the outside marine environment is typically 3oC. *Pyrodictium* is apparently able to adapt morphologically to this type of hot-cold habitat.



hlubinný černě kouřících průduch

Doména *Archaea*

Kmen ***Crenarchaeota***

Třída ***Thermoprotei***

Řád ***Desulfurococcales***

Čeď ***Pyrodictiaceae***

Rod ***Pyrolobus***

Buňky jsou gramnegativní, nepohyblivé, pravidelné až nepravidelně laločnaté koky uspořádané jednotlivě nebo v krátkých řetězcích.

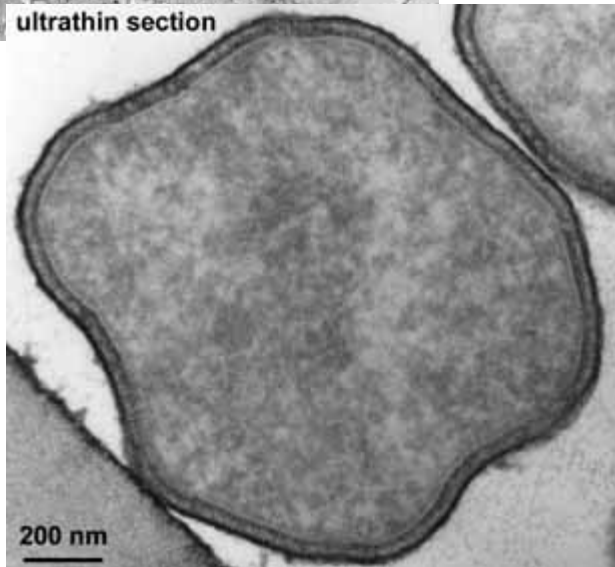
Buněčná stěna je složena z proteinů.

Rostou v rozmezí 90 až 113°C při pH 4 – 6,5 a koncentraci 1 – 4% NaCl.

Fakultativně anaerobní, obligátně chemolitotrofní – oxidace H₂ je spojena s redukcí NO³⁻ (na NH₄⁺), S₂O₃²⁻ (na H₂S) nebo při velmi nízkých koncentracích O₂ (na H₂O).

Izolovány jsou z hydrotermálních systémů v podmořských propastech.

Jsou extrémně termorezistentní – *P. fumarii* vydrží autoklávování při 121oC po dobu 10 hod. (množil se), zabit až 130oC



Doména *Archaea*

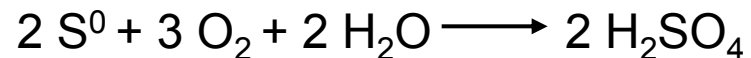
Buňka *Sulfolobus*
infikovaná
temperovaným
bakteriofágem

Kmen ***Crenarchaeota***
Třída ***Thermoprotei***
Řád ***Sulfolobales***
Čeď ***Sulfolobaceae***
Rod ***Sulfolobus***

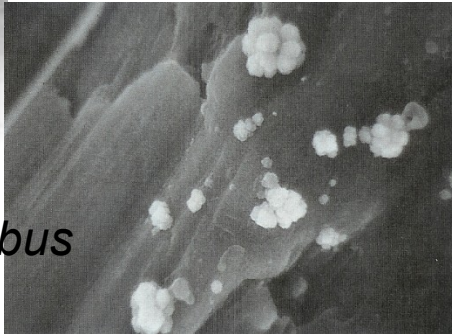
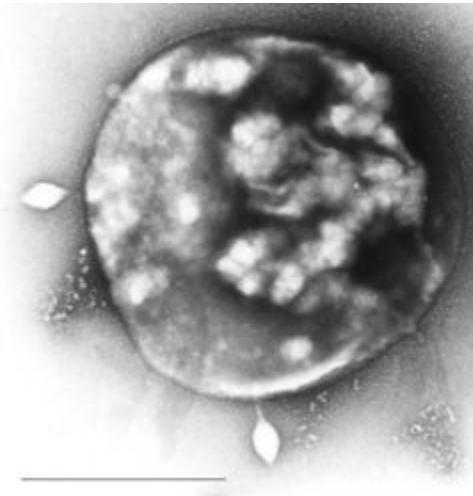
Jsou gramnegativní, kokovité, nepravidelné (často laločnaté, příležitostně kulaté), obvykle se vyskytují jednotlivě, nepohyblivé nebo pohyblivé jedním či více bičíky. Optimální růstová teplota v rozmezí 65 až 85°C, při pH 1 až 5. Metabolizmus:

Chemoorganotrofní (aerobní respirace)
 $\text{org.látka} + \text{O}_2 \longrightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$
(glykolýza, pentóza fosfátová dráha a TCA)

Chemolitotrofní



Izolovány z kyselých kontinentálních solfatarových polí (Yellowstone - USA, Nové Mexiko, Itálie, Nový Zéland, Japonsko, Azorské ostrovy, Sumatra)



Kolonie *Sulfolobus*



Yellowstone

Island



Základní charakteristika tří základních kmenů *Archaea*

- **Crenarcheota**

- extrémně termofilní *Crenarcheota* (chemolitotrofie, respirace siřných sloučenin)

- **Euryarcheota**

- metanogenní *Euryarcheota*

- extrémně halofilní *Euryarcheota*

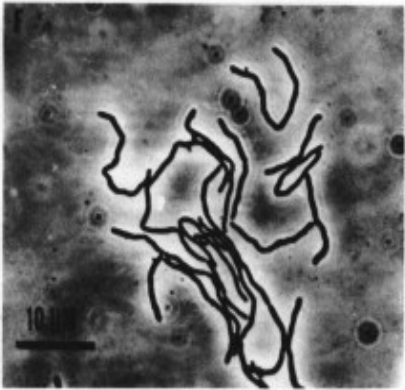
- termofilní *Euryarcheota* (respirace síry a síranů)

- **Korarcheota**

Euryarcheota

- *Euryarcheota* jsou velmi morfologicky i fyziologicky odlišné
- barví se grampozitivně nebo gramnegativně na základě přítomnosti či absenci pseudomureinu v buněčné stěně
- u některých tříd se buněčná stěna skládá výhradně z proteinů nebo není přítomna vůbec (*Thermoplasma*)
- v rámci kmene *Euryarchaeota* se nachází pět hlavních fyziologických skupin:
 - metanogenní archaea,
 - extrémě halofilní archaea,
 - archaea postrádající buněčnou stěnu,
 - sírany redukující archaea a
 - extrémě termofilní archaea metabolizující elementární síru

Doména *Archaea*



Kmen ***Euryarcheota***

Třída ***Methanobacteria***

Řád ***Methanobacteriale***

Čeď ***Methanobacteriaceae***

Rod ***Methanobacterium***

Buňky jsou grampozitivní zkroucené, zakřivené nebo rovné tyčky, nepohyblivé. Buněčná stěna je jednoduchá a složená z pseudomureinu.

Metabolismus je striktně anaerobní - H_2 a nebo formiát je využíván pro redukci CO_2 při metanogenezi.

Buňky jsou mezofilní nebo termofilní (35-70°C). Optimální pH 6.0 - 8.5, ale jsou značně acidotolerantní (mohou růst i při pH menším než 5).

Izolovány mohou být z anaerobního prostředí - rýžových polí, sladkovodních sedimentů, zamokřených půd, bacheru přežvýkavců.

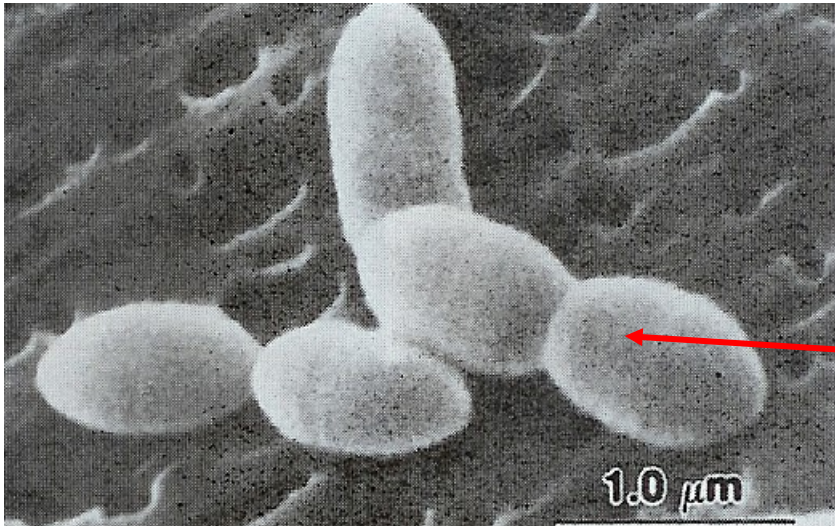
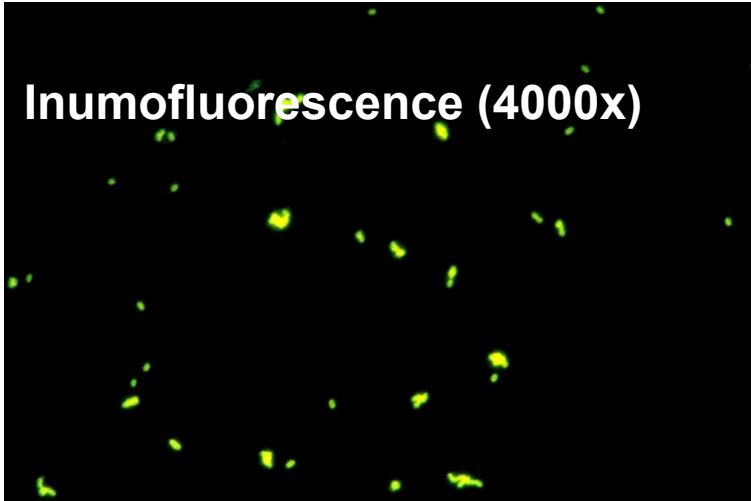
Využívají se i při výrobě bioplynu.

Inumofluorescence (4000x)



Doména *Archaea*

Inumofluorescence (4000x)



Kmen *Euryarcheota*

Třída *Methanobacteria*

Řád *Methanobacteriales*

Čeleď *Methanobacteriaceae*

Rod *Methanobrevibacter*

Buňky jsou grampozitivní oválné tyčky nebo koky. Vyskytují se obvykle po dvou.

Buněčná stěna je složena z pseudomureinu. Nepohyblivé, striktně anaerobní, teplotní rozmezí 30 až 45°C.

K redukci CO₂ za tvorby metanu využívají H₂ nebo formiát.

Vyskytují se v bachoru přežvýkavců (*M. ruminantium*), ve střevech termitů, v půdě rýžových polí.

M. smithi je u většiny lidí součástí normální mikroflóry tlustého střeva a představuje asi 0,001-12% celkového počtu živých buněk anaerobů; existují indicie, že se podílí na trávení polysachridů – zablokování těchto genů vedlo u myší k obezitě.

Doména *Archaea*

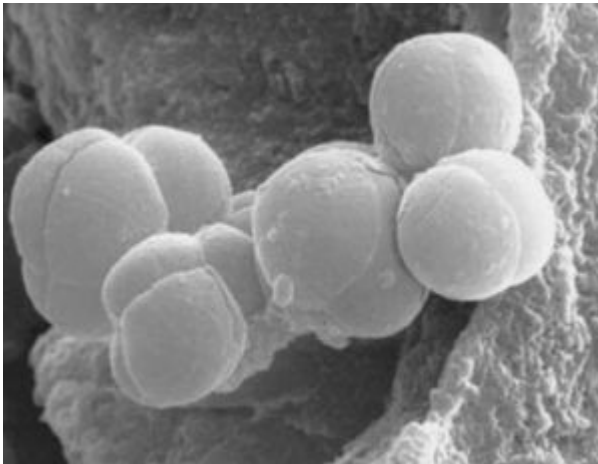
Kmen *Euryarcheota*

Třída *Methanobacteria*

Řád *Methanobacteriale*

Čeď *Methanobacteriaceae*

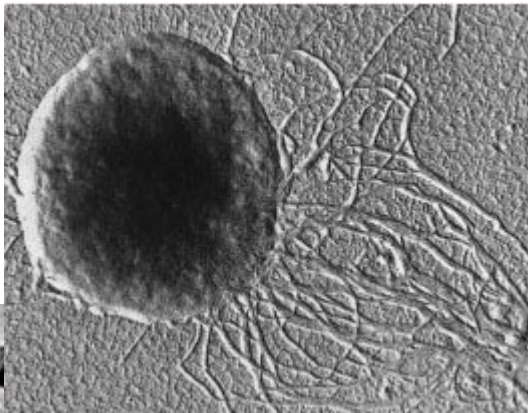
Rod *Methanosphaera*



Buňky jsou grampozitivní, sférické, po dvou, v tetradách nebo shlucích, nepohyblivé. Buněčná stěna je složena z pseudomureinu. Jsou striktně anaerobní. energii získávají anaerobní respirací redukcí CO_2 H_2 nebo využívají metanol (ale pouze v přítomnosti H_2). Některé kmeny vyžadují aminokyseliny a vitaminy pro svůj růst.

Methanosphaera stadtmanae je běžnou součástí mikroflóry tlustého střeva jak člověka, tak i zvířat – produkce metanu.

Doména Archaea



Kmen ***Euryarcheota***

Třída ***Methanococci***

Řád ***Methanococcales***

Čeď ***Methanocaldococcaceae***

Rod ***Methanocaldococcus***

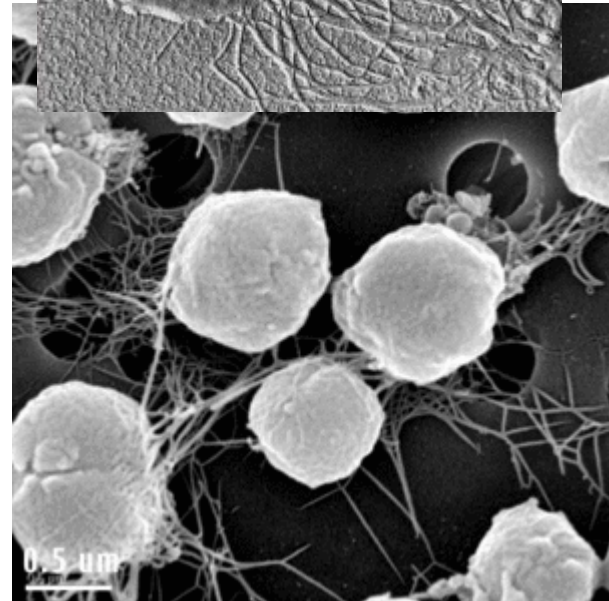
Buňky jsou gramnegativní, pravidelné až nepravidelné koky, většinou po dvou, pohyblivé pomocí dvou až tří svazků polárních bičíků. Buněčná stěna tvořena proteiny.

Hypertermofilní s teplotním optimem 80 až 85°C, obligátně anaerobní, pH optimum 5,2 až 7,6.

Obligátně metanogenní, k redukci CO₂ slouží výhradně H₂.

Vyskytují se v hlubinných mořských hydrotermálních průduších nebo sedimentech moří či oceánů

M.jannaschii může růst v prostředí o tlaku více než 200 atm. a při teplotě mezi 45-95 °C první sekvenovaná archea

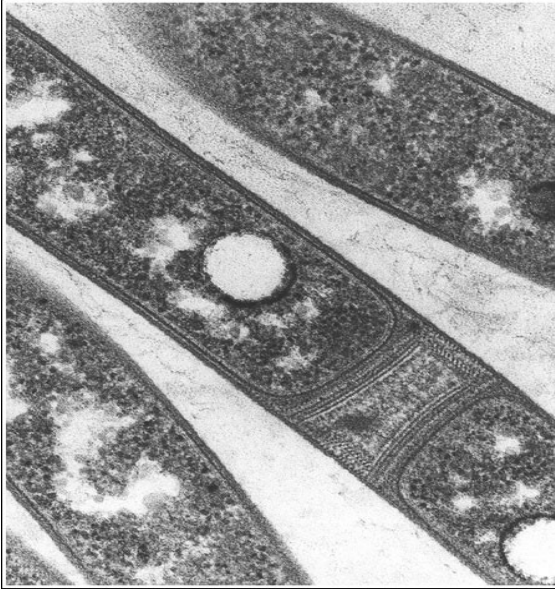


Methanocaldococcus jannaschii



White
smokers
2600m

Doména *Archaea*



Kmen *Euryarcheota*

Třída *Methanomicrobia*

Řád *Methanomicrobiales*

Čeď *Methanospirillaceae*

Rod *Methanospirillum*

Buňky jsou gramnegativní stejnoměrně zakřivené tyčky často tvoří zvlněná vlákna a pohybují se pomocí polárního svazku bičíků.

Jsou mezofilní a striktně anaerobní.

Jsou fakultativně metanogenní – k redukci CO_2 využívají H_2 nebo formiát; v přítomnosti jiných organických látek vystupují jako chemoorganotrofové.

Vyskytují se v odpadních vodách nebo sedimentech

Doména *Archaea*

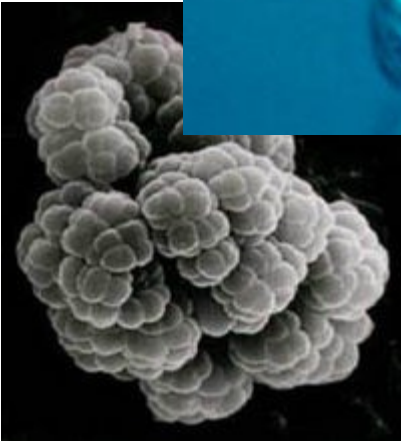
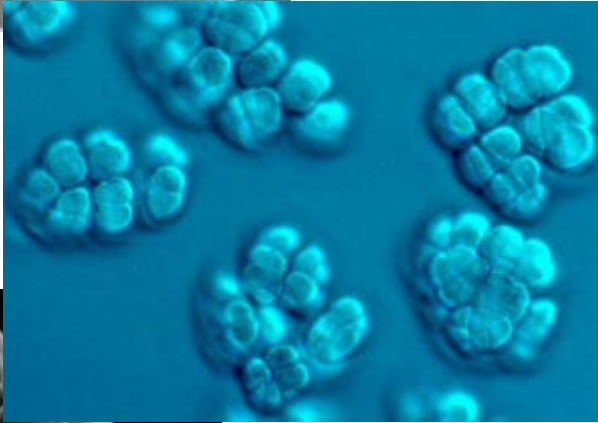
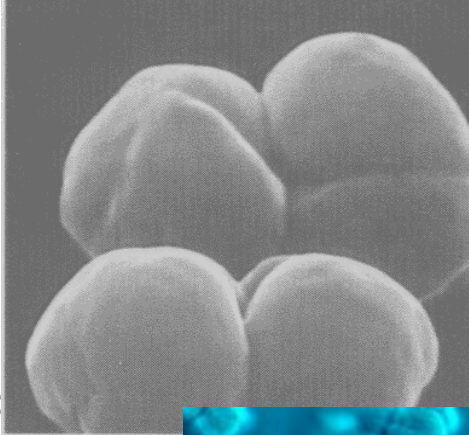
Kmen *Euryarcheota*

Třída *Methanomicrobia*

Řád *Methanosarcinales*

Čeď *Methanosarcinaceae*

Rod *Methanosarcina*



Buňky jsou gram variabilní, tvořící nepravidelná sférická tělesa vyskytující se jednotlivě nebo v typických seskupeních buněk (pseudosarciny).

Jsou mezofilní (30-40°C) nebo termofilní (50-55°C). Některé druhy však mohou růst i při teplotě 1-35 °C.

Buněčná stěna je složena z proteinů a nad ní může být vrstva tvořená heteropolysacharidy.

Při metanogenezi je jako substrát využíván acetát, metanol, trimethylamin, dimethylamin nebo monomethylamin.

Methanosarcina se vyskytuje jak v sedimentech sladkovodních, tak i mořských. Časté jsou i v zahradních půdách, odpadních jímkách, fekáliích, feces herbivorních živočichů, rumenu přežvýkavců nebo v bioreaktorech.

Doména Archaea



Halobacterium salinum



Halobacterium ve slané laguně u San Quentin, Baja California Norte, Mexico.

Kmen *Euryarcheota*
Třída *Halobacteria*
Řád *Halobacteriales*
Čeď *Halobacteriaceae*
Rod *Halobacterium*

Buňky jsou gramnegativní tyčkovitého tvaru, často pleomorfní. Jsou pohyblivé pomocí svazků polárních bičíků.

Některé kmeny mají plynné vakuoly. Halobacterie využívají aminokyseliny za aerobních podmínek.

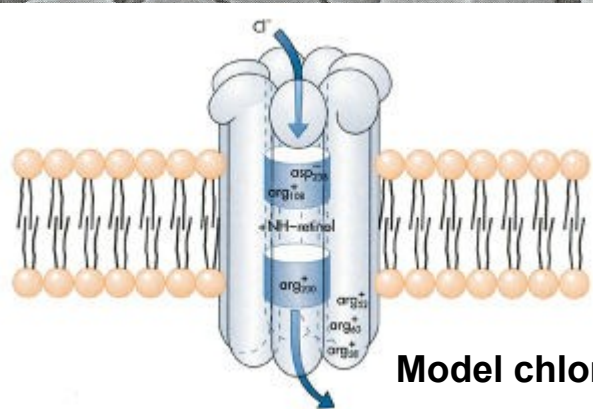
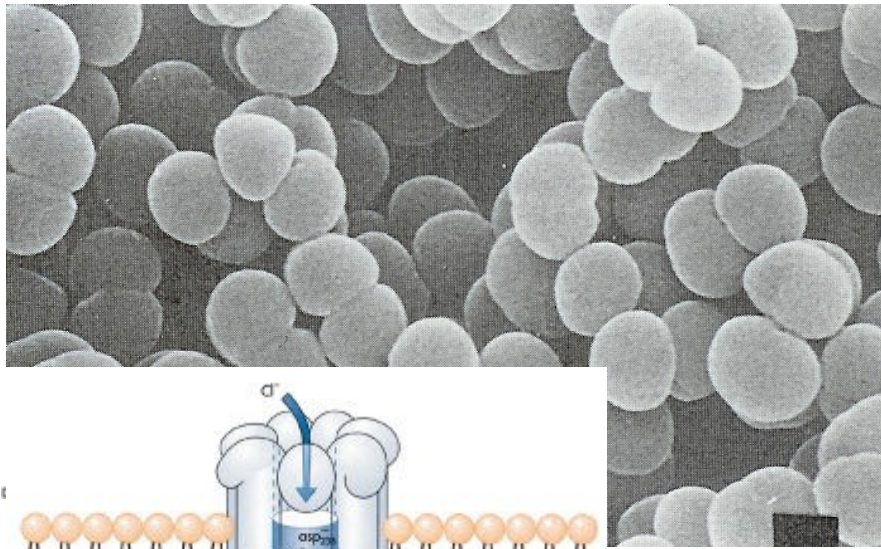
Extrémně halofilní (3,0 až 5,2 M NaCl), v teplotním rozmezí 20 až 55°C a při pH 5,5 až 8,5.

Obsahují pigment **bakteriorhodopsin**. Mají silné proteolytické vlastnosti.

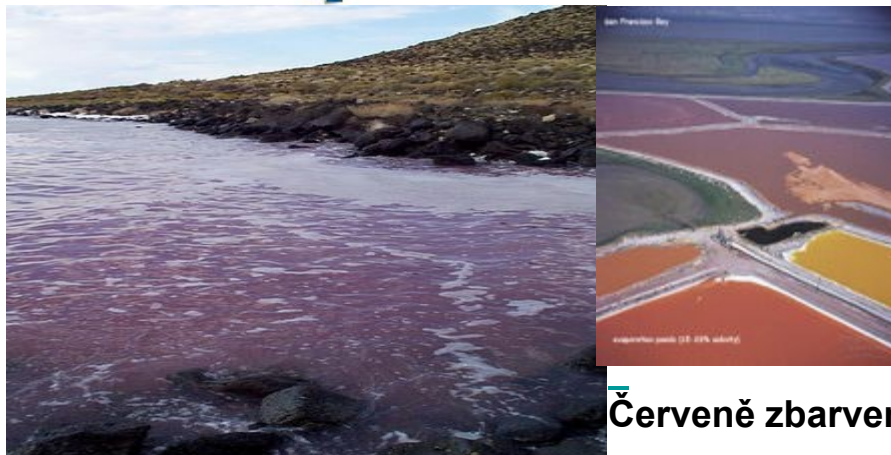
Nacházejí se v solných jezerech, podzemních solných ložiscích, případně i v solených potravinách.

Předpokládá se, že halobakterie mohou být jednou z forem života na Marsu.

Doména Archaea



Model chloridové pumpy



Červeně zbarvené sedimenty

Kmen *Euryarcheota*
Třída *Halobacteria*
Řád *Halobacteriales*
Čeleď *Halobacteriaceae*
Rod *Halococcus*

Koky se barví se převážně gramnegativně, vyskytující se po dvou, v tetradách, balíčcích nebo ve shlucích. Jsou nepohyblivé, striktně aerobní, chemoorganotrofní.

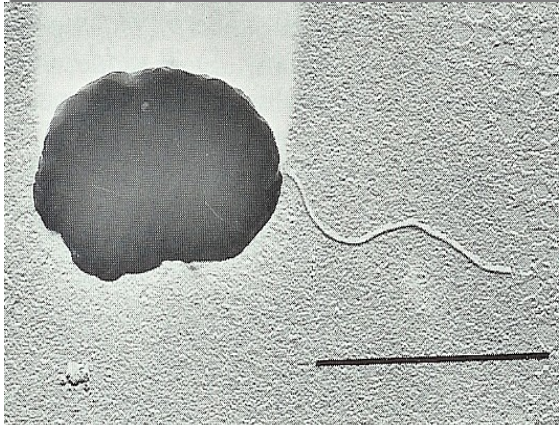
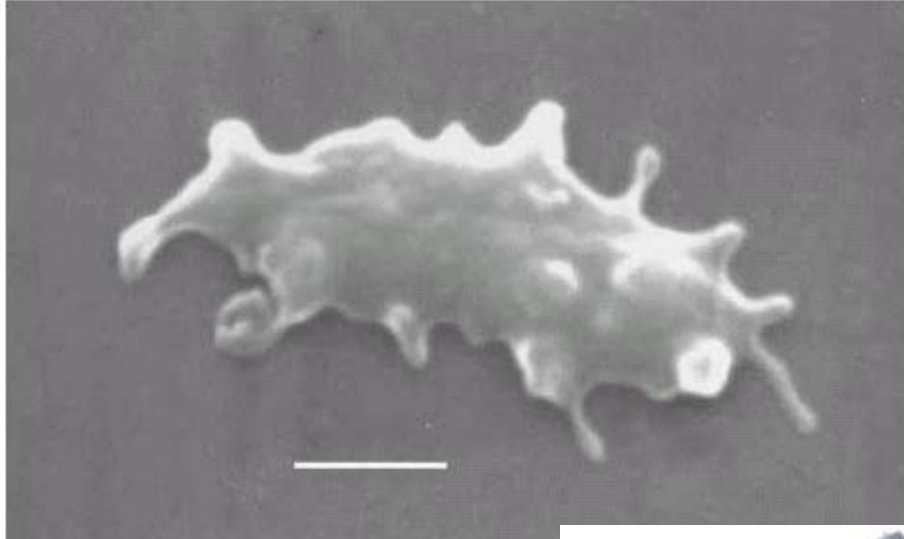
Některé jsou schopné fotosyntézy.

Extrémně halofilní, rostou v rozmezí 3,5 až 4,5 M NaCl (až 32% soli). Při teplotě 28 až 50°C a pH 6 až 9,5.

Mají specifickou chloridovou pumpu na vyrovnávání osmotického tlaku. Jejich výskyt je stejný jako u jiných halobakterií. Mohou také způsobit zkažení nasolených potravin.

V některých případech proteiny obsahují pigmenty, které způsobují načervenalé zbarvení lokality (Mrtvé moře na podzim).

Doména *Archaea*



Kmen *Euryarcheota*
Třída *Thermoplasmata*
Řád *Thermoplasmatales*
Čeleď *Thermoplasmataceae*
Rod *Thermoplasma*

Gram negativní buňky jsou pleomorfní (od sférických struktur po vláknité). Při nižších teplotách je sférické, při vysokých nepravidelná vlákna). **Buňky nemají buněčnou stěnu** a jsou obklopeny jednoduchou trojvrstevnou membranou (lipopolysacharidy, glykoproteiny, větvené diglycerol tetraetery) a mohou být pohyblivé jedním bičíkem. **DNA je stabilizována specifickým histonu podobným proteinem.** Fakultativně aerobní, obligátně termoacidofilní; optimální teplota pro růst je 55 až 60°C a pH 1,0 až 2,0. energii získávají anaerobní respirací (redukci síranů).

T. acidophilum obsahuje 1,564,905 párů bazí; kóduje ale 68 proteinů, které se nenachází u jiných archeí. Vyskytují se na uhelných haldách, v horkých pramenech a v kyselých solfatarových polích

Doména Archaea

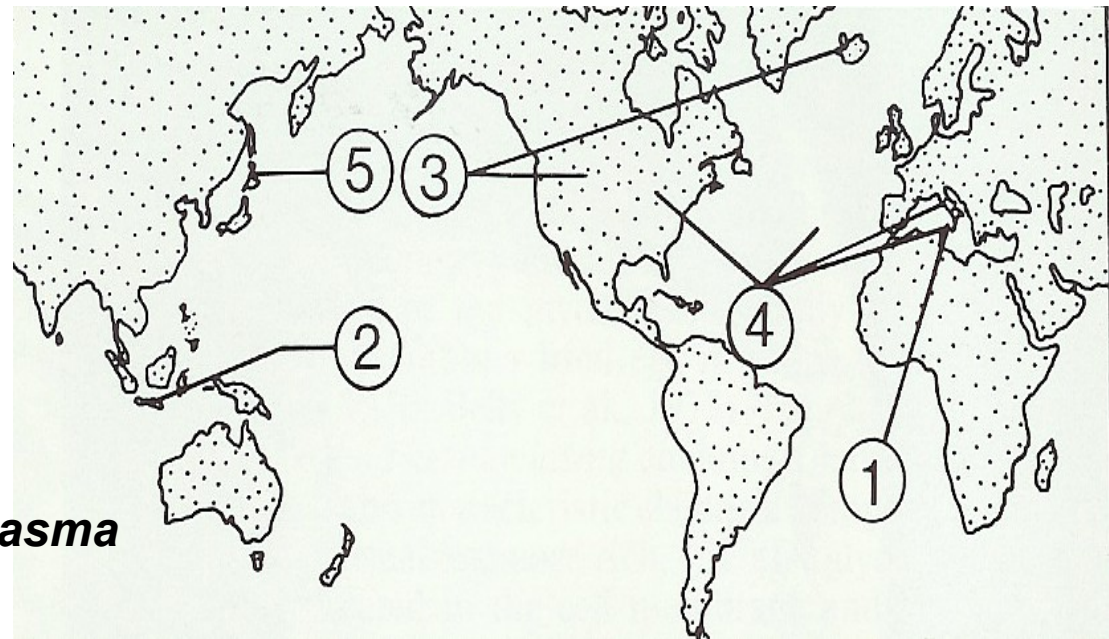
Kmen *Euryarcheota*

Třída *Thermoplasmata*

Řád *Thermoplasmatales*

Čeď *Thermoplasmataceae*

Rod *Thermoplasma*



Rozšíření rodu *Thermoplasma*

Doména *Archaea*

Kmen *Euryarcheota*

Třída *Thermococci*

Řád *Thermococcales*

Čeleď *Thermococcaceae*

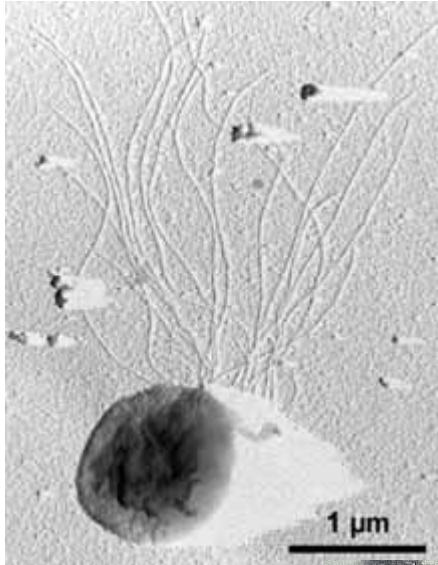
Rod *Thermococcus*

Koky se vyskytují jednotlivě nebo shlucích. Dělení buněk konstrikcí. Nepohyblivé nebo pohyblivé polárními svazky bičíků. Růst při 60-100°C (min. 50°C), a při pH 5-9.

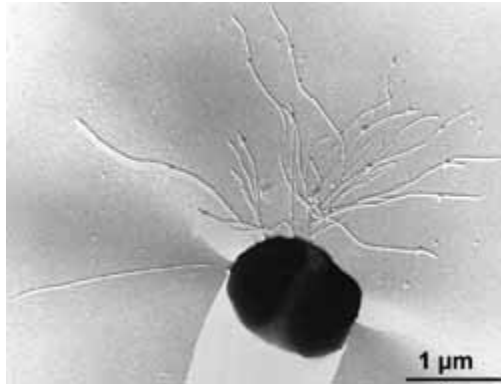
Jsou heterotrofní a využívají jako akceptor elementární síru (redukce na H₂S).
striktně anaerobní

Výskyt - pobřežní a podmořské solfatary, hlubokomořské hydrotermální průduchy, terestrické termální prameny.

T. kodakaraensis byl izolován ze solfataru (102°C, pH 5.8) na Kodakara Island, Kagoshima, Japan.



Doména *Archaea*



Kmen *Euryarcheota*

Třída *Thermococci*

Řád *Thermococcales*

Čeď *Thermococcaceae*

Rod *Pyrococcus*

Gramnegativní buňky jsou mírně nepravidelné koky, vyskytující se jednotlivě nebo ve dvojicích, s polárními bičíky.

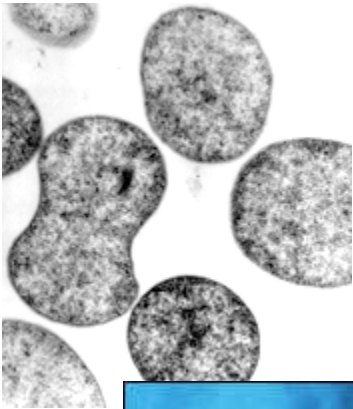
Buňky jsou obklopeny silným obalem .

Striktně anaerobní, heterotrofní.

Optimální růstové podmínky: pH kolem 7, koncentrace solí - 2.5%, a teplota - 98°C.

Výskyt: mořské hydrotermální průduchy, sedimenty mořských solfatár s teplotou 102 až 103°C, horké vývěry (plyn i tekutina) v aktivních sopečných komínech.

P. abyssi byl izolován v podmořském průduchu, kde byl tlak 200 atm a extrémně vysoká teplota.



Doména *Archaea*

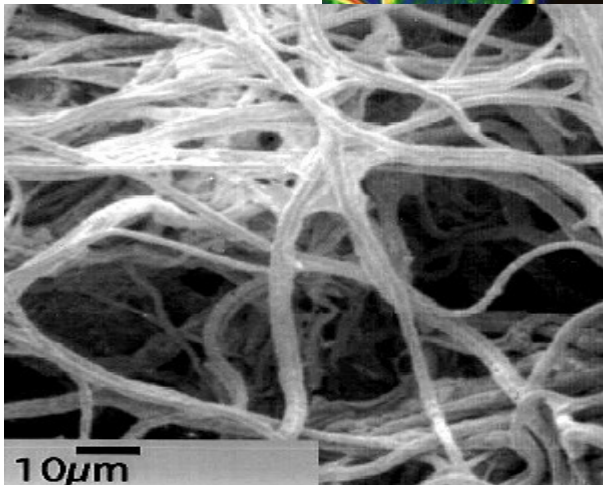
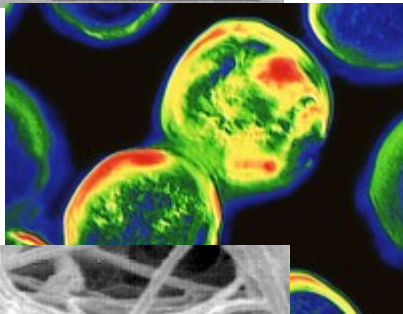
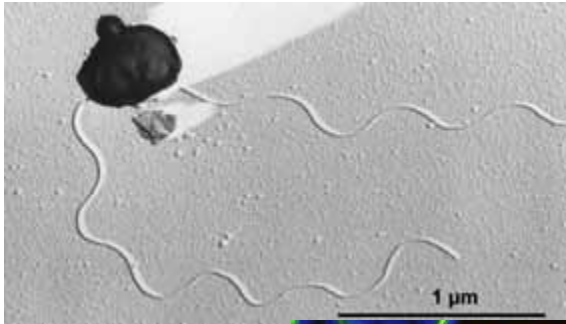
Kmen *Euryarcheota*

Třída *Archeoglobi*

Řád *Archeoglobales*

Čeď *Archeoglobaceae*

Rod *Archeoglobus*



biofilm

Buňky jsou gramnegativní, kokovité, jednotlivě nebo po dvou, monopolární bičíky.

Anaerobní a energii získávají anaerobní respirací – sulfát redukují až na H_2S (je přítomen APS).

Optimální teplota kolem $100^{\circ}C$.

Vytvářejí biofilm, který je složen z polysacharidů, bílkovin a kovů. Biofilm chrání populaci proti kompetici, predaci, nebo působení těžkých kovů.

Vyskyt: anaerobní geotermální mořské sedimenty, hydrotermální systémy hlubokých moří, krátery podmořských vulkánů.

Předpokládá se využití biofilmu při detoxikaci prostředí s obsahem těžkých kovů, případně jejich kumulaci.

Způsobují korozi kovů (těžební věže – Fe_2SO_4)

Doména Archaea

Kmen *Euryarcheota*

Třída *Methanopyri*

Řád *Methanopyrales*

Čeď *Methanopyraceae*

Rod *Methanopyrus*

M. kandleri se barví gram pozitivně a buňky jsou dlouhé 2-14 μm a široké 0,5 μm .

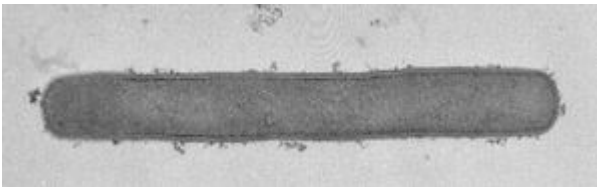
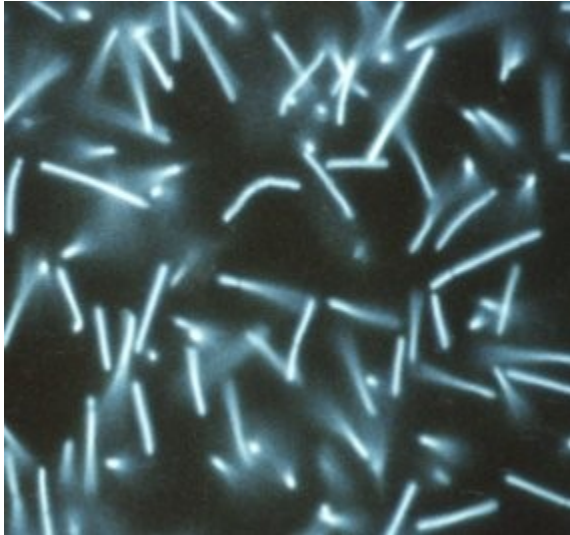
Bičíky jsou umístěny polárně.

Cytoplazmatická membrána je jednoduchá (temperoidní lipidy).

Buňka obsahuje velké množství **cyklického 2,3-difosfoglycerátu** (v buňce 1 molární koncentrace), který udržuje stabilitu intracelulárních enzymů a DNA.

Metan je produkován z CO_2 a H_2 a při této autotrofii je generační doba kratší než 1 hodina při teplotě vyšší než 100°C .

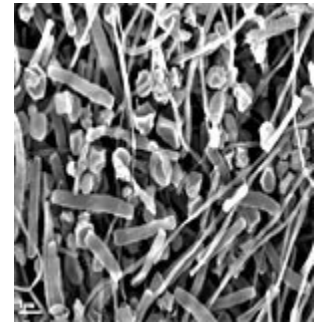
Methanopyrus je hlavním producentem metanu v horkých oceánských sedimentech. Byl zjištěn ve 2000m kráteru a teplota byla více než 350°C . Běžně roste při teplotách vyšších než 110°C . Některé kmeny se množí i při 122°C !



Základní charakteristika tří základních kmenů *Archaea*

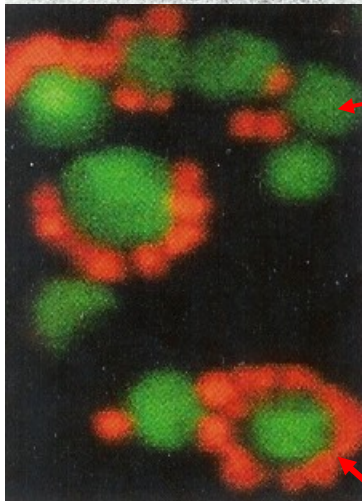
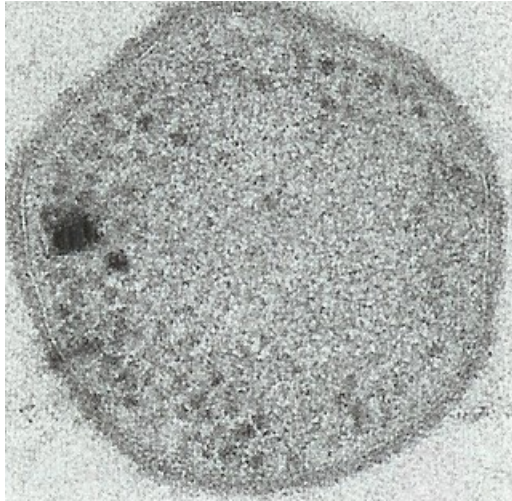
- *Euryarcheota*
 - metanogenní E.
 - extrémně halofilní E.
 - termofilní E. (respirace síry a síranů)
- *Crenarcheota*
 - extrémně termofilní (chemolithotrofie, respirace sirných sloučenin)
- *Korarcheota*

Doména *Archaea*

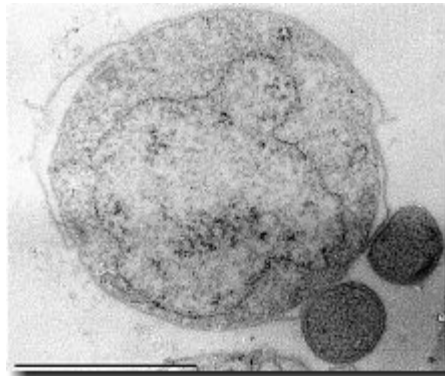


- Kmen *Korarchaeota* byl popsán teprve nedávno (1996 Yellowstone). Známa je pouze sekvence DNA. Podrobnější informace o nich dosud nejsou
- Hydrotermální prostředí – vysoké teploty
- Organizmy jsou nekultivovatelné
- Zařazení bylo provedeno jen na základě analýzy sekvencí genů pro rRNA . Organizmy byly izolovány z terestrických horkých pramenů

Doména Archaea



Igneococcus



Nanoarchaeum

- **Nový kmen *Nanoarcheota***
 - *Nanoarchaeum* je rod velmi malých kokoidních buněk, které žijí jako parazité nebo jako symbionti. Jejich velikost je 0,4μm (1% *E.coli*).
 - Buččná stěna – S vrstva
 - Buňky *Nanoarchaeum* se replikují pouze pokud jsou připojeny na povrch hostitele *Igneococcus* (čeleď *Desulfurococcaceae*) – obligátní symbiont. Buňky jsou jednotlivě, ve dvojicích nebo připojené na *Igneococcus* (více než 10). Vyskytují se v hydrotermálních systémech hlubokých moří nebo terestrických horkých pramenech (90oC)
- 16S rRNA – zcela odlišné od ostatních *Archaea*

Genom je velký pouze 0,49Mbp a je to nejmenší dosud známý genom

- **Žádné geny pro metabolické funkce ani katabolismus**
- **Některé geny pro ATPazu**
- **Geny pro replikaci DNA – transkripci i translaci**

Biotechnologický potenciál *Archaea*

- Odpadové hospodářství (společenstva s *Eubacteria*)
- Proteiny S-vrstev (ultrafiltrace, nanotechnologie)
- Enzymy termofilů (hydrolýza sacharidů, proteinů, restriční endonukleázy)
- Modely pro testování kancerogenity
- Biosensory, mikroelektronika (bakteriorodopsin, membrány halobakterií)
- Produkce plastů na základě zásobních polymerů
- Biologické loužení rud