

průhledy

Ze života bakterií



ACADEMIA

Jiří Schindler

ZE ŽIVOTA BAKTERIÍ

Publikace byla vydána s podporou Akademie věd České republiky

Ze života bakterií

Jiří Schindler

ACADEMIA
Praha 2008

KATALOGIZACE V KNIZE – NÁRODNÍ KNIHOVNA ČR

Schindler, Jiří

Ze života bakterií / Jiří Schindler. – Vyd. 1. – Praha :
Academia, 2008. – 144 s., 16 s. barev. obr. příl. : il. –
(Průhledy ; sv. 5)
ISBN 978-80-200-1666-9 (brož.)

579.81/.87 * 616.9-022.7

- bakterie
- bakteriologie
- bakteriální nemoci
- populárně-naučné publikace

579 – Mikrobiologie [2]

Obsah

Předmluva	7
1. O bakteriích a lidech	9
2. Co jsou vlastně bakterie?	11
3. Jak se bakterie třídí a zařazují do systému	16
4. Sex bakterií	19
5. Pohyb bakterií	24
6. Putování k potravě a útěk od jedů	34
7. Kolonie bakterií jako organizovaný útvar mnoha buněk	38
8. Bakterie spolu hovoří	52
9. Život napúl. Spící bakterie, nebo zombie?	59
10. Biofilm	61
11. Nepřátelé bakterií. Nepřátelé?	74
12. Normální flóra člověka	82
13. Nástroje patogenity	85
14. Pozoruhodné druhy bakterií	94
15. Určení původce onemocnění	108
16. Člověk ve světě bakterií	113
17. Rub a líc antibiotik	117
18. Homunculus, golem, <i>Mycoplasma laboratorium</i>	134
Poděkování	137
Rejstřík	139

Předmluva

Jak a co psát o bakteriích

Není snadné napsat stručné pojednání o tématu tak obsáhlém, jako jsou *bakterie*. Byl to pro mne úkol o to těžší, že jsem musil vystačit s nabídnutým rozsahem určeným zaměřením edice a zároveň knihu napsat tak, aby jí porozuměl i čtenář laik. Proto mne při rozhodování o jejím obsahu a formě provázely pochybnosti. Obsah následujících kapitol je zcela subjektivní, stejně jako výběr z mnoha okouzlujících témat spojených s životem bakterií; vlastní přístup je uplatněn, i pokud jde o rozsah a hloubku zpracování jednotlivých kapitol. Vynechána jsou témata jako paměť bakterií, sociální chování bakterií *Myxococcus xanthus*, anerobióza, neukončená debata o definici druhu, rodina nekódujících ribonukleových kyselin, bakteriální toxiny, apoptóza, rozlišování uvnitř bakteriálního druhu, klony, stres bakterií a funkce takzvaných provozních genů.

Vědecké bádání přináší stále nová a složitější fakta, jejichž srozumitelnost a význam bývají skryty za detaily. Jeden z koryfejí americké mikrobiologie, Moselio Schachter, to vyjádřil takto: „*Současně s tím, jak se vědecké práce více a více specializují, stávají se mimo svůj obor stále více nestravitelnější. Příležitostní čtenáři, jichž je většina, se tak v odborných člancích těžko dostávají k jádru věci.*“

S problémem popularizace specializovaného vědního oboru jsem se při psaní této knihy potýkal i já. Stál jsem před úkolem najít proporcí mezi hloubkou a exaktností pojednání, tak aby čtenáři přineslo co nejuplněnější poznatky. Položí-li se totiž na jednu misku vah snaha o věcnou přesnost a na druhou účinnost oslovení, tíha jedné oslabuje druhou. To znamená, že ve prospěch přístupnosti textu je třeba šetřit s odbornými termíny, vzdát se vědecké důkladnosti a mnoha detailů.

Dilema vědce písícího pro veřejnost vystihl pěkně v článku „O nesrozumitelnosti“ uveřejněném v časopisu *Vesmír* (únor 2007) Ivan Havel, který v něm naznačil, co vede autory vědeckých pojednání k tomu, že je výsledek jejich snažení nakonec tak špatně čitelný: „... *počínaje množstvím cizích slov a termínů a konče projevy podvědomého autorova strachu, že se před vlastními kolegy shodí*“. Je to tak, Ivan Havel uhodil hřebíček na hlavičku.

Abych prozradil kroky, jež logicky vedly k tématu této knížky, musím čtenáři osvětlit svůj osobní přístup. V raném mládí mě pohled mikroskopem na bakterie zasáhl jako zjevení. Zíral jsem na ty obarvené nehybné „tvory“, i na ty živé, mrštně se pohybující jakoby bez cíle sem a tam. Fascinující je i pohled na bakterie rozeseť v mikroskopickém preparátu sekretu nebo hnisu. V mrtvé nehybnosti je jejich přítomnost němým poselstvím nemoci. Zjistil jsem, že pozorovat bakterie je stejně úžasné jako

dívat se vzhůru na hvězdy. Ten, kdo jde za poznáním, dozvídá se další a další zajímavé skutečnosti, a od představy ohromující síly a mechanismů vesmíru dospěje k touze porozumět nekonečnu prostoru a konečnosti života na Zemi.

Mikrosvět a makrosvět představují jedno a totéž tajemství. Jedno i druhé se postupně odhaluje, mezery se vyplňují hypotézami a dál se vyjevují tajemství nová.

1. O bakteriích a lidech

Pouhý pohled na bakterie zůstává na povrchu a jen málo toho prozrazuje o dynamice a složitosti jejich života. Pozvolný postup výzkumu, sestupujícího do spodních pater mikrosvětla k jeho molekulám a atomům, přináší nová poznání, odhaluje složitost životních pochodů bakterií a vztahy v jejich společenství.

Bakterie, které obklopují a vyplňují tělo člověka, jsou jen útlou podmnožinou všech asi 3000 dosud známých bakterií vyskytujících se na Zemi z předpokládaného milionu druhů. Mají překvapivé životní projevy, jež řídí koordinovaně, pracují pomocí drobných složitéch strojků, mechanicky poháněných chemickou energií, pohybují se za potravou a prchají od jedovatých látek, vzájemně komunikují, a pokud to potřebují, kooperují, avšak v ohrožení jsou si antagonisty. Chovají se jinak, když je jich málo, a jinak, když jejich populace houstne. Mají své loupeživé nepřátele z řad bakterií a škodí jim jejich vlastní viry. Umějí vytvářet společenství složitých struktur, v nichž se mění jejich vlastnosti.

Elementární povědomí o mikrobech si lidé odnášejí ze základní a střední školy. V běžném životě se zvěst o bakteriích čas od času objeví ve zpravodajství a publicistice, a sice v takové formě, že jsou „nebezpečné“, „zákeřné“, že na nás „útočí“. Kategorie jsou tu jasně vymezeny: bakterie jsou zlé, škodí všem, proto pryč od nich! Proti nim stojí antibiotika. Ta je zneškodní u každého sportovce, kterého nám ukáže obrazovka: bolí ho v krku a nemohl by startovat.¹ Tento názor, podepřený pocity, pramení z historie epidemií moru, skvrnitého tyfu, cholery, břišního tyfu, úplavice, syfilidy, později záškrtu a spály. Avšak bakterie kromě toho, že lidskému tělu škodí a mohou je i usmrtit, mu také prospívají, což není všeobecně známo. Jejich arzenál je nápadný, ale i zcela subtilní a nenápadný. Antibiotikům se umějí bránit jako jednotlivci i jako populace.

V následujících kapitolách se dozvíte o bakteriích, které mají intimní vztah k člověku. Jsou kolem člověka, na něm i v něm. Uvnitř těla jsou jen tam, pokud prostor vystlaný sliznicí bezprostředně souvisí s vnějším prostředím. Do styku s člověkem se bakterie dostávají z vody, z půdy, ze vzduchu, od zvířat, a zejména od lidí. Zabývá se jimi lékařská mikrobiologie. Zde pojednáme jen o některých významných a pozoruhodných druzích původců infekčních onemocnění, dokumentujících rozmani-

¹ Mikrobi jsou na tom v televizi vůbec špatně. Zatímco po nějaké vraždě, vlepené facce, či když někdo počmárá zdi, ve zprávách vyletí na obrazovku jako čertík psycholog s několikavteřinovou ohromující moudrostí, na mikrobiologii si redaktoři při pravidelných nudných podzimmích šotech o burčáku a slivovici nikdy nevzpomenou. Je mi vždycky kolegů technických mikrobiologů líto.

tost bakterií a jejich úlohu v životě lidí. Budeme se zabývat i některými problémy zdravotnickými, o něž mají čtenáři trvale živý zájem.

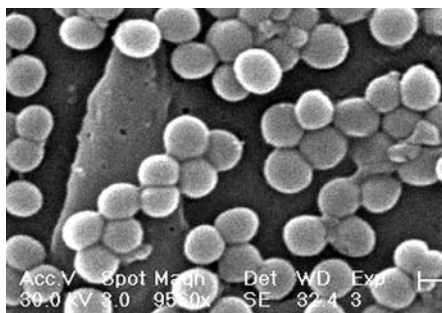
Na vymezeném prostoru se nelze věnovat všem stránkám života bakterií. Proto jsou vybrány nové informace, které podněcují k zamyšlení. Snažil jsem se vybrat z rozmanitého života bakterií fragmenty, které o nich poskytují poutavý obraz. Přitom jsem nemohl pominout zmínku o chování bakterií ve společenství ani kritiku názorů, které bakteriím přisuzují inteligentní chování.

2. Co jsou vlastně bakterie?

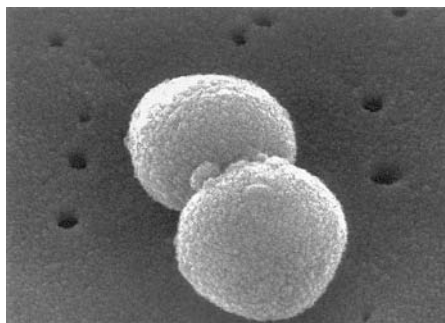
Začněme obvyklou definicí, která praví, že bakterie jsou jednobuněčné organismy o velikosti řádu tisícín milimetru. Jsou různého tvaru, buď mají nejmenší povrch v daném objemu jako kulovité koky, nebo jsou podlouhlé ve tvaru tyčinek, vláken a všelijak zprohýbané jako rohlíčky, vývrtky, spirály, plácačky (obr. 2-1, 2-2, 2-3, 2-4, 2-5 a 2-6 v příloze).



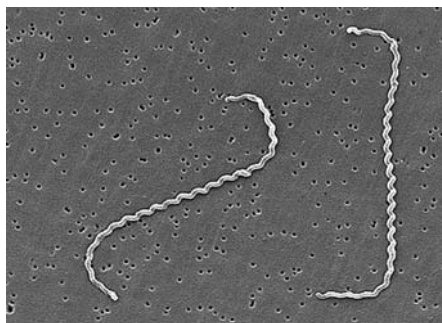
2-1: Tyčinkovitá bakterie $2-3 \times 0,8 \mu\text{m}$. Elektronoptický snímek *Escherichia coli*, která může být i delší – přes $10 \mu\text{m}$.



2-2: Sférické bakterie o průměru $1 \mu\text{m}$ – koky lpící při sobě vytvářejí shluky přirovnávané k vinným hroznům. Elektronoptický snímek bakterie *Staphylococcus aureus*.



2-3: Koky o průměru $1 \mu\text{m}$ tvoří charakteristické dvojice, proto jsou nazývané diplokoky. Elektronoptický snímek bakterie *Streptococcus pneumoniae*.

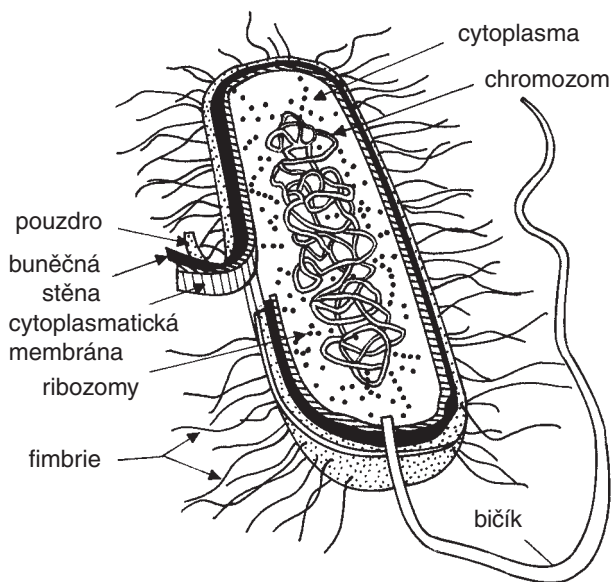


2-4: Do jemné vývrtky stočené tenké tělo bakterie s hustými závitmi, dlouhé $6-20 \mu\text{m}$, silné jen $0,1 \mu\text{m}$, na konci typicky esovitě zahnuté. Elektronoptický snímek *Leptospira interrogans*.

2-5: Štíhlé tělo bakterie, několikrát v jedné rovině prohnuté, o délce 3 μm , silné kolem 0,7 μm . Elektronoptický snímek kampakylobakteru.



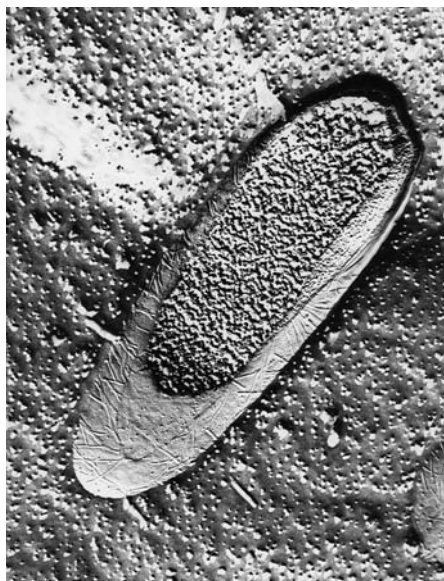
Od buněk živočišného těla se bakterie liší hlavně tím, že ač je jejich genetická informace vázána také na DNA v jakémsi jádře, není toto jádro ohraničeno membránou a neobsahuje jadérko. Buňky se „správným“ jádrem se označují jako *eukaryotní*, zatímco buňky bakterií jako *prokaryotní* (obr. 2-7). Funkci jádra má jediný chromozom, jenž nese geny a označuje se jako *genom*. Kromě chromozomu může být DNA v cytoplasmě ještě ve formě plasmidu. V cytoplasmě jsou ještě výrobci bíl-



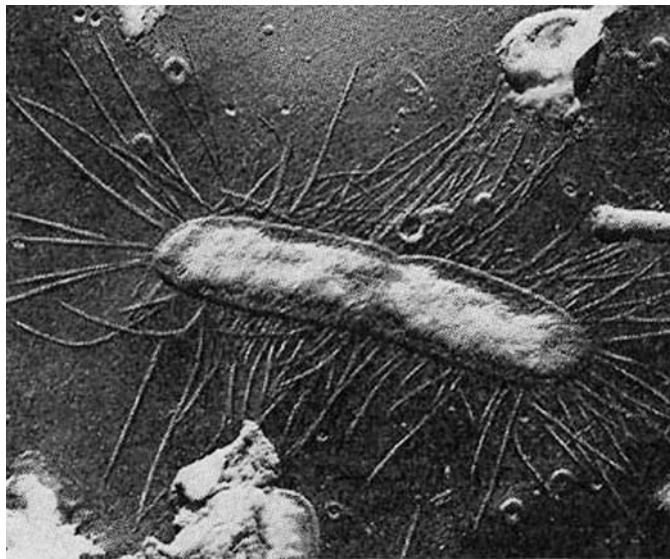
2-7: Struktura bakteriální buňky.

kovin – ribozomy. Navenek je bakterie ohraničena cytoplasmatickou membránou, tuhou a pevnou buněčnou stěnou (obr. 2-8), u některých bakterií silnější, u jiných tenčí. Ty ještě mají na sobě složitou vnější membránu. Na povrchu je bakterie vybavena důležitými strukturami pro styk s okolním světem: pro mechanickou ochranu a obranu, pro zabydlení se na zvoleném povrchu a k útoku přilnutím na buňky hostitele, pro přenos genetické informace na jiné bakterie i jako čidla stavu vnějšího prostředí (obr. 2-9).

Přirozeným prostředím pro bakterie je voda, půda, povrch těla a sliznice živočichů. Přechnodně se také vyskytují ve vzduchu, buď samotné, jsou-li unášeny větrem, nebo, častěji, na částech prachu. Jsou schopny žít i za extrémních fyzikálních a chemických podmínek – v hlubinách oceánů odolávají vysokému tlaku, v horkých pramenech vysoké teplotě (některé se množí i při teplotě 121 °C). Odolávají záření v dávkách pro člověka smrtelných, v Mrtvém moři vysoké koncentraci solí, v přírodě i v žaludeční šťávě vysoké kyselosti. Některé jsou velmi náročné, mohou růst jen v prostředí živočišného těla, a některé dokonce jen uvnitř jeho buněk. Největší bakterie je dosti velký kulovitý cvalík o průměru 750 μm, takže je vidět pouhým okem, některé z nejmenších bakterií člověku prospívají svými produkty při úpravě potravin, nápojů nebo jsou surovinami pro chemický průmysl, jiné dodávají svému hostiteli prospěšné nebo dokonce nezbytné produkty přímo v jeho těle.



2-8: Povrchové struktury bakteriální buňky *Escherichia coli*. Speciální technikou byla tangenciálně odříznuta vnější vrstva (lipoproteinová) buněčné stěny, odkryta vnitřní (mukopeptidová) vrstva vnější membrány, pod ní pruh cytoplasmatické membrány. (Technika a elektronoptický snímek J. Šmarda.)



2-9: Fimbrie, krátké přívěsky na povrchu buňky *Escherichia coli*, sloužící kromě jiného k přilnutí k pevnému povrchu, například na buňku sliznice.

Historicky prvním a nejzávažnějším objektem zájmu byly bakterie, které mohou člověku přinést závažnou zdravotní újmu – bakterie choroboplodné čili patogenní. Spolu s nimi pak byly studovány bakterie, které se u člověka vyskytují a onemocnění mu nezpůsobují. Vztah bakterie a člověka sice není jednoduchý, ale na druhé straně zas ne tak složitý. To, zda vznikne infekční onemocnění, závisí současně na míře patogenity bakterie a obranyschopnosti organismu. Složitě je však řízení – virulence u bakterií a míra imunity u hostitele.

Uvězněné bakterie

Chceme-li poznat vlastnosti bakterií, musíme je izolovat z jejich přirozeného prostředí a studovat na přístupném místě metodou popisu a experimentu. Takovým přístupným místem je bezpochyby bakteriologická laboratoř. Vzhledem k jejich dosud svobodnému způsobu života je pro bakterie laboratoř vězením, v němž se jim podle mínění věznitele poskytují optimální výživa a fyzikální podmínky. Metod studia je celá řada, od jednoduchých a základních až po složité metody fyzikální, chemické a genetické.

Práce v laboratoři

Bakterie se izolují ze vzorku odebraného z prostředí. Vezměme jako příklad vyšetření v klinické mikrobiologii. Vzorek odebraný třeba ze sliznice se přenese do živné půdy, zprvu nejlépe do tekuté, jíž je nejčastěji obměna masového bujonu. Bakteriím se poskytnou nejméně 18 hodin – to jest takzvaně „přes noc“ –, aby se mohly pomnožit. V optimálním případě jich tam v 1 ml vyrostou kolem jedné miliardy. Vyrostou tam ovšem všechny druhy přítomné v odebraném vzorku. Abychom od sebe oddělili jejich jednotlivé buňky, ponoříme do půdy zakalené bakteriemi nástroj zvaný bakteriologická klička (obr. 2-10, v příl.), v jejímž očku ulpí několik mikrolitrů tekutiny, která se určitým způsobem rozetře po povrchu takzvané tuhé půdy. Základem tuhé půdy je opět masový bujon s obsahem agaru, čištěné mořské řasy, která za pokojové teploty vytvoří gel, podobně jako u cukrářských zákusků s ovocem. Ostatně se říká, že Robert Koch, který na tento způsob izolace jednotlivých bakterií a jejich další kultivace přišel, se inspiroval v kuchyni své paní. Zní to dobře, ale asi to tak není. Kdoví.

Izolované bakterie vyrůstají v koloniích. Podle jejich vlastností – velikosti, tvaru, konzistence, zbarvení, utváření povrchu a ohraničení proti okolí – lze přibližně poznat,

o jaký druh asi jde. Konečné určení je však možné až po zjištění tvaru a barvitelnosti pomocí mikroskopu a provedení dalších testů, například testů jejich biochemické aktivity. Tyto testy pak zjišťují, jaké cukry bakterie štěpí, jaké jsou produkty štěpení bílkovin nebo metabolismu určitých aminokyselin. Jednotlivé testy se provádějí buď ve zkumavkách (obr. 2-11, v příl.), nebo dnes většinou jako mikrotesty (obr. 2-12, v příl.), v objemech několika mikrolitrů v plastových nádobkách. Jejich výsledkem je změna nebo tvorba určitého zbarvení půdy přidáním barevným indikátorem. V této fázi je už určen jeden či více druhů přítomných bakterií podle expertní znalosti mikrobiologa, nebo i automaticky pomocí počítače. Znalost původce onemocnění však nestačí, je nutno navrhnout léčbu antibiotikem. Zjišťuje se tedy citlivost mikroba na antibiotika. Popsaný způsob je základní vyšetření a má mnoho modifikací. Dnes se používají i rychlé metody automatické nebo metody molekulové mikrobiologie. Popsaný základní postup se však považuje za nejspolehlivější referenční metodu. Může selhávat tam, kde se domníváme, že bakteriím poskytujeme to nejlepší, přičemž někdy nevíme, co to „nejlepší“ znamená. To proto, že v laboratoři jsou bakterie vězněny, byť třeba zlatou mříží.

3. Jak se bakterie třídí a zařazují do systému

Po popisu a poznání jakýchkoli objektů kolem nás, tedy i v přírodě, následuje srovnávání a třídění. Třídíme podvědomě i vědomě. Záměrné třídění čili klasifikace je obsahem *taxonomie*. To je vědní obor s vlastní metodikou, vyhodnocováním a vytvářením klasifikačního systému. Podobné objekty se řadí k sobě do skupin, méně podobné, s více rozdílnými vlastnostmi, do *tříd*. Podobnost se nejlépe vyjádří nějakou mírou, kde číslo prozrazuje stupeň příbuznosti či podobnosti. Skupiny podobných objektů i objekty samotné se pojmenovávají. Teprve *nomenklatura* činí klasifikační systém zvnějšku srozumitelným.

Přejděme k bakteriím. Člověka již od samého počátku, kdy bakterie objevil, nejvíce zajímaly ty, které způsobovaly infekční nemoci. Když se v předminulém století začaly množit objevy původců infekčních chorob, byla jim dáвана různá jména, která měla vystihovat jejich vlastnosti, onemocnění, jež způsobují, nebo objevitele. Popisy nebyly vždy dokonalé, protože to prostě jinak nebylo možné. Stejně tak i jména. Jak se rozvíjela laboratorní technika a úroveň lidského poznání, popis vlastností bakterií se zdokonaloval. Někdy se příliš nelišil od toho, co již bylo zjištěno, v jiných případech byl jiný. Brzy bylo jasné, že je nutno zavést nějaký řád a bakterie třídít podle dohodnutých vlastností, pro všechny stejných, aby se mohly srovnávat. Každá vlastnost neboli znak se však pro klasifikaci nehodí, nejhodnější by byly takové znaky, které mají vysoký obsah informace, tedy ideálně rozdělují všechny klasifikované bakterie do dvou stejně velkých skupin. Mají vysokou rozlišovací, to jest *diskriminační schopnost*. Čím více znaků je schopno klasifikovaný soubor rozdělovat, tím je klasifikace přesnější. Systém nemůže být vytvořen podle jednoho nebo dvou znaků, například podle tvaru bakterie nebo zbarvení kolonií, protože koků s žlutými koloniemi je mnoho. Mnoho je tyček s koloniemi červenými anebo více tyček s koloniemi nezbarvenými.

Zkrátka snahou je najít pro každý druh bakterie jednoznačnou definici. Základní taxonomickou třídou je *bakteriální druh*. Je ozdoben jménem složeným obráceně než naše – první jméno je rodové a podobně jako naše příjmení označuje příslušnost (například *Staphylococcus*), druhé jméno je druhové (*aureus*). Celé jméno se píše vždy *kurzivou* a je jednoznačné.

Znaky, které se používají pro diskriminaci rodů a druhů, mají mít co nejširší rozsah. Jsou to znaky popisující morfologii buněk a kolonií, fyziologii, chemické složení buněk, nároky na výživu, přirozenou rezistenci k antibiotikům, rezistenci k chemickým a fyzikálním faktorům, antigenní skladbu. Toto vše je klasifikace podle