

Univerzita Palackého v Olomouci
Přírodovědecká fakulta
Katedra ekologie a životního prostředí



Vzdělávací materiály pro SŠ: Bakterie v životním prostředí

Bakalářská práce

Kristýna Fialová

předložená na Katedře ekologie a životního prostředí

Přírodovědecké fakulty Univerzity Palackého v Olomouci

jako součást požadavků

na získání titulu Bc. ve studijním programu

Biologie a environmentální výchova pro vzdělávání – Geografie pro vzdělávání

Vedoucí práce:

doc. RNDr. Michaela Sedlářová, Ph.D.

Olomouc 2024

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracovala samostatně za odborného vedení doc. RNDr. Michaely Sedlářové, Ph.D. Použité literární zdroje jsem řádně citovala a jsou uvedeny v seznamu literatury.

V Olomouci dne 6. 5. 2024

.....

Kristýna Fialová

Práce vznikla na Katedře botaniky PŘF UP v rámci projektu IGA UP PrF_2024_001.

Poděkování

Mé poděkování patří doc. RNDr. Michaele Sedlářové, Ph.D. za odborné vedení, trpělivost a ochotu, kterou mi v průběhu zpracování bakalářské práce věnovala. Dále bych také chtěla poděkovat paní Mgr. Kateřině Divišové a panu Mgr. Liboru Marčanovi z Gymnázia Jiřího Wolкера za umožnění provést dotazníkové šetření na dané škole. Také bych chtěla poděkovat své mamince a přátelům za podporu při studiu a psaní závěrečné práce.

Bibliografická identifikace

Jméno a příjmení autora:	Kristýna Fialová
Název práce:	Vzdělávací materiály pro SŠ: Bakterie v životním prostředí
Typ práce:	Bakalářská práce
Pracoviště:	Katedra ekologie a životního prostředí, Přírodovědecká fakulta, Univerzita Palackého v Olomouci
Vedoucí práce:	doc. RNDr. Michaela Sedlářová, Ph.D. (Katedra botaniky PŘF UP)
Rok obhajoby práce:	2024

Abstrakt:

Bakalářská práce se zabývá problematikou bakterií v životním prostředí a vytvořením aktuálních vzdělávacích materiálů pro výuku tohoto tématu na gymnáziích, středních odborných školách, případně na 2. stupni základních škol. Teoretická část se skládá z analýzy zařazení tématu bakterií v rámcových vzdělávacích programech a ve školních vzdělávacích programech a z přehledu aktuálního poznání role bakterií v životním prostředí a jejich využití při bioremediacích, včetně rozkladu plastů.

Praktická část práce obsahuje srovnání dostupných výukových materiálů, tj. učebnic pro gymnázia, střední odborné školy a 2. stupeň základních škol, internetových zdrojů, a také vlastní materiály pro výuku tématu Bakterie v životním prostředí a výsledky dotazníkového šetření na Gymnáziu Jiřího Wolkera v Prostějově provedeného 8. 4. 2024.

Klíčová slova: bakterie, biologie, bioremediace, RVP, ŠVP, výukové materiály

Počet stran: 66

Počet příloh: 0

Jazyk: čeština

Bibliografic identification

Author's name: Kristýna Fialová
Title: Educational materials for high schools: Bacteria in the environment
Type of the thesis: Bachelor
Workplace: Department of Ecology and Environmental Studies, Faculty of Science, Palacky University in Olomouc
Supervisor: doc. RNDr. Michaela Sedlářová (Department of Botany, FS, UPOL)
The year of presentation: 2024

Abstract:

The bachelor thesis deals with bacteria in the environment and development of up-to-date materials for teaching this topic at grammar schools, secondary schools, or at the 2nd level of elementary schools. The theoretical part of the thesis consists of an analysis of the inclusion of the topic „bacteria“ in framework educational programs and in school educational programs together with overview of the current knowledge of the role of bacteria in the environment and their use in bioremediation, including decomposition of plastics.

The practical part of the thesis contains a comparison of available teaching materials, i.e. textbooks for general or vocational secondary schools and the 2nd grade of elementary schools, internet resources, own materials for teaching the topic „Bacteria in the environment“ and the results of a questionnaire survey conducted at the Jiří Wolker High School in Prostějov on 8th April 2024.

Key words: bacteria, biology, bioremediation, RVP, SVP, teaching materials
Number of pages: 66
Number of appendages: 0
Language: Czech

Obsah

1. Úvod	7
2. Cíle práce	8
3. Literární přehled	9
3.1. Rámcové vzdělávací programy	9
3.1.1. Analýza RVP a zařazení tématu Bakterie ve výuce biologie a přírodopisu.....	9
3.1.2. Zařazení tématu Bakterie v rámci ŠVP	11
3.2. Bakterie v životním prostředí	13
3.2.1. Obecná charakteristika.....	13
3.2.3 Bakterie žijící v půdě	20
3.2.4 Bakterie žijící ve vodě.....	22
3.3. Využití bakterií při biodegradaci	23
3.3.1 Bioremediace	23
3.4. Využití bakterií při biodegradaci plastů.....	27
3.4.1 Vybrané druhy bakterií se schopností rozkládat plasty.....	28
4. Materiál a metody	31
5. Výsledky	33
5.1. Srovnání výukových materiálů – zaměřeno na téma Bakterie.....	33
5.1.1. Učebnice pro Gymnázia	33
5.1.2. Učebnice pro Střední odborné školy.....	33
5.1.3. Učebnice pro 2. ročník ZŠ.....	34
5.1.4. Internetové zdroje.....	35
5.2. Vlastní výukové materiály	36
5.2.1. Výuková prezentace	36
5.2.2. Badatelské úlohy	44
5.2.3. Křížovka	47
5.2.4. Pracovní list	49
5.3. Dotazníkové šetření.....	53
5.3.1. Dotazník	53
5.3.2. Srovnání výsledků dotazníkového šetření.....	54
6. Diskuse	58
7. Závěr	59
8. Literatura	60
Seznam obrázků	66
Seznam tabulek	68

1. Úvod

Bakterie jsou prokaryotní mikroorganismy, osídlující téměř všechna prostředí a substráty, často s kosmopolitním rozšířením. Jsou to jedny z nejstarších organismů na Zemi a jejich existence se datuje až do prekambria. Studium vlastností, charakteristik a původem mikroorganismů, jako jsou bakterie nebo archea, se zabývá mikrobiologie (Rozsypal, 1981).

Vlastnosti bakterií a jejich interakce s organismy a prostředím okolo nich má velký význam. Jsou to původci vážných onemocnění člověka (mor, cholera, břišní tyfus atd.), rostlin a živočichů, ale i nepostradatelné součásti ekosystémů. Dokážou existovat samostatně, v koloniích, tvořit přírodní biofilmy, nebo žít v symbióze s rostlinami, zvířaty či člověkem (Rozsypal, 1981). V přírodě se podílí na řadě významných biologických procesů, například koloběhu a fixaci prvků, jako je dusík, uhlík, síra a fosfor nebo procesech asimilace, mineralizace, nitrifikace a denitrifikace (Panthee et al., 2022). Neopomenutelné je i jejich využití v různých průmyslových odvětvích. V potravinářství se bakterie podílejí na výrobě a konzervaci různých výrobků jako vína, piva či mléčných a pekařských výrobků (Kaur a Singh, 2023). Díky aplikaci mikrobiálních organismů při mikrobiálních technologiích dochází k produkci antibiotik, protinádorových léčiv, vakcín, imunosupresiv a terapeutických enzymů (Beneit-Santos, 2024). Jejich schopnost rozkládat různé organické i anorganické sloučeniny je využívána při procesech bioremediace půdy a vody a při biodegradaci plastů.

2. Cíle práce

Cílem teoretické části mé bakalářské práce bylo analyzovat zařazení tématu bakterií v rámcových vzdělávacích programech a školních vzdělávacích programech, shrnout současný stav poznání o bakteriích v životním prostředí a jejich praktickém využití, především při bioremediacích a biodegradaci plastů.

Cílem praktické části bylo srovnat učební texty a internetové zdroje zabývající se učivem bakterií a vytvořit vlastní výukové materiály s tématem Bakterie v životním prostředí (prezentace v *ppt, badatelské úlohy, pracovní list a křížovku) a pomocí dotazníkového šetření ověřit reakce studentů na Gymnáziu Jiřího Wolkeru v Prostějově.

3. Literární přehled

3.1. Rámcové vzdělávací programy

Na webu EDU.cz (2022) spravovaném MŠMT ČR je uvedeno, že rámcové vzdělávací programy (RVP) tvoří obecně závazný rámec pro tvorbu školních vzdělávacích programů škol všech oborů vzdělání v předškolním, základním, základním uměleckém, jazykovém a středním vzdělávání. Do vzdělávání v České republice byly zavedeny zákonem č. 561/2004 Sb., o předškolním, základním, středním, vyšším odborném a jiném vzdělávání ve znění pozdějších předpisů (Školský zákon).

Rámcové vzdělávací programy vydávané MŠMT (Ministerstvo školství, mládeže a tělovýchovy) stanovují zejména konkrétní cíle, délku a povinný obsah vyučování, ať už se jedná o vzdělávání všeobecné nebo odborné. Dále se zabývají organizačním uspořádáním vyučování, profesním profilem, podmínkami a ukončováním vzdělání a zásadami pro tvorbu školních vzdělávacích programů. Taktéž stanovují podmínky pro vzdělávání žáků se speciálními potřebami a nezbytné materiální personální a organizační podmínky, podmínky bezpečnosti a ochrany zdraví (edu.cz, 2022).

3.1.1. Analýza RVP a zařazení tématu Bakterie ve výuce biologie a přírodopisu

V rámcovém vzdělávacím programu pro gymnázia je téma bakterií zahrnuto v Části C, Kapitole 5. Vzdělávací oblasti, Podkapitole 5.3. Člověk a příroda, Podkapitole 5.3.3. Biologie. V rámci biologie se vyučuje jako součást biologie bakterií (Tab. 1). Žák by po absolvování tohoto učiva měl být schopný popsat stavbu a funkci prokaryotické buňky, znát ekologické, zdravotnické a hospodářské využití bakterií a umět zhodnotit způsoby léčby a prevence proti bakteriálním onemocněním (edu.cz, 2022).

Tab. 1. Zařazení tématu v rámci RVP pro gymnázia (zdroj: edu.cz, 2022)

RVP G – zařazení
Část C
Kapitola 5. Vzdělávací oblasti
Podkapitola 5.3. - Člověk a příroda
Podkapitola 5.3.3. – Biologie
Biologie bakterií Učivo: Stavba a funkce bakterií Očekávané výstupy: Žák je schopen: <ul style="list-style-type: none">- Charakterizovat bakterie z ekologického, zdravotnického a hospodářského hlediska- Zhodnotit způsoby ochrany proti bakteriálním onemocněním a metody jejich léčby

Rámcový vzdělávací program pro Střední odborné vzdělání se zaměřením na zdravotnictví, obor zdravotní sestra obsahuje učivo bakterií v kapitole 6. kurikulární rámce pro jednotlivé oblasti vzdělávání, v sekci Přírodovědné vzdělání, Biologie a ekologie (Tab. 2). Poté v rámci odborného vzdělání, v sekci Základ pro poskytování ošetrovatelské péče je téma bakterií vyučováno v Základech mikrobiologie, imunologie, epidemiologie a hygieny. Studenti se učí, o bakteriích jako o původcích onemocnění, o možnostech prevence a léčby onemocnění způsobenými bakteriemi (Tab. 3.) (edu.cz, 2022).

Tab. 2. Zařazení tématu v rámci RVP pro SOV, obor zdravotní sestra (zdroj: edu.cz, 2022)

RVP SOV – zařazení
Kapitola 6. Kurikulární rámce pro jednotlivé oblasti vzdělávání
Přírodovědné vzdělání
Biologie a ekologie
Základy biologie
Očekávané výstupy:
Žák je schopen:
<ul style="list-style-type: none"> - Uvést rozdíl mezi prokaryotickou a eukaryotickou buňkou - Uvést příklady bakteriálních onemocnění a možnosti prevence

Tab. 3. Zařazení tématu v rámci RVP pro SOV, obor zdravotní sestra (zdroj: edu.cz, 2022)

RVP SOV – zařazení
Kapitola 6. Kurikulární rámce pro jednotlivé oblasti vzdělávání
Odborné vzdělání
Základ pro poskytování ošetrovatelské péče
Základech mikrobiologie, imunologie, epidemiologie a hygieny
Očekávané výstupy:
Žák je schopen:
<ul style="list-style-type: none"> - vysvětlí význam mikrobiologie, imunologie, epidemiologie a hygieny - vysvětlí vztahy mezi těmito obory a jejich přínos pro péči o zdraví - klasifikuje a charakterizuje mikroorganismy - popíše mikrobiální osídlení zdravého člověka, charakterizuje patogenní mikroorganismy - uvede příklady diagnostiky nakažlivých chorob - vysvětlí účinek antibiotik a chemoterapeutik - popíše příčiny a důsledky rezistence mikroorganismů při léčbě infekčních onemocnění - objasní pojem imunita a fungování imunitních mechanismů - vysvětlí rozdíl mezi specifickou a nespecifickou imunitou a uvede příklady - vysvětlí význam a fungování obranných mechanismů v organismu

V rámcovém vzdělávacím programu pro 2. stupeň základních škol (pro 6. - 9. ročník), a pro odpovídající ročníky víceletých gymnázií je téma bakterií zahrnuto v Části C, Kapitole 5. Vzdělávací oblasti, Podkapitole 5.6. Člověk a příroda, Podkapitole 5.6.3. Přírodopis. Téma Bakterií se společně s viry vyučuje v rámci obecné biologie a genetiky (Tab. 4.). Žáci by měli být schopni následně uvést význam bakterií v přírodě i pro člověka a znát jejich výskyt a využití (edu.cz, 2022).

Tab. 4. Zařazení tématu v rámci RVP pro 2. stupeň ZŠ a nižší ročníky víceletých gymnázií (zdroj: edu.cz, 2022)

RVP ZŠ – zařazení
Část C
Kapitola 5. Vzdělávací oblasti
Podkapitola 5.6. - Člověk a příroda
Podkapitola 5.6.3. - Přírodopis
Obecná biologie a genetika Učivo: Viry a bakterie Očekávané výstupy: Žák je schopen:
<ul style="list-style-type: none"> - Uvést na příkladech z běžného života význam virů a bakterií v přírodě i pro člověka - Uvést význam, výskyt a praktické využití virů a bakterií

3.1.2. Zařazení tématu Bakterie v rámci ŠVP

Školní vzdělávací program (ŠVP) je kurikulární dokument, vytvořený pedagogickými zaměstnanci konkrétní školy, schválený ředitelem příslušné školy a veřejně dostupný, obvykle na webových stránkách školy. Závazným dokumentem pro tvorbu ŠVP je Rámcový vzdělávací program (edu.cz, 2022). Očekávané výstupy zahrnuté v RVP jsou závazné a musí být obsaženy v ŠVP. Představují úroveň, do jaké mají žáci v daném oboru na dané škole na konci studia dospět (Vinter a Králíček, 2016).

Pro tvorbu ŠVP dále platí, že stanovuje konkrétní cíle vzdělávání, délku, formy, obsah a časový plán vzdělávání. Udává podmínky přijetí uchazečů, průběh a ukončování vzdělávání a podmínky pro vzdělávání žáků se speciálními potřebami. Dále stanoví označení dokladu o ukončeném vzdělání, pokud bude doklad vydán, popis materiálních, personálních a ekonomických podmínek, bezpečnost práce a ochranu zdraví, podle kterých se uskutečňuje vzdělávání na konkrétní škole (edu.cz, 2022).

Jako vzor pro gymnázia byl vybrán ŠVP Gymnázia Jiřího Wolкера v Prostějově (Tab. 5), kde se učivo bakterií vyučuje ve 3. či 4. ročníku. Dotace pro výuku biologie v těchto ročnících jsou 2 h týdně. Téma bakterií je vyučováno v rámci buněčné biologie a student by měl být po ukončení schopen popsat stavbu prokaryotické buňky, zhodnotit význam bakterií a znát způsoby ochrany proti nim.

Tab. 5. Zařazení tématu v rámci ŠVP pro gymnázia (zdroj: ŠVP Gymnázia Jiřího Wolкера v Prostějově, 2024)

ŠVP - 3. nebo 4. ročník SŠ (gymnázia) - obsah učiva
Prokaryotní a eukaryotní buňka
Žák dokáže: <ul style="list-style-type: none"> - Zhodnotit význam bakterií - Zná způsoby ochrany proti bakteriím

Vzorovým ŠVP pro základní školy byl vybrán školní vzdělávací program Základní školy Jana Železného v Prostějově (Tab. 6.). Podle ŠVP této školy se učivo bakterií vyučuje v 6. třídě 2. stupně. Hodinová dotace pro výuku přírodopisu na této škole jsou dvě hodiny týdně. Učivo je zaměřeno na rozdíl mezi bakteriální, rostlinou a živočišnou buňkou, na prevenci proti nákaze a hygienu.

Tab. 6. Zařazení tématu v rámci ŠVP ZŠ (zdroj: ŠVP Základní školy Jana Železného v Prostějově, 2024)

ŠVP – 6. ročník ZŠ – obsah učiva
Jednobuněčné organismy
Žák dokáže: <ul style="list-style-type: none"> - Popsat rozdíl mezi buňkou živočichů, rostlin a bakterií - Popsat bakterie, způsoby prevence a význam hygieny

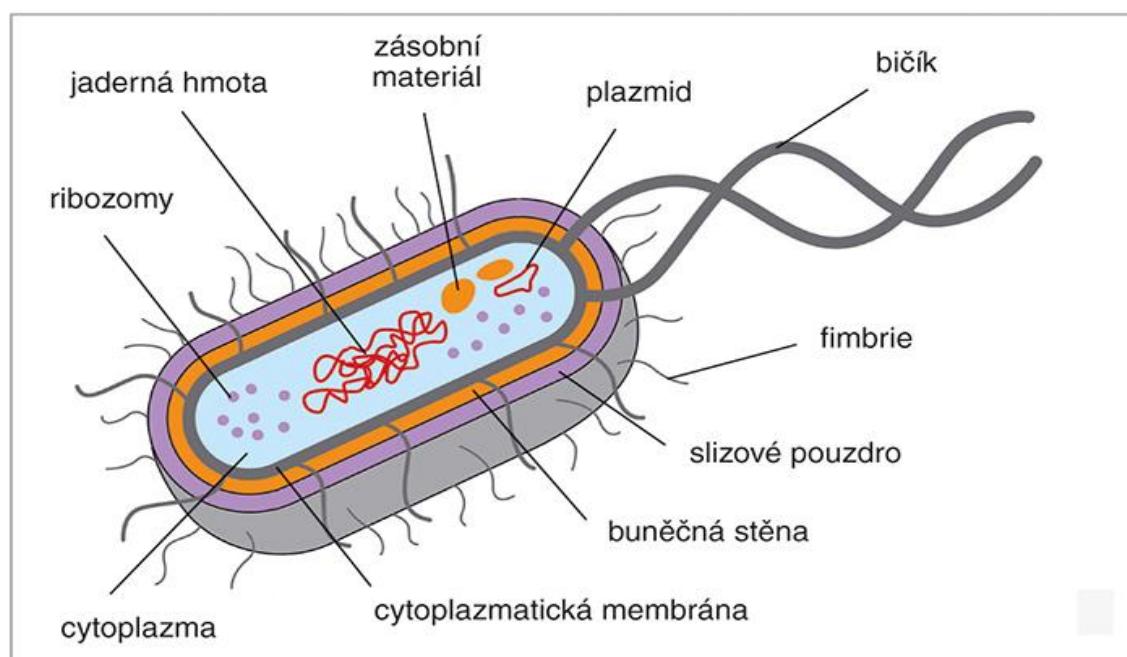
3.2. Bakterie v životním prostředí

3.2.1. Obecná charakteristika

Bakterie (včetně cyanobakterií = sinic) jsou mikroskopické jednobuněčné organismy s prokaryotní buňkou, podobně jako archea (dříve označovány jako archebakterie). Mohou tvořit kolonie nebo žít samostatně. Vyskytují se prakticky ve všech životních prostředích a jsou schopny přežívat v extrémních fyzikálních i chemických podmínkách. Dokázaly se adaptovat na vysoký tlak v oceánských hloubkách, jsou schopny odolávat záření které by pro jiné organismy bylo smrtelné nebo zasolenému i kyselému prostředí (Schindler, 2008).

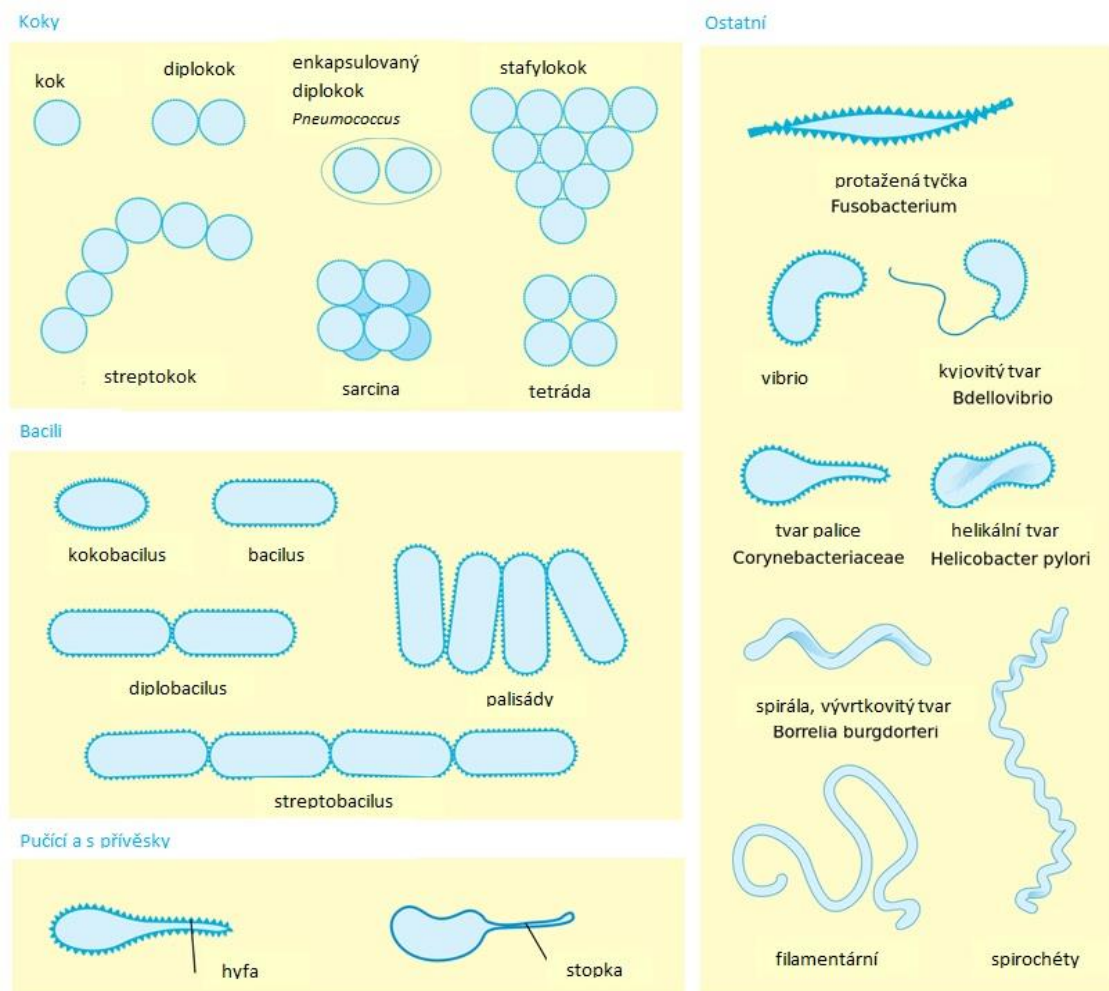
Bakteriální buňka

Bakteriální buňka je buňka prokaryotního typu. Na povrchu buňky může být pouzdro (kapsula). Vnější obal buňky je u většiny bakterií tvořen buněčnou stěnou, obsahující protein peptidoglykan (murein). Buněčná stěna zajišťuje buňkám ochranu a udává jejich tvar. Ochranou funkci má také cytoplazmatická membrána. Vnitřek buňky je vyplněn cytoplazmou. V ní se nacházejí volně rozptýlené ribozomy, plazmidy, inkluze a nukleotid. Nukleotid (jaderná hmota) je tvořená jedním, do kruhu stočeným vláknem dvoušroubovicové molekuly DNA. Bakteriální buňky mohou na svém povrchu mít struktury zvané fimbrie (pili) a bičíky, které zajišťují pohyb, obranu, upevnění k okolnímu prostředí, nebo přenos genetické informace (Sedláček, 2006; Jelínek a Zicháček, 2007).



Morfologie bakteriálních buněk

Buňky bakterií mohou mít různé tvary a velikosti. Většinou bakteriální buňky dosahují velikosti v rozmezí 1–10 μm . Typicky se rozdělují podle tvaru na koky (samostatné kulovité buňky), ty se mohou shlukovat a tvořit diplokoky, streptokoky, stafylokoky, tetrády, nebo tzv. sarciny (koky uspořádané do krychlovitého shluku) a na tyčky (bakterie, bacily), ty se mohou shlukovat v diplobacily, streptobacily, nebo tvořit palisádové seskupení. Specifickými tvary buněk by pak byly tvary typu vibrio, spirochéty, spirily nebo filamentární tvar (Rozsypal, 1981).



Obr. 2. Typické tvary bakteriálních buněk (Wikipedie, 2024)

Rozmnožování bakterií

Rozmnožování u bakterií je nepohlavní a probíhá dělením nebo pučením. Při rozmnožování dělením dochází k tomu, že se mateřská buňka začne prodlužovat ve směru své podélné osy, a to až na dvojnásobek původní délky. Tloušťka přitom zůstává stejná. Po replikaci DNA se začne tvořit septum (příčná přehradka z plazmatické membrány a buněčné stěny) uprostřed mateřské buňky; následně dochází k oddělení a vznikají dvě dceřiné buňky.

Tento způsob množení je typický pro většinu bakterií. Při dělení pučením mateřská buňka nejdříve doroste do své normální velikosti a do stavu kdy je schopna se reprodukovat. V tento moment se někde na jejím povrchu začne tvořit nová buňka. Charakteristické je, že dceřiná buňka si svou buněčnou stěnu syntetizuje sama. Jakmile ji mateřská buňka předá replikovanou DNA, dceřiná buňka se odděluje (Rozsypal, 2003). Přenos genetické informace u bakterií probíhá také procesem zvaným horizontální přenos genů (HTG = Horizontal gene transfer). Na rozdíl od dělení a pučení, probíhá horizontální přenos genů i mezi nepříbuznými bakteriemi, nejedná se tak o mateřské a dceřiné buňky. Tento přenos genů probíhá převážně třemi způsoby, a to transformací, konjugací a transdukcí. K přenosu transformací dochází, pokud bakterie přijímá genetickou informaci z prostředí okolo sebe, v rámci konjugace donorová bakterie předává plazmidovou DNA prostřednictvím konjugativního pilusu (sex fimbrie) recipientní buňce a při procesu transdukce jsou geny do hostitelské buňky přenášeny prostřednictvím bakteriofágů. Mimo tyto tři hlavní procesy může k přenosu mezi buňkami docházet také pomocí membránových váčků (Arnold et al., 2022). Horizontální přenos genů umožňuje bakteriím ve společenstvu získat DNA s geny, zajišťujícími lepší přežití. Z praktického pohledu však představuje významné riziko, jelikož bakterie jsou schopny si takto předávat i geny pro rezistenci vůči antibiotikům a dochází tak k šíření odolnosti napříč druhy i kmeny.

Bakterie lze množit i v laboratorních podmínkách. Významnou kultivační metodou je stacionární kultivace v tekutém médiu, kde lze množství buněk v závislosti na čase, charakterizovat růstovou křivkou. K růstové křivce se pojí také růstové konstanty, těmi jsou generační doba a průměrná rychlost dělení buněk. Generační doba označuje čas mezi dvěma buněčnými děleními. Udává se v minutách či hodinách a představuje dobu za kterou dojde ke vzniku nové generace (Rozsypal, 2003). Při optimálních podmínkách je generační doba řady aerobních druhů zhruba 20-30 minut (Tůma, 2015). Extrémně dlouhou generační dobu mají bakterie v anaerobních podmínkách, kde je nízký výtěžek energie, nebo některé patogenní (v řádech desítek hodin).

V důsledku krátké generační doby představují bakterie vhodné modelové organismy pro výzkum mikroevočních procesů, například bakterie *Escherichia coli*, *Rhizobium*, *Myxococcus*, *Pseudomonas* nebo *Paenibacillus* (Maureen et al., 2015). Informace o genetice bakterií mají velký význam pro pochopení jejich patogenity a rezistence vůči antibiotikům, či adaptivní imunity (CRISPR-Cas9). Výzkum bakteriální evoluce slouží i k poznání evolučních procesů probíhajících v ostatních organismech. Poznatky se využívají i k přenosů a cílené editaci genů (Maureen et al., 2015).

Výživa bakterií

Vhodné prostředí pro bakterie by mělo obsahovat dostatek biogenních prvků, a to zejména uhlíku, dusíku, síry a fosforu. Uhlík je pro bakterie významný zejména proto, že se jedná o výchozí substrát pro syntézu aminokyselin, nukleotidů, sacharidů, či proteinů. Na základě toho, jakým způsobem je uhlík přijímán dělíme bakterie na autotrofní (litotrofní), ty přijímají uhlík výhradně z CO₂ a heterotrofní (organotrofní), přijímající uhlík z organických látek. energii bakterie mohou získávat ze slunečního záření, v tomto případě se jedná o fototrofní bakterie, nebo mohou energii získávat rozkladem chemických látek, ty se pak označují jako chemotrofní bakterie. Je typické, že dochází ke kombinacím v příjmu uhlíku a energie. Bakterie tak mohou být fotoautotrofní, fotoheterotrofní, chemoautotrofní nebo chemoheterotrofní. U fototrofních bakterií se vyskytuje i mixotrofie, kdy dochází k příjmu uhlíku obojím způsobem (Rozsypal, 2003). Kromě uhlíku potřebují bakterie k přijímat i další prvky jako dusík, síru a fosfor. Tyto jsou obvykle přijímány ve formě iontů z okolí. Důležitou součástí výživy je i příjem a syntéza růstových faktorů. Růstovými faktory jsou vitamíny, purinové a pyrimidinové báze a aminokyseliny. Tyto látky jsou nezbytné pro růst a vývoj buňky. Bakterie, které jsou schopny syntetizovat růstové faktory ze svého okolí se nazývají prototrofní. Bakterie, které naopak nejsou schopné syntetizovat jeden nebo více růstových faktorů a musejí je přijímat z okolí jsou označovány jako auxotrofní. Auxotrofii lze u bakterií způsobit i mutací z prototrofních bakterií (Rozsypal, 1981). Takto vytvořené mutagenní auxotrofní bakterie mohou být následně využívány při výzkumu k odhalení mutagenních či nežádoucích účinků látek. Konkrétní formu testování by představoval Amesův test, využívající auxotrofní bakterii *Salmonella typhimurinum* nebo *Escherichia coli* k testu reverzních mutací (Thomas et al., 2024). Thomas et al. (2024) dále uvádějí, že tento test se využívá jako screening rizik k objasnění mutagenní kapacity nových chemických entit, aktivních farmaceutických složek nebo potenciálních genotoxických nečistot ve farmaceutických produktech, a tedy potenciálu genotoxické karcinogenity.

Metabolismus bakterií

Termín metabolismus zahrnuje všechny biochemické procesy, které probíhají v buňce. Tyto procesy lze rozlišovat na katabolické a anabolické. Při katabolismu dochází k rozkladu substrátu na jednodušší produkty za uvolňování energie. Při anabolismu dochází k biosyntéze nízkomolekulárních a vysokomolekulárních látek. Metabolické procesy probíhají v buňkách současně. Katabolické procesy u bakterií představují anaerobní a aerobní respirace a kvašení. Při anaerobní respiraci není konečným akceptorem elektronů molekulární kyslík, ale sloučenina obsahující kyslík, přenos tak probíhá v striktně anaerobních podmínkách.

Mezi sloučeniny, které slouží jako akceptory, patří NO^{3-} , SO_4^{2-} , fumarát nebo CO_2 . Mezi anaerobní procesy tak řadíme denitrifikaci a desulfurikace. Aerobní respirace (dýchání), je děj, při kterém dochází k oxidaci organického substrátu, obvykle cukru, na oxid uhličitý a vodu, při úplné oxidaci. Konečným akceptorem elektronů je molekulární kyslík. Kvašení neboli fermentace označuje procesy anaerobní dehydrogenace. Ke vzniku energie tak dochází dehydrogenačními reakcemi, ke kterým dochází při štěpení glukózy enzymy. Konečným akceptorem elektronů je jiná sloučenina než kyslík, obvykle se jedná o některý meziprodukt kvašení. V závislosti na tom, jaké sloučeniny jsou koncovým produktem kvašení se rozlišuje etanolové, mléčné, propionové, máselné a butanolové kvašení. Fototrofní bakterie jsou schopny k tvorbě energie využívat anoxygenní nebo oxygenní fotosyntézu, v závislosti na donoru elektronů. U anoxygenní fotosyntézy probíhá tvorba ATP cyklickou fosforylací a u oxygenní fotosyntézy tvorba probíhá necyklickou fosforylací (Rozsypal, 2003; Sedlářová, 2020).

Nároky na kyslík

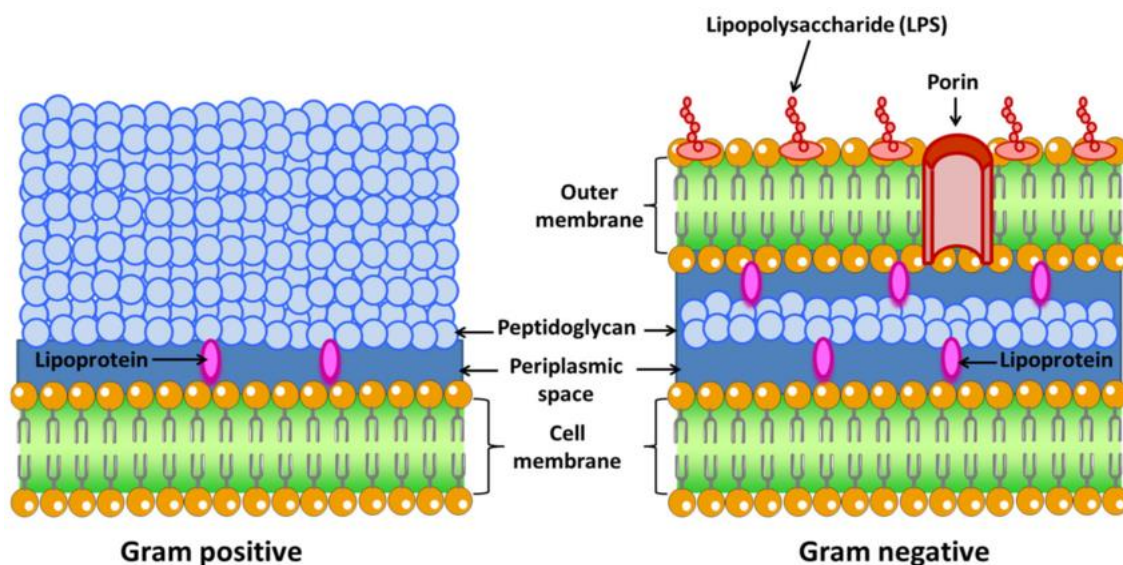
Metabolismus bakterií je významně ovlivněn i mírou závislosti na kyslíku. Na základě jejich vztahu ke kyslíku je lze dělit na aerobní, anaerobní, fakultativně anaerobní a aerotolerantní anaeroby. Aerobní bakterie ke svému životu vyžadují přítomnost kyslíku, jelikož energii získávají aerobní respirací nebo fotosyntézou. Anaerobní bakterie se vyskytují v prostředí bez kyslíku, energii tak získávají anaerobní respirací (Rozsypal, 1981). Fakultativní bakterie jsou schopny růst v jak prostředí s přístupem kyslíku, tak v neokysličeném prostředí. Svůj metabolismus jsou schopny přizpůsobit obsahu kyslíku v prostředí a energii jsou tak schopny získávat oběma druhy respirace i fermentací. Preferují však aerobní podmínky (Steiglmeier, 2009). Aerotolerantní anaeroby přežívají v okysličeném prostředí, ale kyslík nevyužívají (Tankeshwar, 2023). Speciální nároky na množství přítomného kyslíku mají mikroaerofilní a kapnofilní bakterie. Mikroaerofilní bakterie vyžadují kyslík v nízkých koncentracích, při vyšších koncentracích dochází k inhibici jejich růstu (Kendall et al, 2014). Kapnofilní bakterie potřebují kyslík, ale zároveň i zvýšené množství oxidu uhličitého (5–10 %) (Tankeshwar, 2023).

Stavba buněčné stěny – diferenciální Gramovo barvení

Podle složení buněčné stěny lze bakterie diferenciativně nabarvit podle Hanse Christiana Grama pro světelnou mikroskopii (lze rozlišit bakterie gramnegativní, grampozitivní a gramrezistentní). Na podložní sklíčko se pomocí sterilizované kličky nanese do kapky destilované vody malé množství mikroorganismů, rozetře a nechá zaschnout. Následně dochází k fixaci preparátu nad plamenem.

Po vychladnutí je preparát barven 1/ krystalovou violetí 2-4 minuty, omyt vodou, 2/ Lugolovým roztokem (2 minuty), opláchnut vodou, 3/ převrstven etanolem nebo acetonem, omyt vodou, 4/ barven safraninem nebo karbolfuchsinem po dobu 1-2 minut, omyt vodou (Kopecká a Rotková, 2017).

Gramnegativní bakterie se vyznačují tím, že vnější vrstva buněčné stěny obsahuje lipopolysacharidovou membránu a vnitřní peptidoglykanová vrstva je poměrně tenká. Gramovo barvivo se neváže na buněčnou stěnu gramnegativních bakterií a nedochází tak ke zbarvení. Důvodem je smývání barviva alkoholem. Po vymytí však může docházet k dobarvení preparátu pomocí jiného barviva, například safraninu. Toto dobarvení způsobí, že gramnegativní bakterie budou mít ve výsledku načervenalé zbarvení. Oproti tomu grampozitivní bakterie postrádají ve své buněčné stěně lipopolysacharidy a peptidoglykanová vrstva je silná. Při Gramově barvení vážou barvivo do buněčných stěn a bakterie se tak jeví jako modré až fialové. Při vymývání alkoholem u nich nedochází k vymývání barviva (Sedláček, 2006). Gramrezistentní neboli acidorezistentní bakterie při Gramově barvení nevykazují zbarvení. Řadí se sem např. bakterie rodu *Mycobacterium* a *Nocardia*, jejichž buněčné stěny obsahují glykolipidy s mykolovými kyselinami, a proto se jejich přítomnost prokazuje jiným způsobem, a to například barvením podle Ziehla-Neelsena. Plamenem fixovaný preparát se převrství koncentrovaným karbolfuchsinem. Následně dochází k zahřívání preparátu, dokud nezačnou vystupovat páry. Poté je preparát omyt kyselým alkoholem a nechá se 15 vteřin působit. Dobarvení se provádí Löferovou methylenovou modří nebo malachitovou zelení po dobu 30 vteřin. Následně se preparát opláchne (Kopecká a Rotková, 2017).



Obr. 3. Stavba buněčné stěny grampozitivních a gramnegativních bakterií (Jiménez-Jiménez et al., 2022)

Vztahy mezi bakteriemi

Pojem symbióza původně označoval jakékoli soužití organismů, později se začal tento pojem užívat výhradně pro soužití organismů, kdy z něj mají oba užitek. Mezi významné typy vztahů, které mezi sebou bakterie mohou mít, patří také neutralismus, mutualismus a komensalismus. Neutralismus se stav kdy nedochází k vzájemnému ovlivňování, organismy mají jiné požadavky na vývoj a nesoutěží mezi sebou o živiny. K mutualismu dochází, pokud je vztah pro oba organismy prospěšný, například u *Lactobacillus plantarum* a *Streptococcus faecalis*. *L. plantarum* produkuje kyselinu listovou, kterou využívá *S. faecalis*, který naopak produkuje fenylalanin, který potřebuje *L. plantarum*. Jako komensalismus je vztah mezi mikroorganismy označován v případě, že jeden organismus má ze vztahu prospěch a druhý jím není ovlivňován. V případě bakterií je tento vztah způsobován jejich schopností rozkládat a přeměňovat substrát či produkovat různé látky. Příkladem může být vztah mezi zástupci r. *Nitrobacter* a denitrifikačními bakteriemi. Mikroorganismy mezi sebou mohou mít i kompetiční typ vztahu, a to parazitismus, amenzalismus a predace. Při parazitismu žije jeden organismus na úkor druhého. Amenzalismus je vztah mezi mikroorganismy, který nastává, pokud jeden organismus produkuje metabolity bránící růst, vývoj či rozmnožování druhého organismu, například produkcí antibiotik, vyčerpáním živin z okolí či obsazením niky. V důsledku dochází k utlačování jednoho organismu (amenzála), jiným organismem (inhibitorem), které může skončit až zahubením amenzála. Při predaci dochází v případě, že dojde k usmrcení a požití jednoho organismu jiným, tento jev je typický pro určité druhy myxomycet a myxobakterií (Sedlářová, 2010; Rozsypal, 1981).

Symbiotické bakterie (od mutualismu po parazitismus)

V rámci symbiózy bakterií s jinými organismy lze rozlišovat ektosymbiózu při níž bakterie nepronikají do tkání hostitele, ale žijí na povrchu rostlin nebo v tělních tekutinách živočichů a endosymbiózu, kdy se bakterie vyvíjí v tkáních či buňkách hostitele. Bakterie mohou žít v symbióze s rostlinami, živočichy i člověkem. Symbiotický vztah mezi bakteriemi a některými vyššími rostlinami lze pozorovat například u hlízkových bakterií a bobovitých rostlin. Jedná se formu endosymbiózy, kdy bakterie vážou vzdušný dusík a přeměňují jej na formu vhodnou pro rostliny a rostliny poskytují bakteriím prostředí pro existenci v rámci svých kořenů. Symbióza bakterií a živočichů byla pozorována u téměř všech skupin, například u hmyzu, sladkovodních i mořských ryb a obratlovců. U živočichů se symbiotické bakterie převážně nacházejí v trávicím traktu, kde tvoří střevní mikroflóru a umožňují rozklad potravy. Modelovým organismem by byli přežvýkavci a jejich mikrobiální populace v bachoru, která je zodpovědná za rozklad celulózy.

Bachorovou bakteriální populaci tvoří zástupci obligátně anaerobních gramnegativních tyčinek a grampozitivních koků, konkrétně *Bacteroides succinogenes*, *Butyrivibrio fibrisolvens*, nebo *Ruminococcus albus*. Na lidském těle lze bakterie najít na kůži a sliznicích, v dutině ústní, dýchacích cestách, trávicím ústrojí, či urogenitální soustavě. Významnou bakterií pro člověka je *Escherichia coli*, obývající tlusté střevo. Ta se podílí na fermentaci, syntetizaci řady vitamínů a kvasí cukry (Rozsypal, 1981).

Řada bakterií může narušovat metabolismus a způsobit choroby rostlin i živočichů. Patogenní bakterie mohou způsobovat u rostlin hniloby, cévní onemocnění, spálu, rakovinu nebo skvrnitost stonků, listů a plodů (Rozsypal, 1981). U živočichů a člověka mohou způsobovat řadu závažných onemocnění. Náchylnost k bakteriálním onemocněním je ovlivněna řadou faktorů, například infekčností organismu, patogenitou a virulencí bakterií či zdravotním stavem a citlivostí napadeného organismu (Doron, 2008). Mezi faktory, které zvyšují bakteriální virulenci a resistenci patří tvorba kapsulí, toxinů, enzymů, schopnost adheze a invaze (Wilson et al., 2002). K přenosu onemocnění může docházet přímým nebo nepřímým přenosem. Při přímém přenosu musí dojít ke styku mezi patogenní bakterií (zdrojem nákazy) a hostitelem. Takto se šíří onemocnění, jako například syfilis způsobené bakterií *Treptonema palladium* nebo kapavka, jejímž původcem je *Neisseria gonorrhoeae*. V rámci nepřímého přenosu se nákaza šíří vzduchem (kapénkami), pomocí infikovaných předmětů, výkalů, krve nebo slin. Dále se sem řadí přenos půdou a vodou. Nepřímým přenosem se může šířit například cholera (*Vibrio cholerae*), tuberkulóza (*Mycobacterium tuberculosis*), nebo streptokokové nákazy (*Streptococcus pyogenes*) (Rozsypal, 2003).

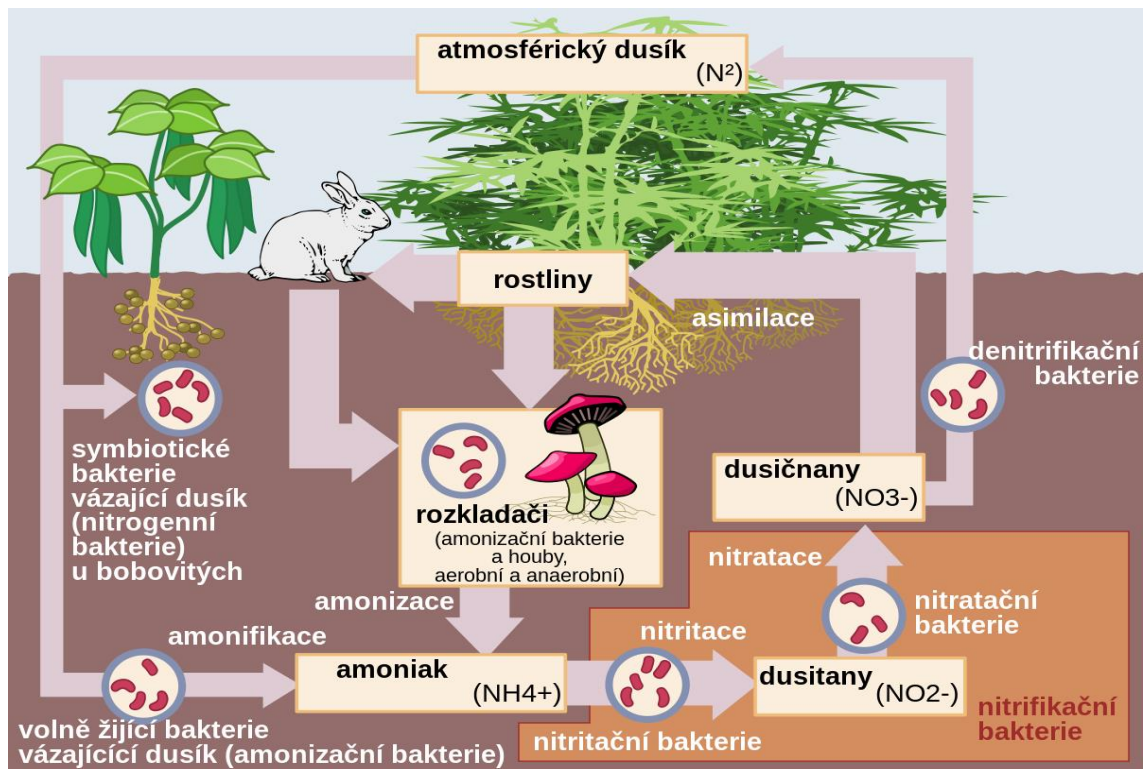
3.2.3 Bakterie žijící v půdě

Půda je ideálním prostředím pro výskyt bakterií. Uvádí se, že v jednom gramu může existovat až 10^{10} bakteriálních buněk (Torsvik, 1996). Reid a Wong (2000) uvádí, že odhadem, by se v půdě mohlo vyskytovat až 60 000 různých druhů bakterií. Většina žije v horních 10 cm, kde je dobré zásobení kyslíkem a přítomna i organická hmota. Půdní organickou hmotu tvoří kořeny vyšších rostlin, půdní organismy a různé organické látky přítomné v půdě i na jejím povrchu. Zdrojem půdní organické hmoty jsou (foto)autotrofní organismy, ty mají schopnost vytvářet organické látky z anorganických za využití sluneční energie, zároveň sami nemusejí organické látky přijímat, mohou tak sloužit jako potrava heterotrofním organismům. Heterotrofní organismy tak získávají živiny z organických sloučenin přijímaných z okolí (Šimek, 2020).

Půdní bakterie lze dělit dle různých kritérií, například podle původu nebo funkce. Podle původu lze rozlišit na 1/ autochtonní (původní), ty se v půdě vyskytují přirozeně a stále; 2/ zymogenní (oportunní), které se v půdě zmnoží v případě, že je přítomen vhodný substrát a podílí se na procesu mineralizace; 3/ patogenní (Tůma, 2015). Na základě funkcí lze rozdělit na rozkladače, fixátory, mutualisty, původce nemocí a litotrofy. V rámci rozkladných procesů působí bakterie v půdě jako primární rozkladači, a to zejména v raných fázích rozkladu, dokud je substrát vlhký, poté je nahrazují houby. Svou činností jsou schopny obohacovat půdu o důležité prvky, zejména dusík. Na koloběhu dusíku mají nemalý podíl právě bakterie, které jsou schopny poutat vzdušný dusík a vázat ho do půdy. Mezi takového fixátory se řadí volně žijící bakterie rodů *Azotobacter*, *Azomonas*, *Beijerinckia* a *Derxia* a symbiotické bakterie rodu *Rhizobium* (Krsek, 2014). Ty žijí v symbióze s kořeny bobovitých rostlin, váží vzdušný dusík, a přeměňují jej na formu která je vhodná pro rostliny, tím že jej redukuje na dusík amoniakální. Takto se do půdy může zafixovat zhruba 100 kg dusíku na hektar za rok (Reid a Wong, 2000). Mezi další významné druhy bakterií podílející se na koloběhu dusíku patří nitrifikační a denitrifikační bakterie. Mezi nitrifikační bakterie se řadí rody *Nitrosomonas*, *Nitrosolobus*, *Nitrospira*, *Nitrosovibrio* a *Nitrobacter*. Jsou schopny v anaerobních podmínkách oxidovat amonné ionty na dusitany a poté na dusičnany. Denitrifikační bakterie mohou, za anaerobních podmínek, využívat produkty oxidace nitrifikačních bakterií jako akceptory elektronů a následně je převádět až na vzdušný dusík (Krsek, 2014). Mezi další prvky, na jejichž koloběhu nebo fixaci v půdě se podílejí bakterie, patří síra, fosfor a uhlík. Patogenní bakterie přítomny v půdě mohou způsobovat onemocnění rostlin, člověka či zvířat. Ke svému přežití potřebují hostitele, nebo některé vytváří klidové formy, endospory. Zároveň řada z nich může mít antibiotické účinky a potlačovat tak působení jiných patogenních druhů.



Obr. 4. Kořenové hlízkzy způsobené bakteriemi rodu *Rhizobium* na rostlině fazole mungo (*Vigna radiata*) (Hodgson, 2018)



Obr. 5. Význam bakterií v koloběhu dusíku v půdě (Wikimedia, 2023)

3.2.4 Bakterie žijící ve vodě

Výskyt bakterií ve sladké a slané vodě je ovlivněn přítomností živin a prvků, kyslíkem, salinitou, pH, teplotou, což ovlivňuje vzdálenost od břehu, hloubka a proudění vody, či přítomnost jiných organismů (Kopecká a Rotková, 2017). Obecně lze bakterie ve vodě rozdělit na 1/ autochtonní (původní bakterie, např. zástupci rodů *Chromobacterium*, *Flavobacterium*, *Micrococcus*, *Spirillum*), 2/ alochtonní (nepůvodní, do vody se dostávají splachem hlavně z půdy, např. druhy rodů *Bacillus*, *Micrococcus* nebo *Streptomyces*), 3/ bakterie z trávicího traktu zvířat či člověka, především zástupci čeledi Enterobacteriaceae a rodu *Clostridium* (Rozsypal, 1981). Přítomnost bakterií ve vodě tak může indikovat organické či fekální znečištění. Organické znečištění je způsobeno převážně autochtonními a půdními bakteriemi, z hygienického hlediska není tak významné. Fekální znečištění vody představuje však značné riziko, jelikož v jeho důsledku může docházet ke zdravotním komplikacím. Indikátorem tohoto znečištění jsou koliformní bakterie, primárně *Escherichia coli*, a fekální enterokoky. V případě podezření na kontaminaci je třeba provést rozbor vody dle vyhlášky 252/2004 Sb. (Kopecká a Rotková, 2017) a následnou sanaci. V moři se bakterie vyskytují ve všech oblastech a hloubkách. Největší koncentrace jsou v pobřežních oblastech, kde dochází k znečištění, méně potom na volném moři a velkých hloubkách (Rozsypal, 2003).

3.3 Využití bakterií při biodegradaci

Biodegradace je proces rozkladu organických látek, včetně těch způsobujících znečištění, působením organismů, jako jsou bakterie, houby, vyšší organismy a rostliny. Proces biodegradace probíhá přirozeně v přírodě, využívá se však i cíleně k detoxikaci životního prostředí po ekologických haváriích a znečištění antropogenní činností. Mikroorganismy žijící v půdě a ve vodě jsou schopny polutanty rozkládat na látky, které jsou poté schopné využívat jako zdroj živin a zároveň je uvolňovat do okolí, odkud je následně mohou využívat i další organismy (Horáková, 2006). Aby proces biodegradace probíhal úspěšně, je třeba aby byly splněny určité podmínky. Těmito podmínkami jsou, přítomnost vhodného organismu schopného produkovat enzymy, které jsou základním spouštěčem biodegradace, či vhodné abiotické a biotické podmínky prostředí. Mezi abiotické faktory se řadí teplota, vlhkost, živiny, obsah kyslíku, či pH. Biotickým faktorem je přítomnost jiných mikroorganismů, kdy může docházet k synergismu, v rámci kterého, organismy spolupracují na degradaci látek (Pande et al., 2020). Proces biodegradace v přírodě je významným jevem, jelikož se díky němu snižuje obsah polutantů v životním prostředí, které tak mohou být rozloženy na netoxické látky, využitelné řadou organismů ve svůj prospěch. Degradace však nemusí vždy proběhnout úspěšně. V důsledku nevhodných podmínek prostředí a polutantu nemusí dojít k žádnému či jen částečnému rozkladu, případně se polutanty mohou rozložit na jiné toxické látky, které v prostředí přetrvávají.

3.3.1 Bioremediace

V důsledku antropogenních vlivů, jako je těžba nebo zemědělství, se do životního prostředí dostává řada nežádoucích a často i toxických látek, které mohou způsobovat znečištění a mít negativní vliv na ekosystémy. Mezi tyto látky patří například ropné uhlovodíky, těžké kovy, agrochemikálie, plasty, jaderný odpad, barviva nebo splašky. Jejich redukce z přírody je obtížný proces, kterého lze dosáhnout například bioremediací (Azubuike et al., 2016). Bala et al. (2022) popisuje bioremediace jako proces využití mikroorganismů, jako jsou bakterie, řasy, houby a rostliny, k rozkladu, změně, odstranění, imobilizaci nebo detoxikaci různých fyzikálních a chemických znečišťujících látek v životním prostředí. V rámci bioremediací tak dochází k cílenému urychlení nebo povzbuzení procesů biodegradace, tak aby došlo k úplnému a úspěšnému rozkladu či transformaci polutantu, například po ekologických haváriích. Úspěšnost bioremediace závisí na volbě vhodné metody a na faktorech prostředí, a to zejména na vlhkosti, živinách, teplotě, pH, či přítomných mikroorganismech. Důležitým faktorem je i přítomnost kyslíku a s tím spojená přítomnost aerobních či anaerobních organismů. Některé polutanty vykazují efektivnější a rychlejší rozklad při přístupu vzduchu, některé lépe degradují bez něj.

Na základě toho, kde tento proces probíhá, se rozlišují dva základní typy, a to bioremediace v *ex-situ* a *in-situ* podmínkách (Bala et al., 2022).

Bioremediace *ex-situ*

Tento proces degradace polutantů probíhá na jiném místě, než na kterém došlo k znečištění. Obvykle se používá pro remediaci půd a podzemních vod, kdy dochází k vykopání či vypumpování kontaminované složky a jejímu následnému vyčištění (Kensa, 2011). Tento způsob sanace je využíván zejména v případech, kdy došlo k znečištění půdy ropou. Mezi nejvýznamnější bakterie využívané při degradaci ropy patří zástupci rodů *Pseudomonas*, *Achromobacter*, *Arthrobacter*, *Acinetobacter*, *Brevibacterium*, nebo *Nocardia* (Horáková, 2006). Konkrétními metodami by v případě půdy byl záhonový způsob degradace neboli landfarming, kompostování, biopiles a bioreaktory (Azubuike et al. 2016). Při metodě landfarming se kontaminovaná zemina převáží do speciálních hal s nepropustnou podlahovou krytinou, kde dochází k pravidelnému přeorávání a provzdušňování, dokud nedojde k rozkladu polutantů. Tato metoda se vyznačuje nenáročností a nízkými náklady na provoz. Kompostování je remediační technika, při které dochází k smíchání kontaminované půdy s organickým materiálem, jako je například hnůj. Tento materiál a zvýšená teplota zajišťuje přísun mikroorganismů, kteří se podílejí na degradaci. Metoda biopiles kombinuje landfarming a kompostování. Dochází při ní k vytěžení zeminy, následnému provzdušňování (bioventing) a zavlažování, za účelem zvýšit mikrobiální aktivitu. Bioreaktory, suspenzní reaktory nebo vodní reaktory, se využívají jak k sanaci půdy, tak i vody. Při tom procesu je kontaminovaná složka čištěna pomocí zádržného systému. Degradace pomocí suspenzních reaktorů je efektivnější než remediace půd *in-situ*. Lze snáze kontrolovat, ovlivňovat a je předvídatelná (Azubuike et al., 2016; Sutar a Kumar, 2012). K sanaci vody v *ex-situ* se využívají také čističky odpadních vod. Standartně se rozlišují dva druhy odpadních vod, splaškové vody a průmyslové odpadní vody. Jako splaškové vody jsou označovány odpadní vody z kanalizací, čistíren a zemědělství. Průmyslové odpadní vody jsou odpadní vody z průmyslových výroben. Čištění odpadních vod je důležité nejen z důvodu degradace polutantů, ale i likvidace patogenních organismů ve vodě. Proces čištění probíhá v několika fázích. Nejčastěji se v čističkách využívají zástupci bakteriálních kmenů *Proteomonadota*, *Bacteroidetes*, *Chloroflexi*, *Firmicutes*, *Acidobacteria* (Cyzdik-Kwiatkowska a Zielińska, 2016).

Bioremediace *in-situ*

Bioremediace v *in-situ* probíhá v místě znečištění. Metody jsou tak aplikované přímo v místě kontaminace, nedochází tak k narušení životního prostředí těžbou a přepravou, čímž se následně snižují i náklady na provoz. Mezi významné metody bioremediace *in-situ* patří, biostimulace, bioaugmentace, bioventing, biosparging (Kensa, 2011). Tyto metody se obvykle zaměřují na již přítomnou populaci mikroorganismů a způsoby, jak urychlit přirozený proces rozkladu.

Při biostimulaci dochází k zejména k úpravě prostředí, například dodáním kyslíku, živin, prvků (dusíku, fosforu, síry), či jiných elektronových akceptorů a donorů, které podporují množení a funkci mikroorganismů. Metoda bioaugmentace se využívá v případě, že je třeba dodat do prostředí bakterie, které zajistí degradaci. Při použití této metody je nutné brát v úvahu původní bakteriální populaci a možné dopady, jež může představovat dodání jiného druhu do prostředí (Iwamoto a Nasu, 2001). Bioventing je technologie, využívaná k sanaci půdy znečištěné uhlovodíky. V rámci tohoto procesu je do nenasycené zóny v podloží dodáván kyslík a živiny které mají zajistit zvýšení aktivity přítomných mikroorganismů a zvýšit tak degradaci. Kyslík je do půdy přidáván kontrolovaně tak aby byla zajištěna biodegradace a zároveň aby nedocházelo k přeměně ropných uhlovodíků do plynného skupenství a následnému uvolňování do atmosféry. Technologie biosparging probíhá na podobném principu jako technologie bioventingu. Kyslík je však dodáván do nasycené zóny a pod tlakem. Účinnost je ovlivňována propustností půdy, což ovlivňuje přístupnost mikroorganismů ke znečišťujícím látkám, a biologické rozložitelnosti polutantů (Kensa, 2011; Azubuike et al., 2016).

Biofiltry představují další z možných metod využití mikroorganismů k čištění polutantů. Využívají se zejména pro sanace vzduchu a vody. Mikroorganismy mohou být uchyceny na pevném podkladu, jako jsou zemina, piliny, kůra, nebo aktivní uhlí. Biofiltry se mohou využívat například v čističkách odpadních vod k filtraci vody od patogenních organismů a nečistot, nebo v lakovnách, k rozkladu toxických látek ve vzduchu (Horáková, 2006).

Bioremediační technologie mají řadu výhod. Primárně představují šetrný způsob, jak odstraňovat škodlivé látky z životního prostředí na základě přirozených degradačních procesů, probíhajících v přírodě. Dále nedochází k přesunu toxických látek z jednoho prostředí do druhého, z půdy do vody a do vzduchu nebo obráceně, naopak dochází ke kompletnímu rozkladu v rámci jednoho prostředí. Bioremediace jsou také ve většině případů levnější alternativou oproti fyzikálně-chemickým metodám. Tyto procesy se však vyznačují i jistými nevýhodami a omezeními.

Hlavní omezení představuje fakt, že bioremediace lze uplatnit pouze na rozkladatelné látky, a ne všechny sloučeniny podléhají kompletní a rychlé degradaci. Riziko také představuje možnost, že produkty vzniklé rozkladem mohou být škodlivější než původní látky a mohou v prostředí přetrvávat déle. Dále je také potřeba, aby byly splněny všechny aspekty, zaručující efektivní průběh degradace (Kensa, 2011).

3.4. Využití bakterií při biodegradaci plastů

Plasty lze charakterizovat jako polymery složené z uhlíkových řetězců, které se syntetizují z organických a anorganických látek. Na jejich výrobu se využívá celulóza, ropa, uhlí, nebo zemní plyn. Přidávány jsou také různá aditiva, která mají zaručit pevnost a odolnost. Mezi nejvyužívanější druhy plastů patří polyethylen (LDPE, MDPE, HDPE, LLDPE), polypropylen (PP), polystyren (PS), polyvinylchloride (PVC), polyurethane (PUR), polybutylen tetráftalát (PBT) a nylony (Kamboj, 2016).

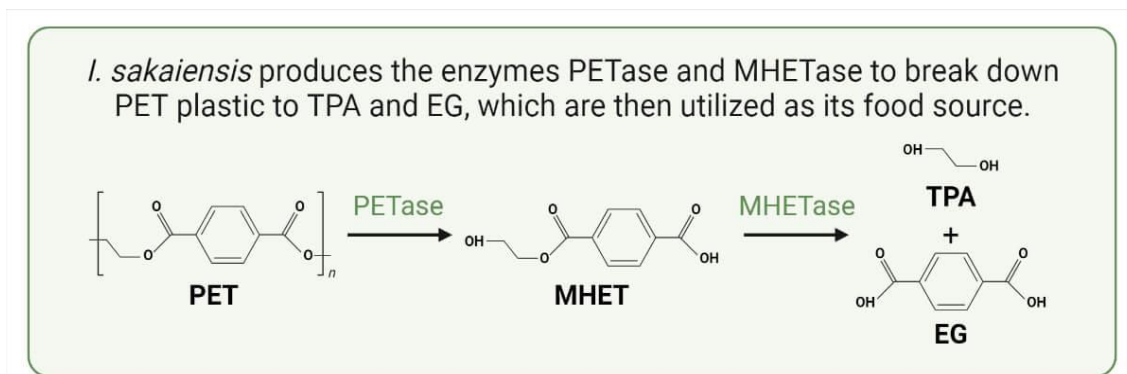
K objevu plastu došlo již v roce 1860, průmyslově se však začal využívat až o 90 let později (Gourmelon, 2015). Od roku 1950 do roku 2015 bylo vyrobeno zhruba 6,300 milionů metrických tun plastu, s predikcí, že do roku 2050 hodnota dosáhne 34 miliard tun (Geyer et al., 2017). Plasty představují významný materiál, který je využíván celé řadě průmyslových a ekonomických sektorů jako je přeprava, stavebnictví, zdravotnictví, potravinářství, telekomunikace nebo spotřební zboží. Avšak vysoká produkce a nedostatečná recyklace či redukce zapříčinili celosvětové znečištění plasty. Z veškerého vyrobeného plastu bylo pouze 9 % recyklováno, 12 % bylo spáleno a zbylých 79 % zůstává v ekosystémech. Problém nastává ve chvíli, kdy se plasty dostanou do životního prostředí, jelikož se působením UV záření rozpadají na mikroplasty (<5 mm) nebo nanoplasty (<1 μm nebo 1000 nm). Ty se poté hromadí ve vodě a půdě, což představuje významné riziko pro organismy i celé ekosystémy (Walker a Faquet, 2023; Sivan, 2011). Odhadem zhruba 10–20 milionů tun plastu ročně skončí v oceánech a mořích, kde se stávají prakticky nerozložitelnými (Gourmelon, 2015). V průběhu let byla vytvořena řada způsobů a metod kterými lze degradovat či likvidovat plast. Většina těchto metod byla fyzikálně-chemická, například fotooxidační degradace, tepelná degradace, ozonová degradace, mechanochemická či katalytická degradace. Další možnost rozkladu plastových materiálů představuje biodegradace (Manzoor et al., 2022).

Schopnost degradovat plast byla prokázána u několika bakteriálních kmenů, například *Proteobacteria*, *Firmicutes* a *Actinobacteria*. U druhů z rodů *Pseudomonas*, *Escherichia* a *Bacillus* byla prokázána schopnost rozkládat odolné polymery jako například polyethylen (PE), polyethylentereftalát (PET) a polystyren (PS). Schopnost bakterií degradovat plast je založená na jejich schopnosti produkovat extracelulární a intracelulární enzymy. Pomocí těchto enzymů jsou schopny štěpit řetězce polymerů na kratší řetězce nebo molekuly (např. oligomery, dimery, monomery) (Zeming et al., 2023). Mikroorganismy rozkládají polymery pomocí procesů biodetoriace, biofragmentace, mineralizace a asimilace. Při biodetoriaci dochází k fyzikálnímu a chemickému narušování povrchu plastu, například tvorbou substrátu uvnitř plastů nebo tvorbou biofilmu na povrchu.

Biofragmentace je založena na enzymatickém působení na polymery plastu. Při mineralizaci dochází k rozkladu složitějších látek na jednodušší. Při procesu asimilace jsou atomy začleněny do mikrobiálních buněk a dochází tak k degradaci. Mikrobiální schopnost degradovat plast se snižuje ve chvíli kdy se snižuje rozpustnost polymerů (Zeenat et al., 2021). V případě že dochází k aerobní degradaci se plast mineralizuje až na oxid uhličitý a vodu, v případě anaerobní respirace dochází k mineralizaci na oxid uhličitý, vodu a methan a vzniku biomasy pro energii (Cai et al., 2023).

3.4.1 Vybrané druhy bakterií se schopností rozkládat plasty

Ideonella sakaiensis je gramnegativní, tyčinkovitá, pohyblivá, aerobní bakterie. Řadí se do kmenu *Proteobacteria*, řád *Pseudomonadales*, čeleď *Comamonadaceae*, rod *Ideonella*. Byla objevena roku 2016 v Saskai, Japonsku v zařízení na recyklaci plastů (Dahal, 2023). Pro její růst je ideální teplotní rozmezí mezi 30-37 °C a pH prostředí mezi hodnotami 5-9, s tím, že nejvíce preferují neutrální prostředí. Bylo prokázáno, že je *I. sakaiensis* schopna využívat PET (polyethyltereftalát), jako jediný zdroj uhlíku (Walter et al., 2022). PET je jeden z nejrozšířenějších polymerů, využívající se při výrobě plastových lahví, oblečení, obalů nebo jednorázového nádobí. Polyethyltereftalátová vlákna jsou velmi trvanlivá, elastická, silná a chemicky odolná. Právě tyto vlastnosti způsobují obtížnou degradaci těchto polymerů, což má za následek jejich hromadění v životním prostředí a znečištění (Shahid a Ali, 2023). Při studiu účinků *I. sakaiensis* na PET byly identifikovány dva hlavní enzymy zodpovědné za degradaci, a to 1/ exoenzym PETasa, který působí na PET a přeměňuje jej na mono-(2-hydroxyethyl) tereftalát (MHET) a 2/ enzym MHETasa, který v periplazmatickém prostoru hydrolyzuje MHET na ethylenglykol (EG) a kyselinu tereftalovou (TPA). Výsledné produkty jsou transportovány do cytoplazmy a následně začleněny do Krebsova cyklu. Efektivita a rychlost degradace může být ovlivňována krystalinitou, PET s nižší krystalinitou je rychleji rozkládán. Dalšími faktory může být hydrofobnost, struktura povrchu a molekulární velikost syntetických polymerů (Walter et al., 2022). Bylo prokázáno, že narušení povrchu plastů, např. pomocí tepla, detergentů nebo rozpouštědel, vedlo k zvýšení aktivity enzymu PETasy, a tudíž lepší degradaci (Sevilla et al., 2023).



Obr. 6. Enzymatický rozklad PET u bakterie *Ideonella sakaiensis* (Dahal, 2023)

Brevibacillus borstelensis je grampozitivní, tyčinkovitá, pohyblivá, striktně aerobní, termofilní bakterie s ideálním teplotním rozmezím mezi 45 °C až 70 °C. Kmen *Brevibacillus* je schopen rozkládat polyethylen a uhlovodíky s dlouhými řetězci (Khalil et al., 2018). Bylo prokázáno, že *Brevibacillus borstelensis* využívá polyethylen jako jediný zdroj uhlíku, a to i v případě, že je přítomný jiný zdroj uhlíku. Bylo zjištěno, že *B. borstelensis* je schopna vytvářet na povrchu polyethylenu biofilm, díky kterému dochází k účinnější degradaci. Schopnost bakterií vytvořit biofilm může umocněna ošetřením povrchu polyethylenu aktivními látkami nebo UV zářením (Hadad, 2005).

Rhodococcus ruber je grampozitivní, aerobní, nesporulující bakterie patřící mezi nokardiformní aktinomycety (Guevara et al., 2019). Má schopnost rozkládat uhlovodíky, aromatické sloučeniny a různé plastové polymery na bázi uhlovodíků jako polyethylen, polystyren či polypropylen (Goudrian et al., 2023). Pro *R. ruber* je charakteristické, že je vysoce hydrofobní a díky tomu vytváří na povrchu polyethylenu hustý biofilm, což přispívá biodegradaci (Sivan et al., 2006).

Symbiotické střevní bakterie larev hmyzu

Některé druhy hmyzích larev jsou schopny rozkládat plasty. Kromě larev ***Zophobas atratus*** byla degradace pozorována například i u moučného červa ***Tenebrio molitor***. Larvy, které vykazují schopnost degradace plasty, jsou tohoto schopny díky bakteriím tvořícím jejich střevní mikrobiotu. V rámci testování byla zjišťována možnost degradace polystyrenu, polyethylenu, polyuretanu, polypropylenu nebo polyvinylchloridu pomocí larev. Při zjišťování bakteriálního složení střevní mikrobioty larev bylo zjištěno, že druhy živící se polyuretanem a ethylen vinyl chloridem obsahovaly nejvíce bakterie řádů Lactobacillales a Enterobacteriales. U larev, kterým byl podáván polypropylen, byly zjištěny bakterie z čeledí Enterobacteriaceae, Pseudomonadaceae a zástupci rodů *Enterococcus* a *Lactococcus* (Weng et al., 2024).

Bylo zjištěno, že larvy *Z. atratus* jsou také schopny depolymerizovat řetězce polystyrenu na nízkomolekulární degradované produkty a ty dále mineralizovat na CO₂.

Larvy byly polystyrenem krmeny po dobu 28 dní a byly schopné pozřít až 0,58 mg PS za den. Poté, co byla antibiotiky eliminovaná střevní mikrobiota těchto larev, došlo k narušení schopnosti degradace plastu (Yang et al., 2020).



Obr. 7. Schopnost larev *Zophobas atratus* rozkládat polystyren (Yang et al., 2020).

Bakterie rodu *Pseudomonas* jsou hojně využívány při bioremediacích, hlavně ropy a jiných uhlovodíků. V případě biodegradace plastů patří mezi jedny z nejvýznamnějších mikroorganismů. Byla u nich prokázána schopnost degradovat syntetické plasty s různým stupněm účinnosti. Zástupci r. *Pseudomonas* rozkládají plast pomocí enzymů hydroláz, lipáz, esteráz nebo kutináz. K efektivnější degradaci přispívá i tvorba biofilmu na povrchu plastu, který *Pseudomonas* jsou schopny tvořit i bez předchozí úpravy plastu (Wilkes a Aristilde, 2017).

Schopnost rozkládat plast byla pozorována i u zástupců z rodu *Vibrio*, konkrétně u *Vibrio parahaemolyticus*, *Vibrio vulnificus* a *Vibrio alginolyticus*. Jedná se o patogenní mořské bakterie se schopností vytvářet biofilm na povrchu plastů. *Vibrio parahaemolyticus* a *Vibrio vulnificus* byly schopné při teplotách 20–25 °C vytvořit biofilm na nízkohustotním polyethylen (LDPE), polypropylenu (PP) a polystyrenu (PS) (Leighton et al., 2023).

Znečištění životního prostředí plasty a zejména mikroplasty představuje významné riziko pro člověka i celé ekosystémy. Nejhuře postiženými jsou mořské ekosystémy, kde dochází k hromadění plastů a formování tzv. plastových ostrovů, šíření znečištění i na vzdálená místa ve světě, a navíc se zde mikroplasty mohou stávat součástí potravních řetězců a tím se dostat i do těl organismů (Urbánek et al., 2018). Biodegradace plastů za použití mikroorganismů by představovala možné řešení tohoto problému. Bylo by však třeba lépe pochopit a prozkoumat vlivy mikroorganismů a jejich enzymů na plast a zajistit vhodné podmínky prostředí pro degradaci (Shiwei et al., 2024).

4. Materiál a metody

V rámci bakalářské práce byl proveden rozbor vybraných výukových materiálů zabývajících se učivem bakterií. Těmito materiály jsou učebnice přírodopisu a biologie pro dané stupně vzdělání a internetové zdroje. Učebnice biologie byly vybrány na základě analýzy dostupných výukových materiálů pro gymnázia, střední odborné školy a 2. stupeň základních škol (Tab. 7). Byl proveden rozbor vybraných učebnic po obsahové stránce s cílem zjistit, zda obsahují témata, která jsou uvedena v RVP a ŠVP pro dané ročníky.

Tab. 7. Vybrané učebnice Biologie a Přírodopisu

Název učebnice	Autoři	Rok vydání	Pro koho je určena
Obecná biologie	Václav Kubišta	2000	Gymnázium
Biologie v kostce	Hana Hančová, Marie Vlková	1997	Střední školy
Biologie pro gymnázia	Jan Jelínek, Vladimír Zicháček	2014	Gymnázium
Mikrobiologie, Imunologie, Epidemiologie, Hygiena	Dana Göpfertová, Daniela Janovská, Karel Dohnal, Věra Melicharčíková	2002	Střední školy a vyšší odborné zdravotnické školy
Biologie pro zdravotnické školy	Jaroslav Odstrčil, Antonín Hrůza	2008	Pro studenty nelékařských zdravotnických oborů a studenty ošetrovatelství
Mikrobiologie, Imunologie, Epidemiologie a hygiena	Barbora Drnková	2019	Pro studenty zdravotnických oborů
Hravý přírodopis	Hana Žídková, Kateřina Knůrová	2017	6. ročník ZŠ a víceletá gymnázia
Přírodopis 6	Jaroslav Jurčák	1997	2 stupeň ZŠ
Přírodopis 6	Martin Dančák, Michaela Sedlářová	2015	2 stupeň ZŠ
Poznáváme život 6	Danuše Kvasničková	1995	2. stupeň ZŠ

Internetové zdroje (viz seznam literatury) jsem volila tak aby byly volně dostupné a dohledatelné. Zároveň musely obsahovat pravdivé, srozumitelné a užitečné informace vztahující se k učivu bakterií.

Z učebnic, odborných článků a internetových stránek (viz seznam literatury) jsem čerpala informace pro zpracování vlastních výukových materiálů pro studenty gymnázií a středních škol s tématem Bakterie v ŽP, tj. prezentaci v MS Powerpointu, badatelských úloh, křížovky a pracovního listu.

Výuková prezentace seznamuje studenty s obecnou charakteristikou bakterií, způsoby výživy a metabolismu, ekologií a významem bakterií a využití bakterií při biodegradaci a bioremediaci.

Při tvorbě badatelských úloh jsem také vycházela z informací obsažených na webu vzdělávacího centra TEREZA (terezanet.cz, 2024). Na jejich stránkách badatele.cz (2024), lze najít informace k badatelsky orientované výuce (BOV), inspiraci pro výuku, nebo se lze přihlásit na jejich kurzy, semináře či webináře, které jsou zaměřeny na seznámení se s principy BOV a jak správně vést takovou výuku.

Badatelsky orientovanou výukou a formativním hodnocením se zabývá také projekt Hyperspace, který má sloužit jako inspirace pro současné i budoucí učitele. Zaměřuje se tvorbu různých metodických materiálů, úloh a videí určených pro výuku přírodovědných předmětů a matematiky (hyperspace.cz, 2024)

Pracovní list a křížovka jsou zaměřeny na zopakování tématu, upevnění informací a základních pojmů, které se vážou k tématu bakterií. Při tvorbě jsem vycházela z informací obsažených v učebnicích a výukových materiálech pro střední školy a obsahové náplně dané rámcovými vzdělávacími programy a školními vzdělávacími programy.

V rámci praktické části bakalářské práce bylo provedeno dotazníkové šetření ve dvou třídách 4. ročníků osmiletého studia na Gymnáziu Jiřího Wolkera s cílem seznámit studenty s tématem „Bakterie v životním prostředí“ a ověřit jejich reakce na toto téma. Studentům byla prezentována výuková prezentace a následně jim byly rozdány dotazníky s pěti otázkami, které ověřovaly názor žáků na prezentaci a vybrané téma. Odpovědi na jednotlivé otázky byly zpracovány formou sloupcových grafů zobrazujících četnost a počet respondentů. Výsledky dotazníkového šetření byly zpracovány v programu MS Excel.

5. Výsledky

5.1. Srovnání výukových materiálů – zaměřeno na téma Bakterie

V rámci srovnávání výukových materiálů byl proveden rozbor učebnic, které jsou nejčastěji používány při výuce biologie ve školách (Tab. 7). Byly porovnávány učebnice používané na gymnáziích, učebnice používané na středních odborných školách a pro srovnání byly přidány i učebnice pro 2. stupeň základních škol.

5.1.1. Učebnice pro Gymnázia

Pro srovnání výukových textů pro gymnázia byly vybrány učebnice Obecná biologie (Kubišta, 2000), Biologie v kostce (Hančová a Vlková, 1997) a Biologie pro gymnázia (Jelínek a Zicháček, 2014). Tab. 8 shrnuje vybrané učebnice a témata, která by měla být obsažena v učivu biologie bakterií pro střední školy. Všechny učebnice uvedené v Tab. 8. popisují vybraná mikrobiologická témata, učebnice Biologie v kostce nezmiňuje možnosti hygieny a prevence.

Tab. 8. Učebnice pro gymnázia

Název učebnice	Autor	Téma					
		Popis prokaryotické buňky	Rozmnožování	Metabolismus a výživa	Význam	Využití	Hygiena a prevence
Obecná biologie	Václav Kubišta	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO
Biologie v kostce	Hana Hančová, Marie Vlková	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO	NE
Biologie pro gymnázia	Jan Jelínek, Vladimír Zicháček	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO

5.1.2. Učebnice pro Střední odborné školy

Pro srovnávání učebních textů určených středním odborným školám byly vybrány učebnice primárně vydané pro zdravotnické obory. Těmito učebnicemi jsou Mikrobiologie, Imunologie, Epidemiologie a Hygiena (Göpfertová et al., 2002), Biologie pro zdravotnické školy (Odstrčil a Hruža, 2008) a Mikrobiologie, Imunologie, Epidemiologie a Hygiena (Drnková, 2019). Z Tab. 9. lze vyčíst, že dané učebnice pokrývají podstatnou část učiva, s tím že některá témata, například rozmnožování bakterií byla vynechána na úkor jiných. Tyto učebnice se zaměřovali spíše na patogenitu bakterií, možnosti léčby, prevence a hygienu.

Tab. 9. Učebnice pro Střední odborné školy

Název učebnice	Autoři	Téma					
		Popis prokaryotické buňky	Rozmnožování	Metabolismus a výživa	Význam	Využití	Hygiena a prevence
Mikrobiologie, Imunologie, Epidemiologie a Hygiena	Dana Göpfertová, Daniela Janovská, Karel Dohnal, Věra Melicharčíková	ANO	NE	NE	ANO	ANO	ANO
Biologie pro zdravotnické školy	Jaroslav Odstrčil, Antonín Hruža	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO	NE
Mikrobiologie, Imunologie, Epidemiologie a hygiena	Barbora Drnková	ANO	NE	NE	ANO	ANO	ANO

5.1.3. Učebnice pro 2. ročník ZŠ

Pro porovnání učebních materiálů 2. stupně základních škol byly vybrány Hravý přírodopis (Žídková a Knůrová, 2017), Přírodopis 6 (Jurčák, 1997), Přírodopis 6 (Dančák a Sedlářová, 2015) a Poznáváme život 6 (Kvasničková, 1995). Z Tab. 10. lze vyčíst, že pouze Přírodopis 6 obsahoval všechny vybraná témata. Tato učebnice se v porovnání s ostatními věnovala učivu bakterií důkladněji a podrobněji. Ve srovnání s učebními materiály pro SŠ nebo gymnázia došlo k zjednodušení obsahu a důraz byl kladen na obrázky a názornost.

Tab. 10. Učebnice pro 2. ročník ZŠ

Název učebnice	Autoři	Téma					
		Popis prokaryotické buňky	Rozmnožování	Metabolismus a výživa	Význam	Využití	Hygiena a prevence
Hravý přírodopis	Hana Žídková, Kateřina Knůrová	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO	NE
Přírodopis 6	Jaroslav Jurčák	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO
Přírodopis 6	Martin Dančák, Michaela Sedlářová	ANO	ANO	NE	ANO	ANO	ANO
Poznáváme život 6	Danuše Kvasničková	ANO	ANO	NE	ANO	ANO	NE

5.1.4. Internetové zdroje

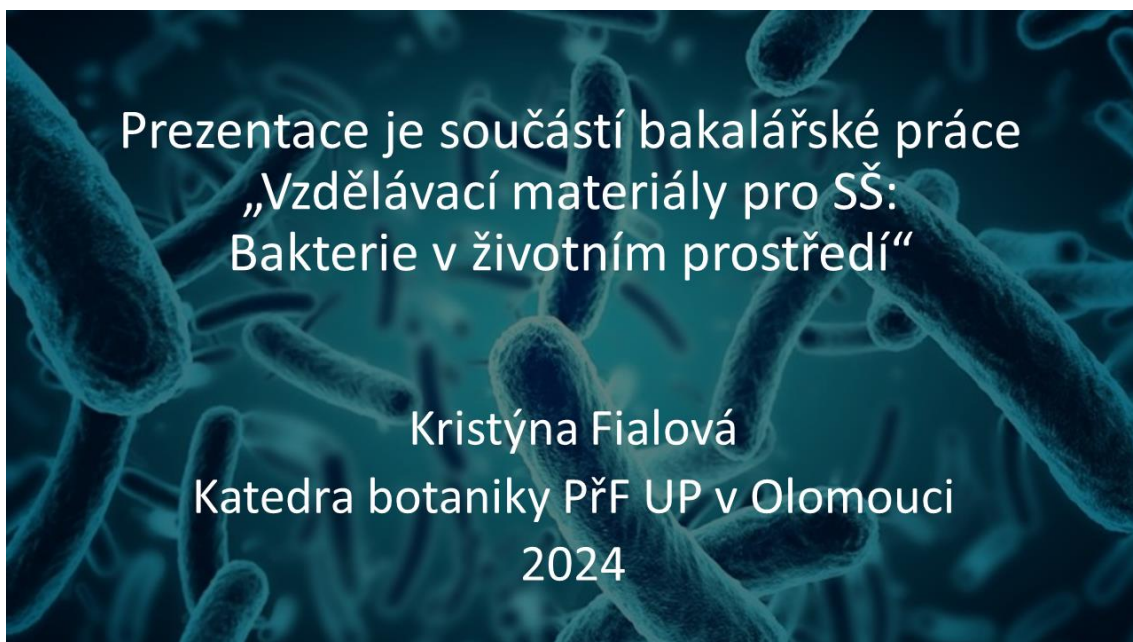
- 1) Internetový zdroj s vypracovanou prezentací na téma bakterií, která je určena spíše pro studenty druhého stupně základních škol, či nižších ročníků víceletých gymnázií. HOUŠKOVÁ, Martina. Bakterie. Metodický portál: Materiály do výuky [Online]. 14. 10. 2010, [cit. 2024-02-26].
Dostupný z: <https://dum.rvp.cz/materialy/bakterie.html>
- 2) Užitečným zdrojem informací pro dané téma je i internetový web studyhub.cz. Web je určen spíše žákům středních škol či gymnázií, zabývá se tématy z různých předmětů a zpracovává je snadno pochopitelnou formou.
Dostupný z: <https://studyhub.cz/blog/bakterie/>
- 3) Edukativní videa a materiály k tématu bakterií lze najít také na webu EDU od české televize. Video se zaměřují na využití a nemoci bakterií.
Dostupný z: <https://edu.ceskatelevize.cz/predmet/biologie?stupen=stredni-skola&tema=biologie-bakterii>
- 4) Stránka Umíme fakta (umimefakta.cz, 2024) je webová stránka zaměřená na tvorbu studijních materiálů a podkladů pro výuku přírodovědných i společenských předmětů.
Dostupný z: <https://www.umimefakta.cz/biologie/>
- 5) Internetová stránka mikrosvět.mimoni.cz je databáze úloh pro mikroskopická cvičení z biologie a určena pro učitele základních i středních škol. Na stránce lze najít 120 tematických úloh se zaměřením na biologii rostlin, hub, bakterií a sinic.
Dostupný z: <https://mikrosvet.mimoni.cz/>
- 6) Metodický portál RVP poskytuje vypracované materiály k různým tématům v přírodopise, včetně bakterií. Dostupné z: <https://dum.rvp.cz/?rvpFilter-rvp=ZFACA&filter-orderBy=published&paginator-page=0&paginator-totalPages=2>
- 7) Webová stránka learningapps.org nabízí širokou škálu kvízů a přiřazovacích cvičení k různým tématům nejen biologii. Dostupné z: <https://learningapps.org/>

5.2. Vlastní výukové materiály

Součástí bakalářské práce byla tvorba vlastních učebních materiálů. Těmito materiály jsou výuková prezentace, badatelské úlohy, křížovka a pracovní list se zaměřením na bakterie v životním prostředí. Tyto výukové materiály mohou sloužit jako vzor a podklad pro výuku bakterií na středních školách a gymnáziích.

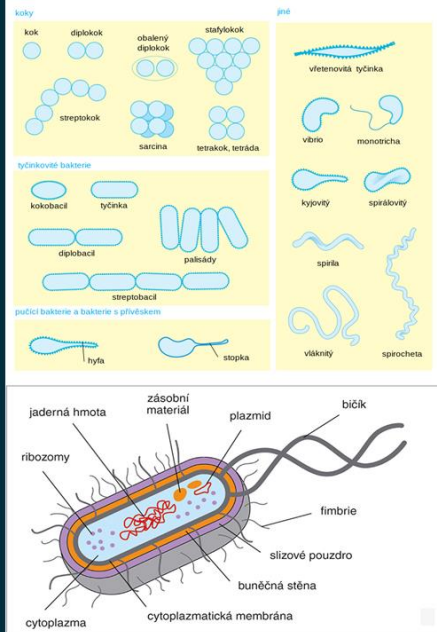
5.2.1. Výuková prezentace

Prezentace seznamuje studenty s obecnými informacemi o bakteriích, způsobech výživy a metabolismu, rolích a významem bakterií v životním prostředí, ale i využití bakterií při bioremediaci a biodegradaci plastu. Tato problematika není běžnou součástí vyučovaného tématu, mohou tak sloužit jako námět pro obohacení vyučování a rozšíření znalostí žáků.



Bakterie

- Mikroskopické rozměry
- Prokaryotní buňka (kruhová DNA, bez membrány), morfologie:
 - Kulovité - KOKY
 - Tyčkovité - BAKTERIE, TYČKY
 - Vlákňité
 - další
- Vyskytují se samostatně nebo tvoří shluky, případně kolonie
- Kosmopolitně rozšířené
- Snášejí extrémní podmínky okolí

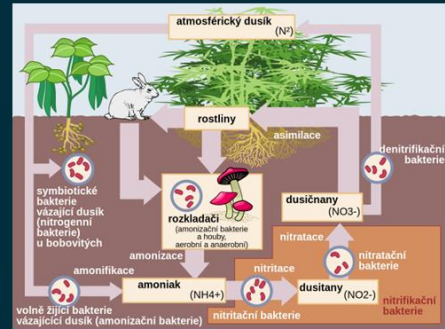


Výživa bakterií

Fotolitotrofní / fotoheterotrofní / chemolitotrofní / chemoheterotrofní

- Litotrofie (autotrofie) = způsob výživy organismů (nazývaných litotrofy), které k tomu účelu používají anorganický substrát, zdrojem uhlíku je CO_2
- Heterotrofie = způsob výživy, kdy organismy využívají uhlík z organických látek
- Fototrofie = energie je získávána zachycováním fotonů (ze světla)
- Chemotrofie = energie je získávána rozkladem chemických látek

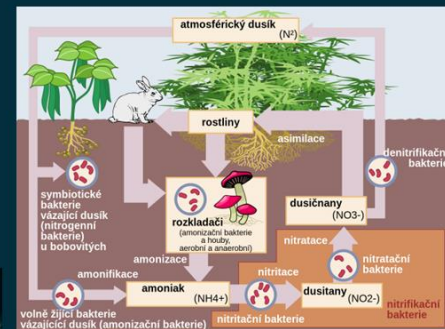
Významné role bakterií: Jak působí v ekosystémech?



Významné role bakterií: Jak působí v ekosystémech?



Symbionti



Rozkladači a fixátoři

Původci nemocí

Bakterie v životním prostředí

- Bakterie žijící v půdě
 - 1) Rozkládají organické substráty a uvolňují do půdy minerály
 - 2) Některé mají schopnost fixovat vzdušný dusík do půdy
 - *r. Azotobacter, Azospirillum, Agrobacterium,*
 - symbionti s kořeny vyšších rostlin – *r. Rhizobium*
 - 3) Podílejí se na koloběhu uhlíku, dusíku a síry v přírodě
 - Uhlík : autotrofní bakterie
 - Dusík: *r. Rhizobium, Azotobacter,*
 - Síra: *r. Thiobacillus*

Bakterie v životním prostředí

- Bakterie žijící ve sladké vodě
 - 1) Indikátoři znečištění – fekální znečištění vody
 - 2) Původci nemocí – *Escherichia coli, Salmonella, Legionella*
 - Do vody se obvykle dostávají splachem z půdy nebo odpadní vodou
- Bakterie žijící ve slané vodě
 - Bakterie se zde nachází prakticky ve všech hloubkách
 - Největší koncentrace je při pobřeží, kde dochází k znečištění, méně na volném moři a ve větších hloubkách



BIOREMEDIACE - využití bakterií při rozkladu látek nežádoucích v ŽP

- Zpracování a rozklad (toxického) odpadu po antropogenní činnosti, např. ekologických haváriích

1) *Ex - situ* – degradace se provádí na jiném místě, než kde došlo ke znečištění

- a) Biodegradace půdy / vody znečištěné ropnými látkami, PCB
- b) Kompostování – způsob degradace polutantů v půdě a tvorba humusu
- c) ČOV – mikroorganismy se využívají k čištění vody, až 97% úspěšnost, dochází k rozdělení kalu od vyčištěné vody

BIOREMEDIACE - využití bakterií při rozkladu látek nežádoucích v ŽP

2) *In - situ* – degradace se provádí v místě znečištění

- a) Biodegradace – dochází k dočištění kontaminované zóny za využití mikrobioty nebo konkrétních bakteriálních kmenů
-> biostimulace, bioaugmentace, bioventing, biosparging
- b) Biofiltry – zařízení, které využívají živé mikroorganismy k zachycování a degradaci různých látek, například acetonu, naftalenu, toluenu, nebo benzenu
-> využití - čištění vzduchu v lakovnách

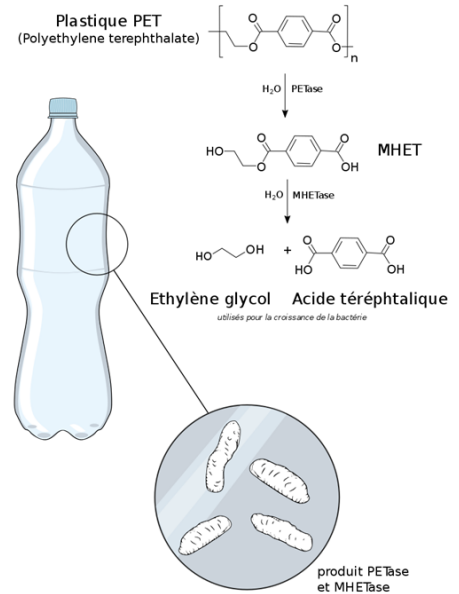
Využití bakterií v BIODEGRADACI PLASTŮ

- Některé bakterie tvoří enzymy, umožňující rozklad některých plastů
- Výhody: způsob šetrného odstraňování plastů, probíhá samovolně i v přírodě
- Nevýhody: úprava teploty (vysoká) a prostředí, časově náročný proces
- r. *Acinetobacter* – PE
- *Brevibacillus borstelensis* – termofilní bakterie, rozklad PE
- *Ideonella sakaiensis* – PET
- Bakterie, tvořící střevní mikroflóru larev *Zophobas atratus* – tyto larvy jsou schopné díky svému mikrobiomu rozkládat plasty

Využití bakterií v BIODEGRADACI PLASTŮ

Ideonella sakaiensis

- Objevena roku 2016 v Japonsku poblíž zařízení na recyklaci plastových láhví
- Pomocí enzymů PETasy a MHETasy štěpí PET na ethylenglykol a k. tereftalovou
- Produkty degradace mohou být využívány jinými organismy jako zdroj uhlíku



Shrnutí

- Bakterie jsou kosmopolitní, mikroskopické, prokaryotní organismy
- Plní významné role v rámci ekosystémů (rozkladači, fixátoři, symbionti)
- Záměrně se bakterie využívají při procesech bioremediace a biodegradace

5.2.2. Badatelské úlohy

Badatelsky orientovaná výuka (BOV) podporuje v žácích zvědavost, snahu poznávat a kriticky se zamýšlet nad problémy. Níže uvedené návrhy badatelských úloh jsou inspirovány materiály z výše uvedených učebnic biologie a z webových stránek

(<https://badatele.cz/>, <https://ucimesevenku.cz/>, <http://www.hyperspace.cz/>).

1) Pozorování sinic ve světelném mikroskopu

Postup:

- 1) Otázka – Myslíte si, že se ve vodních plochách blízkých vašemu bydlišti vyskytují sinice? Pokud ano, jaké a proč?
- 2) Hypotéza – žáci by se sami pokusili odvodit, jestli je výskyt sinic možný, či ne. Následně by se snažili odpovědět i na otázku proč.
- 3) Experiment – žáci by donesli do školy vzorek vody z vodní plochy blízké jejich bydlišti a pomocí mikroskopů by hledali odpověď na dané otázky. Byly by rozděleni do skupin a každá skupina by pracovala s jiným vzorkem vody. V průběhu experimentu by pak zapisovali, zda sinice viděli nebo ne a s pomocí učitele, určovací literatury, případně internetu určovali druhy pozorovaných sinic.
- 4) Vyhodnocení dat – Ve skupince by potom zhodnotili, k jakým poznatkům v průběhu bádání došli a snažili by se je ucelit tak aby je mohli sdělit spolužákům.
- 5) Prezentace výsledků, závěr a diskuse – Jednotlivé skupinky by prezentovali výsledky svých pozorování a snažili se svým spolužákům vysvětlit proč došli právě k těmto výsledkům. Následně by proběhla diskuse, zaměřená na zhodnocení procesu bádání a výsledku a byl by stanoven závěr.

Výhody: přímé zapojení studentů do procesu vyučování, názornost a s tím spojené lepší zapamatování daného učiva.

Nevýhody: časová náročnost a nároky na kvalitní vybavení (mikroskop), ne každá škola má k dispozici mikroskop s dostatečným zvětšením.

2) Projektový den na téma Bakterie v ŽP

Žáci rozděleni do skupin a měli by za úkol zpracovat prezentaci/poster na dané téma. Na začátku by byla opět stanovena otázka, například: V jakých životních prostředích se bakterie nacházejí, případně jaké druhy zde žijí? Poté by se dané skupinky snažili vymyslet odpovědi na tyto otázky. Každá skupinka by si následně vybrala jeho životní prostředí a s pomocí vyučujícího, literatury a internetu by hledala odpověď na otázky ze začátku bádání. Své odpovědi by následně žáci zpracovali formou prezentace či posteru a přednesli svým spolužákům. Na konec by proběhla diskuse a stanovili by se závěry jednotlivých bádání.

Výhody: nenáročnost na prostor a vybavení. Výuka by mohla proběhnout v rámci vyučování a v prostorách třídy.

Nevýhody: časová náročnost bádání (2 x 45 minut).

3) Zhotovení Winogradského sloupce

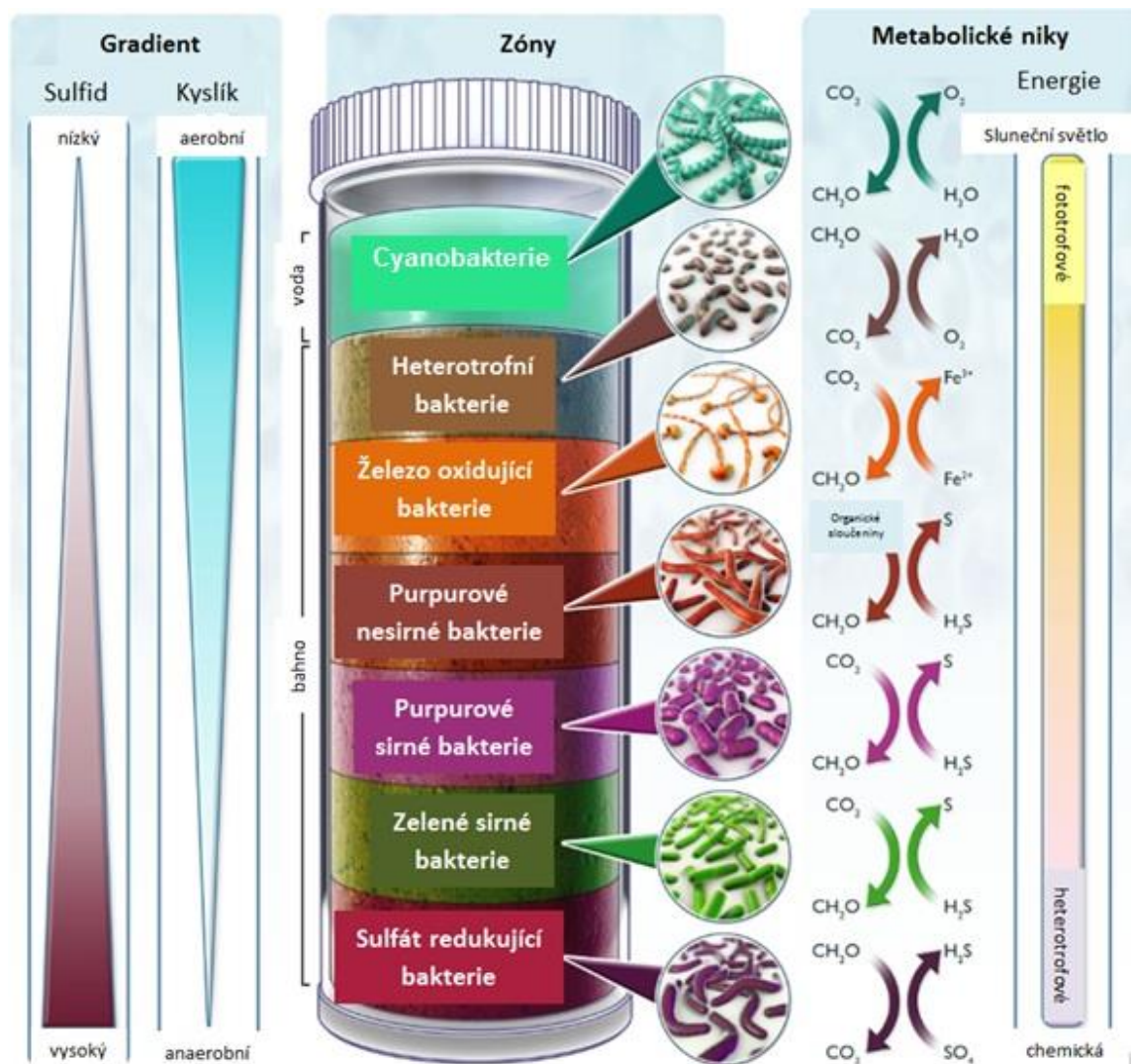
Pomůcky: Odměrný skleněný válec, bahno a voda z jezera nebo rybníka, zdroj uhlíku (skořápka), celulóza (papír), zdroj síry (např. syrové vejce), zdroj světla

Postup: Lze pracovat s jedním válcem či více. Z bahna je třeba vybrat dřevo, a přebytečné složky. Následně je bahno smícháno se zdrojem uhlíku, síry a celulózou, touto směsí se naplní válec zhruba do $\frac{3}{4}$ a zalije vodou. Poté se válec zakryje a nechá stát na světle, např. pod lampu. Nechá se několik týdnů stát a pozorují se změny probíhající ve válci (Kopecká a Rotková, 2017).

Odkazy na postup:

https://is.muni.cz/do/rect/el/estud/prif/js17/cviceni_mikrobiologie/web/pages/winogradskesh_o_kolona.html

<https://www.scientificamerican.com/article/bring-science-home-soil-column/>



Obr. 8. Winogradského sloupec (Kopecká a Rotková, 2017)

Tento experiment by bylo vhodné provádět v například rámci semináře, nebo biologického kroužku s menší skupinou žáků než ve třídě. Žáci by byli na začátku seznámeni s principem Winogradského sloupce a s jeho zhotovením. Poté by byla stanovena otázka, ku příkladu – Za jak dlouho se ve sloupci vyčlení jednotlivé vrstvy a co dané vrstvy představují? nebo Jaká různá využití může mít Winogradského sloupec? Žáci by se poté snažili vymyslet či najít odpovědi na

dané otázky. V rámci experimentální části by byly vytvořeny alespoň dva takové sloupce. Zde by byla možnost sestavit sloupce z odlišných materiálů a pozorovat ve kterém budou mikroorganismy reagovat rychleji. Po určité době (vyčlenění vrstev ve sloupcích) by došlo ke zhodnocení, sběru výsledků, diskusi a závěru.

Výhody: žáci by měli možnost pozorovat rozkladné procesy v průběhu času a vidět tak simulaci toho co se děje v přírodě.

Nevýhody: časová náročnost experimentu, kdy rozčlenění vrstev může probíhat v rámci týdnů až měsíců, lépe menší skupina studentů.

4) Využití bakterií při kompostování

Pomůcky: Kompostér, bioodpad

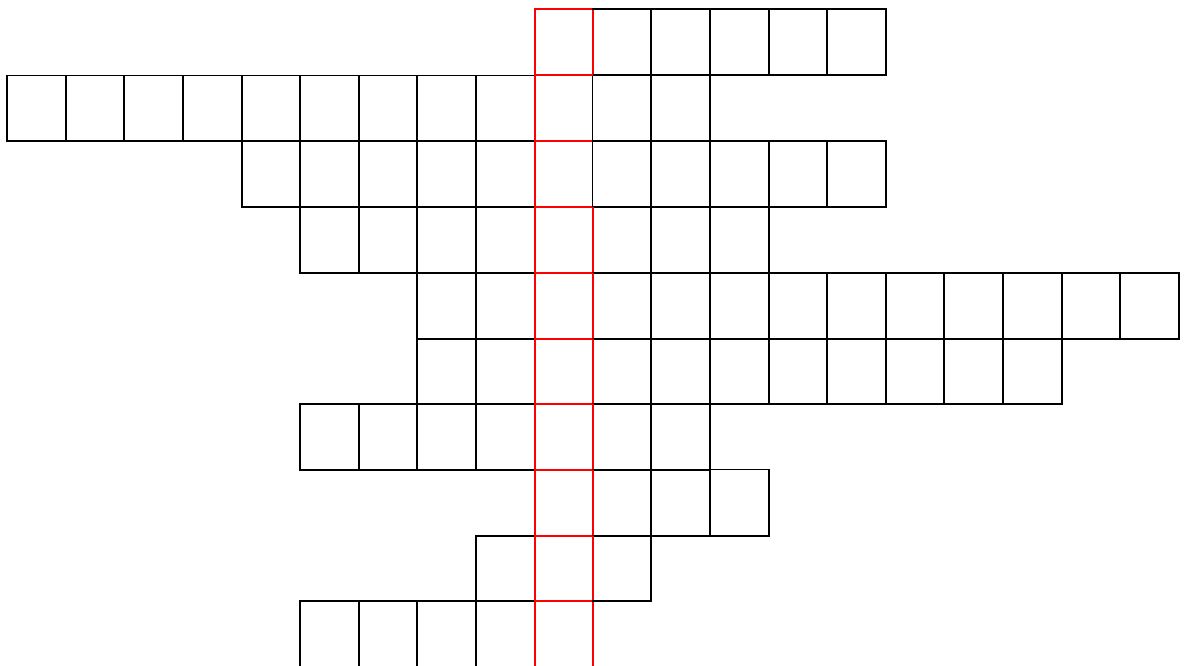
Postup: Na začátku je vhodné se studenty diskutovat o koloběhu živin v přírodě a zapojení mikroorganismů do rozkladu organických zbytků. Například, jak působí bakterie v rámci kompostu? Nebo jaké procesy probíhají v kompostéru? Co vše do kompostéru patří a co ne? Žáci by se následně pokusili odpovědět na stanovené otázky. V experimentální fázi studenti sestaví kompostér v areálu školy a průběžně se podílejí na jeho plnění. Po patřičné době by došlo k zhodnocení, diskusi a závěru. Ideálně je mít jeden kompostér již plný z minulých let a studentům demonstrovat jeho rozebrání.

Výhody: Žáci by si vyzkoušeli, jak správně zhotovit kompostér a seznámili by se s rozkladnou funkcí bakterií, vytvořený kompost by se dal využít například na školních záhoncích

Nevýhody: Časově náročné, na výsledky kompostování by žáci čekali delší dobu, nebo potřeba dalšího kompostéru s již rozloženým bioodpadem

5.2.3. Křížovka

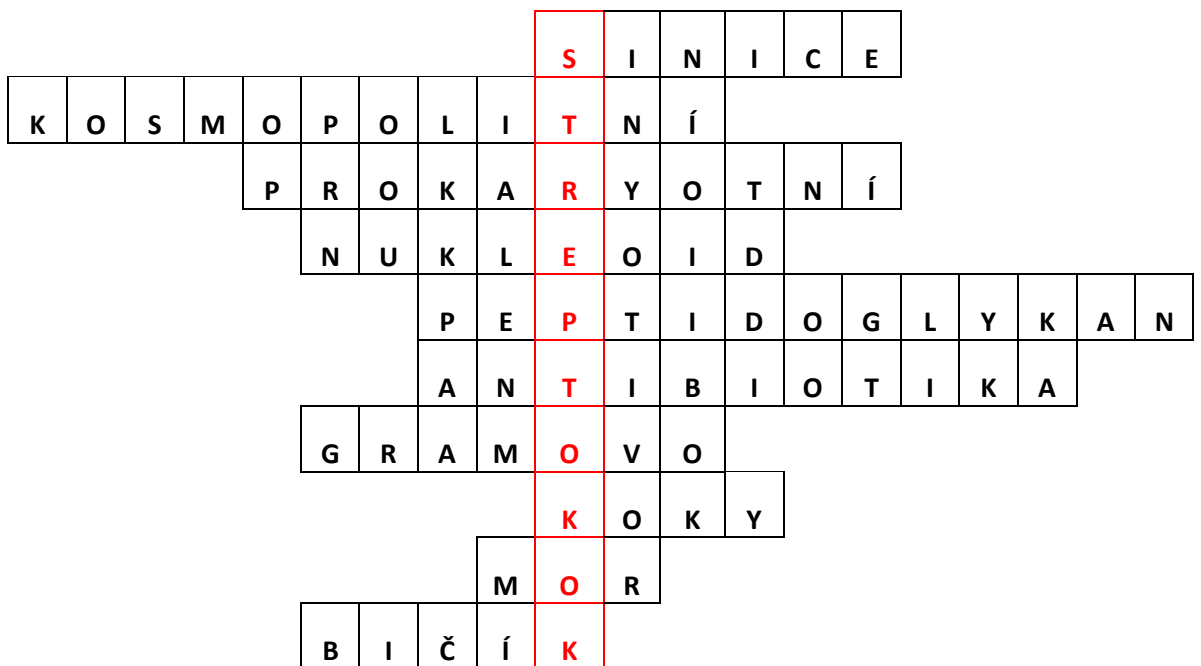
- 1) Český název skupiny, které se odborně říká cyanobacteria.
- 2) Bakterie jsou rozšířeny po celém světě. Jak takovéto organismy označujeme?
- 3) Typ buňky bakterií a archeí?
- 4) Bakterie nemají pravé jádro, místo toho mají kruhovou DNA nazývanou...?
- 5) Jak se nazývá základní složka buněčné stěny bakterií?
- 6) Čím je možno léčit bakteriální onemocnění?
- 7) Diferenciální barvení buněčné stěny bakterií?
- 8) Označení bakterií kulovitěho tvaru.
- 9) Jaké onemocnění způsobuje *Yersinia pestis*?
- 10) Struktura, která slouží bakteriím k pohybu.



Tajenka..... Vysvětli význam.

Křížovka – autorské řešení

- 1) Český název skupiny, které se odborně říká cyanobacteria.
- 2) Bakterie jsou rozšířeny po celém světě. Jak takovéto organismy označujeme?
- 3) Typ buňky bakterií a archeí?
- 4) Bakterie nemají pravé jádro, místo toho mají kruhovou DNA nazývanou...?
- 5) Jak se nazývá základní složka buněčné stěny bakterií?
- 6) Čím je možno léčit bakteriální onemocnění?
- 7) Diferenciální barvení buněčné stěny bakterií?
- 8) Označení bakterií kulovitého tvaru.
- 9) Jaké onemocnění způsobuje *Yersinia pestis*?
- 10) Struktura, která slouží bakteriím k pohybu.



Tajenka: **STREPTOKOK**. Vysvětli, co to je: **Morfologické uspořádání kulovitých buněk bakterií v řetězku za sebou, např. u rodu *Streptococcus* (i český název tohoto rodu)**

5.2.4. Pracovní list

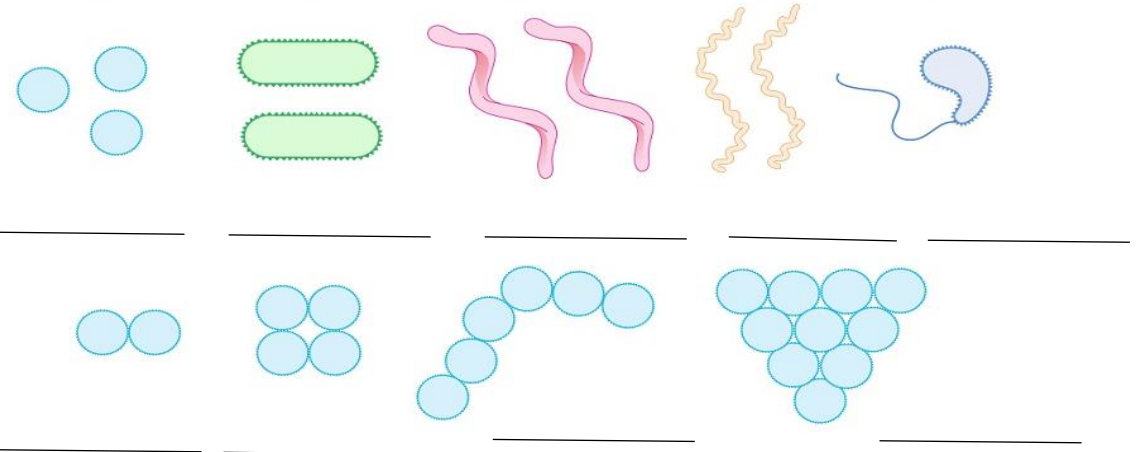
Jméno:

Třída:

1) Jaký typ buňky mají bakterie? _____

2) Vyber pojmenování pro jednotlivé tvary bakterií

Koky, diplokoky, spirochéty, stafylokoky, vibrio, bacily, spirily, streptokoky, tetrády



3) Uveď tři skupiny bakterií podle stavby buněčné stěny a diferencálního barvení dle Grama?

1 _____ 2 _____
3 _____

4) Dopln k bakteriím, jaké významné nemoci člověka způsobují. Jak se tyto bakterie obecně označují?

Vibrio cholerae _____

Yersenia pestis _____

Streptococcus pyogenes _____

5) Čím se mohou léčit bakteriální onemocnění? _____

6) Řadí se sinice mezi bakterie? _____

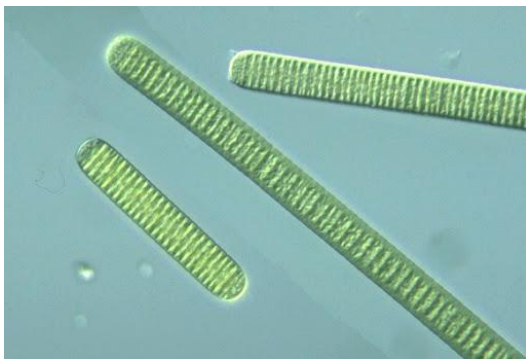
7) Vyjmenuj alespoň 3 různá, člověku užitečná, využití bakterií

1)

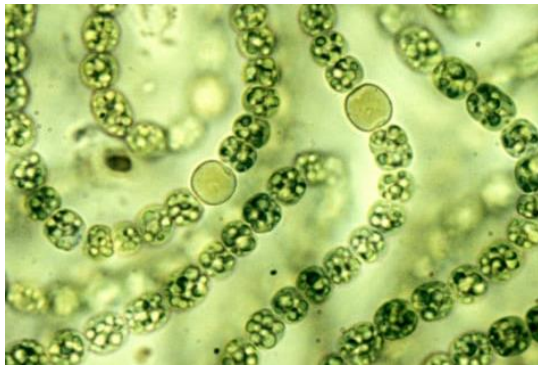
2)

3)

- 8) Vyber 3 správná tvrzení:
- a) Bakterie jsou kosmopolitní organismy
 - b) Bakterie tvoří kolonie
 - c) Základní složkou buněčné stěny bakterií je peptidoglykan
 - d) Bakterie nejsou schopny fotosyntézy
 - e) Bakterie jsou schopny rozkládat složité organické látky
- 9) Vyjmenuj alespoň tři prostředí, ve kterých se mohou bakterie nacházet, a ke každému alespoň jednoho zástupce.
- 10) Pojmenuj sinice na obrázku. Uveď pro člověka pozitivní a negativní vlastnosti sinic.



A.



B.



C.

Pracovní list – autorské řešení

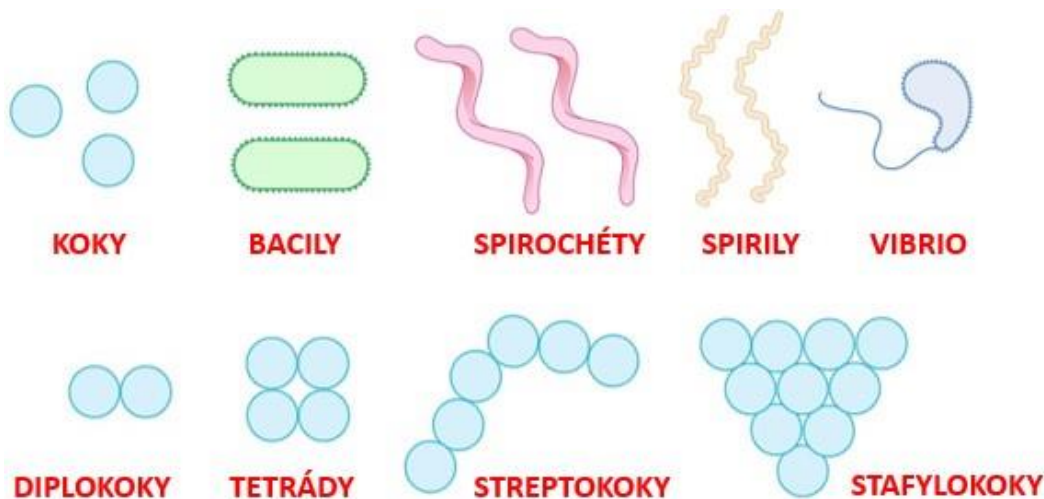
Jméno:

Třída:

1) Jaký typ buňky mají bakterie? **Prokaryotickou buňku**

2) Vyber pojmenování pro jednotlivé tvary bakterií.

Koky, diplokoky, spirochéty, stafylokoky, vibrio, bacily, spirily, streptokoky, tetrády



3) Uveď tři skupiny bakterií podle stavby buněčné stěny a diferencálního barvení dle Grama?

1 **Grampozitivní** 2 **Gramnegativní** 3 **Bez buněčné stěny**

4) Dopln k bakteriím, jaké významné nemoci člověka způsobují.

***Vibrio cholerae* – cholera**

***Yersenia pestis* – mor**

***Streptococcus pyogenes* – angína**

Jak se tyto bakterie obecně označují? **Patogeny**

5) Čím se mohou léčit bakteriální onemocnění? **Antibiotiky**

6) Řadí se sinice mezi bakterie? **Ano, jiným názvem cyanobakterie**

7) Vyjmenuj alespoň 3 různá, člověku užitečná, využití bakterií

1) V lékařství – produkce antibiotik a vitamínů

2) Symbionti – hlízkové bakterie u bobovitých rostlin

3) V průmyslu – rozklad plastů, biotechnologie

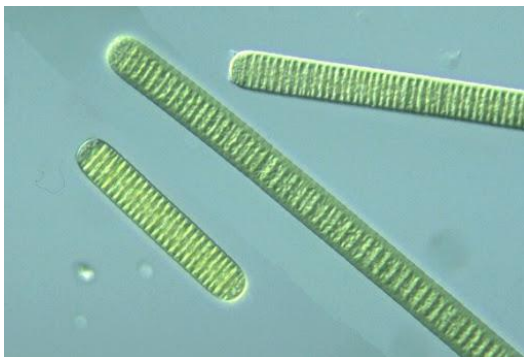
8) Vyber správná tvrzení:

- a) **Bakterie jsou kosmopolitní organismy**
- b) Bakterie tvoří kolonie
- c) **Základní složkou buněčné stěny bakterií je peptidoglykan**
- d) Bakterie nejsou schopny fotosyntézy
- e) **Bakterie jsou schopny rozkládat složité organické látky**

9) Vyjmenuj alespoň 3 prostředí, ve kterých se mohou bakterie nacházet, a ke každému alespoň jednoho zástupce.

Bakterie se mohou vyskytovat např. ve vodě (*Micrococcus*), v půdě (*Rhizobium*), ve vzduchu anebo jako parazité rostlin (*Pseudomonas*), živočichů a člověka (*Vibrio cholerae*)

10) Pojmenuj sinice na obrázku. Uveď pro člověka pozitivní a negativní vlastnosti sinic.



A. **Drkalka (*Oscillatoria*)**



B. **Jednořadka (*Nostoc*)**



C. ***Chroococcus***

Člověk využívá sinice v zemědělství, pro výrobu biopaliv, v kosmetickém a farmaceutickém průmyslu.

Negativním vlivem je tvorba vodního květu a s tím spojená hygienická rizika.

5.3. Dotazníkové šetření

Jedním z cílů této bakalářské práce bylo seznámit vybrané třídy gymnázia s tématem „Bakterie a jejich význam v životním prostředí“, následně byla zpětná vazba získána dotazníkovým šetřením. Výuka proběhla na Gymnáziu Jiřího Wolkerova v Prostějově dne 8. 4. 2024 ve dvou třídách 4. ročníků.

5.3.1 Dotazník

Dotazník k prezentaci Bakterie v životním prostředí (K. Fialová)

Škola:

Třída:

Datum:

- 1) Označte, jak obohacující pro vás byla prezentace o bakteriích v ŽP? (1 - málo, 5 – velmi; vybrané zakroužkujte).

1 2 3 4 5

- 2) Které informace pro vás byly zcela nové?

- 3) Věděli jste, že bakterie využíváme při likvidaci a degradaci škodlivých látek?

ANO

NE

- 4) Chtěli byste se dozvědět více o využití bakterií při bioremediacích a biodegradaci plastů?

ANO

NE

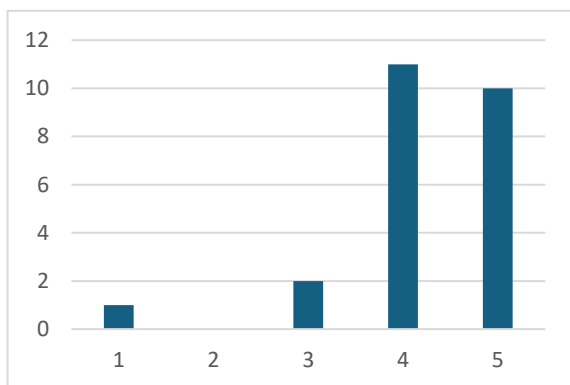
- 5) K jakým dalším účelům bakterie využíváme?

5.3.2 Srovnání výsledků dotazníkového šetření

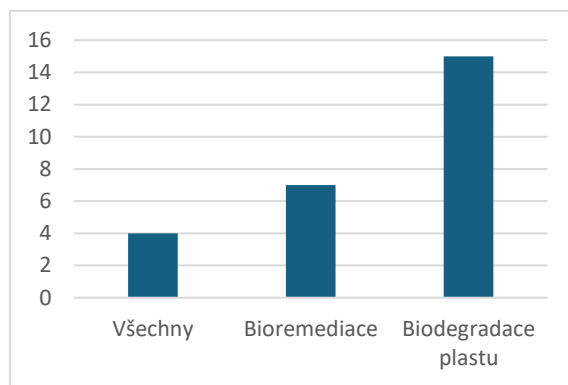
Dotazníkové šetření proběhlo po výuce na Gymnáziu Jiřího Wolкера dne 8. 4.2024

Gymnázium Jiřího Wolкера, 8. 4. 2024, třída O8.A

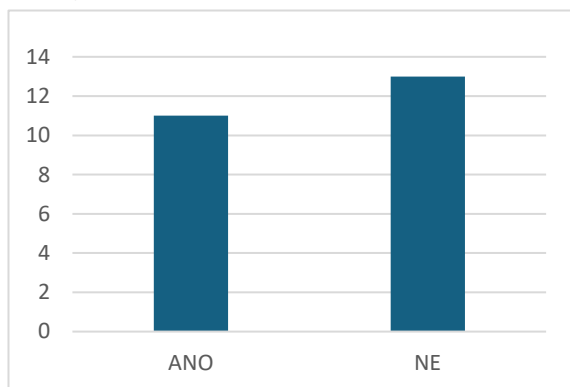
Obrázky 9. – 13. zachycují odpovědi žáků na otázky v dotazníku. Ve třídě O8.A bylo v době dotazníkového šetření přítomno 24 žáků.



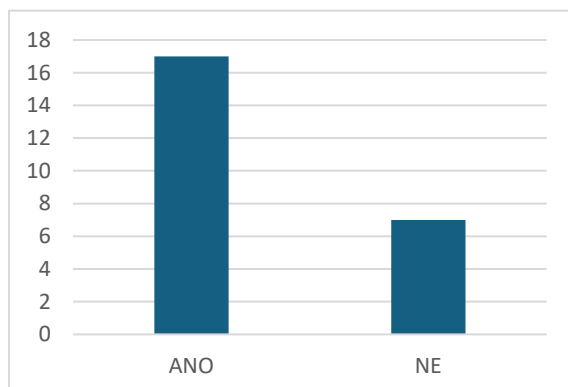
Obr. 9. Označte, jak obohacující pro vás byla prezentace o bakteriích v ŽP (1 - málo, 5-velmi).



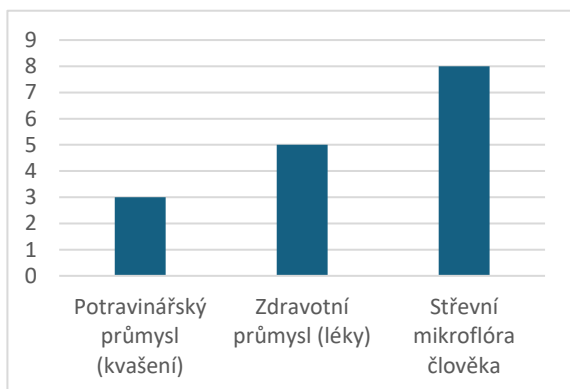
Obr. 10. Které informace pro vás byly zcela nové?



Obr. 11. Věděli jste, že bakterie využíváme při likvidaci a degradaci škodlivých látek?

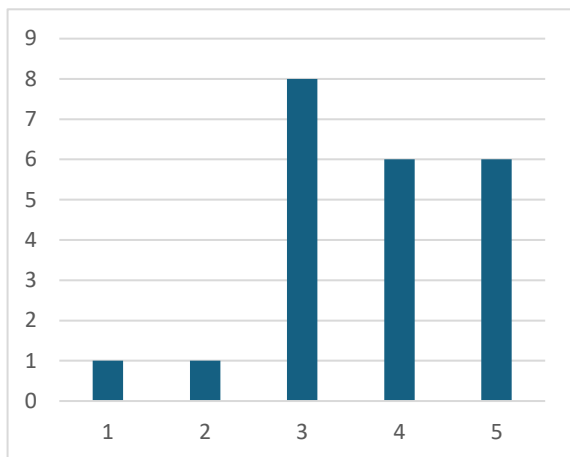


Obr. 12. Chtěli byste se dozvědět více o využití bakterií při bioremediacích a biodegradaci plastů?

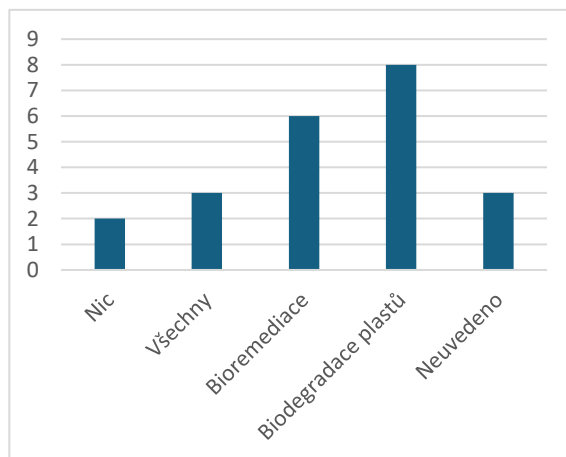


Obr. 13. K jakým dalším účelům bakterie využíváme

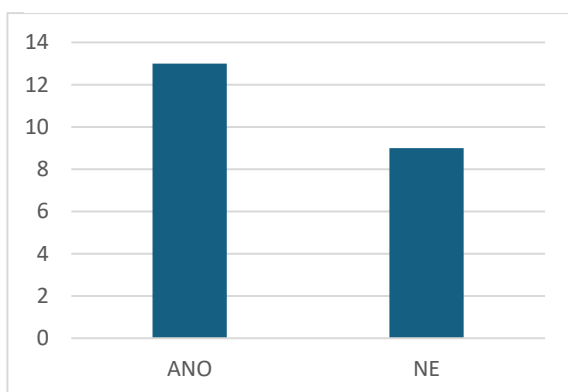
Obrázky 14. – 18. zachycují odpovědi žáků na otázky v dotazníku. Ve třídě O8.B bylo v době dotazníkového šetření přítomno 22 žáků.



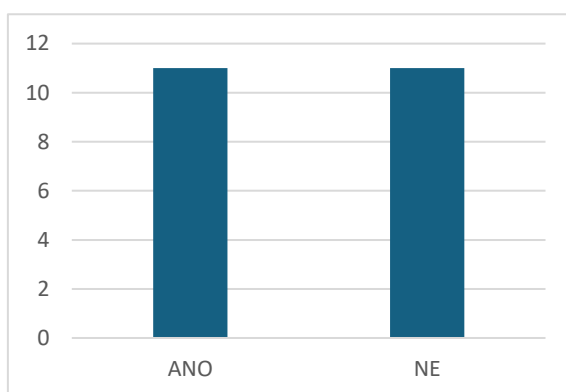
Obr. 14. Označte, jak obohacující pro vás byla prezentace o bakteriích v ŽP? (1 - málo, 5 - velmi)



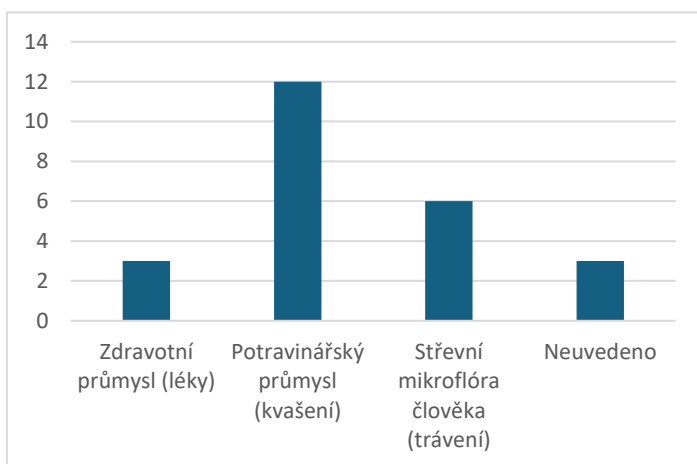
Obr. 15. Které informace pro vás byly zcela nové?



Obr. 16. Věděli jste, že bakterie využíváme při likvidaci a degradaci škodlivých látek?



Obr. 17. Chtěli byste se dozvědět více o využití bakterií při bioremediacích a biodegradaci plastů?



Obr. 18. K jakým dalším účelům bakterie využíváme?

Zhodnocení a srovnání výsledků dotazníkového šetření

Na základě odpovědí žáků na první dotaz: jak obohacující pro ně byla prezentace o bakteriích v ŽP (Obr. 9. a Obr. 14.) lze usoudit, že jim prezentace přišla přínosná a obohacující. Ve třídě O8.A většina studentů uvedla hodnoty 4 a 5 a žáci ze třídy O8.B jako nečastější odpověď uvedli hodnotu 3 a poté 4 a 5. Výsledek z O8.B ukazuje, že 8 žáků ze třídy bylo spíše nerozhodných o přínosu dané prezentace a 12 žáků ohodnotilo prezentaci jako přínosnou.

Obr. 10. a Obr. 15. znázorňují odpovědi žáků na druhou otázku: Které informace pro vás byly zcela nové? V obou třídách žáci nejčastěji uváděli zjištění, že bakterie mohou degradovat plast a že se využívají při bioremediacích.

Z odpovědí na třetí otázku (Obr. 11. a Obr. 16.), zda žáci věděli, že bakterie využíváme při likvidaci a degradaci škodlivých látek lze usoudit, že s tímto tématem již řada z nich byla seznámena. V O8.A 11 žáků, uvedlo, že o této možnosti využití vědělo a 13 uvedlo, že ne. V O8.B, 13 žáků uvedlo, že o této skutečnosti věděli a 9 uvedlo, že nikoli.

V rámci čtvrté otázky byl zjišťován zájem žáků o tématu využití bakterií při bioremediacích a biodegradaci plastů. Z výsledků (Obr. 12 a Obr. 17.) lze usoudit, že větší zájem o vybrané téma měli žáci třídy O8.A kde 14 žáků uvedlo, že by se chtěli dozvědět více informací a 7 uvedlo že nikoli. V O8.B polovina žáků uvedla, že by o měla zájem se o tomto těchto tématech dozvědět více a polovina uvedla že ne.

Mezi nejčastější odpovědi na pátou otázku: K jakým dalším účelům bakterie využíváme? Žáci v obou třídách nejčastěji uváděli využití ve zdravotnickém průmyslu (výroba léků, antibiotika) a v potravinářském průmyslu například při kvašení. Dále také v rámci symbiózy v našem těle, konkrétně v trávícím traktu.

Výsledky dotazníkového šetření na Gymnáziu Jiřího Wolkerova ze dne 08.04.2024 dokazují, že žáci mají povědomí o základní charakteristice bakterií, jejich výskytu, způsobech výživy a možnostech využití v rámci zdravotnického a potravinářského průmyslu, jelikož tyto informace neuvedly jako nově získané nebo naopak prokázali jejich znalost. Pro řadu z nich však byla zcela nová informace fakt, že bakterie mají uplatnění v rámci biodegradčních a bioremediačních procesů. V obou třídách žáci během prezentace poslouchali a dávali pozor. Jejich pozornost a zájem jsem se snažila zvýšit otázkami k prezentaci, na ty však většinou nereagovali. Zřetelnější zájem projevili o téma biodegradace a bioremediace pomocí mikroorganismů, což dokazují i zjištění z dotazníkového šetření.

Toto zjištění lze vysvětlit tím, že informace zmiňované na začátku prezentace byly pro žáky opakováním, kdežto využití bakterií při bioremediacích a degradaci byly nové poznatky.

6. Diskuse

Bakterie jsou důležité pro náš každodenní život a informace o nich se vyučují již na základních školách, kdy se žáci učí popsat bakteriální buňku a její význam, výskyt a využití. Na středních školách a gymnáziích se učivo rozšiřuje o další informace a poznatky. Přesto je řada témat týkajících se těchto mikroskopických organismů v učebních osnovách opomíjena. Informace získané z učebnic a učebních materiálů pokrývají pouze zlomek informací, které jsou známy. Učební materiály (Tab. 7.) jsou orientovány spíše na obecné informace o bakteriích, jejich charakteristice, využití a patogenitě. Přestože povědomí o patogenních vlastnostech bakterií a možnostech prevence a hygieny je velmi důležité, je třeba zdůraznit i fakt, že patogenní bakterie tvoří podskupinu z celkového počtu bakterií a že většina bakterií je neškodná nebo naopak prospěšná (Soni et al, 2024). V rámci hodin přírodopisu a biologie by tak studentům měly být podrobněji prezentovány i informace o pozitivním vlivu a využití bakterií. Je známo, že tyto mikroskopické organismy zprostředkovávají mnoho významných procesů v ekosystémech, které ovlivňují životy dalších organismů. Nezanedbatelným je i jejich působení při bioremediačních a biodegradačních procesech, stejně jako využití v medicíně a průmyslu (Horner-Devine et al., 2003). Právě tato témata nejsou obvykle zmiňována v učebních materiálech a pokud ano, tak velmi okrajově. Do jisté míry je toto ovlivňováno předem určenými tématy danými kurikulárními dokumenty jako jsou rámcové vzdělávací programy a školní vzdělávací programy. Kantorová (2001) uvádí, že učitel při výuce žáka nerozvíjí jen ve vlastní disciplíně, ale ovlivňuje celou jeho osobnost a že ve svém vyučovacím předmětu by měl učitel zajistit mezipředmětovou koordinaci a snažit se překonat soudobou útržkovitost vzdělávání. Současně by učitel měl své předměty a probace ovládat na úrovni soudobých poznatků a informací tak aby odpovídali současnému vývoji v jeho oboru.

Výsledky dotazníkového šetření na Gymnáziu Jiřího Wolkera ze dne 8. 4. 2024 ukazují, že témata bioremediací a biodegradace plastů ve spojitosti s učivem bakterií, byla pro studenty v obou třídách novými informacemi. Současně řada z nich uvedla, že by měli zájem se o těchto tématech dozvědět více, ve třídě O8.A 17 žáků z 24 projevilo zájem o tyto témata a v O8.B 11 žáků z 22. Zařazení témat bioremediace a biodegradace do výuky by mohlo představovat obohacení a rozšíření znalostí, které žáci mají v rámci studia získat. Zároveň se jedná o aktuální témata, která se zabývají řešením jedné ze současných globálních hrozeb, a to znečištěním životního prostředí (Landrigan et al., 2018).

7. Závěr

Ve své bakalářské práci jsem se v rámci literární rešerše zabývala tématem bakterií v životním prostředí, jejich obecnou charakteristikou, výskytem a jejich využitím při bioremediacích a biodegradaci plastu.

Byla provedena analýza dostupných výukových materiálů (učebnic a internetových zdrojů), byly vytvořeny vlastní výukové materiály pro střední školy se zaměřením na téma bakterií (výuková prezentace, badatelské úlohy, křížovka a pracovní list) a bylo provedeno dotazníkové šetření na Gymnáziu Jiřího Wolкера s cílem přiblížit téma bakterií v životním prostředí žákům a ověřit jejich reakce.

Vytvořené výukové materiály mohou sloužit k obohacení výuky, upevnění učiva či ověření znalostí. Při tvorbě jsem vycházela z informací obsažených v učebnicích a výukových materiálech pro střední školy a tématy obsaženými v rámcovém vzdělávacím programu a školním vzdělávacím programu pro daný stupeň vzdělání.

8. Literatura

ARNOLD B.J., HUANG T.I., HANAGE W.P. (2022) *Horizontal gene transfer and adaptive evolution in bacteria*. *Nature Reviews Microbiology* 20, s. 206-218

AZUBUIKE C.C., CHIKERE C.B., OKPOKWASILI G.C. (2016) *Bioremediation techniques-classification based on site of application: principles, advantages, limitations and prospects*. *World J Microbiol Biotechnol.* ;32(11):180. doi: 10.1007/s11274-016-2137-x. Epub 2016 Sep 16. PMID: 27638318; PMCID: PMC5026719.

BALA S., GARG D., THIRUMALESH B.V., SHARMA M., SRIDHAR K., INBARAJ B.S., TRIPATHI M. (2022) Recent Strategies for Bioremediation of Emerging Pollutants: A review for a Green a sustainable Environment. *10(8):484*. doi: 10.3390/toxics10080484. PMID: 36006163; PMCID: PMC9413587.

CAI Z., LI M., ZHU Z., WANG X., HUANG Y., LI T., GONG H., YAN M. (2023) Biological Degradation of Plastics and Microplastics: A Recent Perspective on Associated Mechanisms and Influencing Factors. *Microorganisms*. Jun 26;11(7):1661. doi: 10.3390/microorganisms11071661. PMID: 37512834; PMCID: PMC10386651.

CYDZIK-KWIATKOWSKA A., ZIELIŃSKA, M. (2016) *Bacterial communities in full-scale wastewater treatment systems*. *World J Microbiol Biotechnol* 32, 66 <https://doi.org/10.1007/s11274-016-2012-9>

DORON S., GORBACH S.L. (2008) *Bacterial Infections: Overview*. *International Encyclopedia of Public Health*. 2008:273–82. doi: 10.1016/B978-012373960-5.00596-7. Epub. Aug 26. PMCID: PMC7149789.

GEYER R., JAMBECK J.R., LAW K.L. (2017) *Production, use and fate of all the plastic ever made*. *Sciences Advances*. Vol.3. Issue 7, DOI: 10.1126/sciadv.1700782

GOUDRIAAN M., MORALES V. H., MEER M., VAN DER T.J., METS A., NDHLOVU R.T., HEERWAARDEN J. VAN, SIMON S., HEUER V.B., HINRICHS K.-U., NIEMANN H. (2023) *A stable isotope assay with ¹³C-labeled polyethylene to investigate plastic mineralization mediated by *Rhodococcus ruber**. *Marine Pollution Bulletin*, Volume 186, 114369, ISSN 0025326X, <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.114369>.

GOURMELON G. (2015) *Global Production Rises, Recycling Lags*. *Vital Signs*, 22, 91-95.

GÖPFERTO VÁ D. et al. (2002) *Mikrobiologie, imunologie, epidemiologie, hygiena: pro střední a vyšší odborné zdravotnické školy*. 3. dopl. vyd. Praha: Triton. ISBN 80-725-4223-0.

GUEVARA, G., CASTILLO LOPEZ, M., ALONSO, S. PERERA J., LLORÉS-NAVARO J.M., (2019) *New insights into the genome of *Rhodococcus ruber* strain Chol-4*. *BMC Genomics* 20, 332. <https://doi.org/10.1186/s12864-019-5677-2>

HADAD D., GERESH S., SIVAN A., (2005) *Biodegradation of polyethylene by the thermophilic bacterium *Brevibacillus borstelensis**, *Journal of Applied Microbiology*, Volume 98, Issue 5, Pages 1093–1100, <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2005.02553.x>

HORÁKOVÁ D. (2006) *Bioremediace*. Ústav experimentální biologie, Přírodovědecká fakulta, Masarykova univerzita. Brno.

HORNER-DEVINE M.C., CARNEY K.M., BOHANNAN B.J. (2004) *An ecological perspective on bacterial biodiversity*. *Proc Biol Sci*. Jan 22;271(1535):113-22. doi: 10.1098/rspb.2003.2549. PMID: 15058386; PMCID: PMC1691570.

IWAMOTO T., NASU M. (2001) *Current Bioremediation Practice and Perspective*. *Journal of bioscience and Bioengineering* Vol. 92, no. 1, s. 1-8.

KAMBOJ M. (2016) *Degradation of plastic for clean environment*. International Journal of Advanced Research in Engineering and Applied Sciences Vol.5. No.3. ISSN: 2278-6252.

KANTOROVÁ, J. (2013) *Obecná pedagogika II*. Olomouc: Agentura Gevak, 1.vyd. s. 45-46. ISBN 978-80-86768-60-1.

KAUR, N., SINGH, A. (2023). The role of microorganisms in the food industry. In: Karnwal, A., Mohammad Said Al-Tawaha, AR (eds) *Food Microbial Sustainability*. Springer, Singapur https://doi.org/10.1007/978-981-99-4784-3_1

Kendall J.J., Barrero-Tobon A.M., Hendrixson D.R., Kelly D.J. (2013) *Hemerythrins in the microaerophilic bacterium Campylobacter jejuni help protect key iron-sulphur cluster enzymes from oxidative damage*. Environ Microbiol. 2014 Apr;16(4):1105-21. doi: 10.1111/1462-2920.12341. Epub Dec 17. PMID: 24245612; PMCID: PMC4257069

KENSA M. V. (2011) *Bioremediation – An Overview*. Department of Botany, S.T. Hindu College, Nagercoil, Tamil Nadu, India, pp 161-168

KHALIL AB, SIVAKUMAR N, ARSLAN M, SALEEM H, QARAWI S. (2018) *Insights into Brevibacillus borstelensis AK1 through Whole Genome Sequencing: A Thermophilic Bacterium Isolated from a Hot Spring in Saudi Arabia*. Biomed Res Int. 24; 2018:5862437. doi: 10.1155/2018/5862437. PMID: 29992154; PMCID: PMC5994324.

KOPECKÁ J., ROTKOVÁ G. (2017) *Skripta ke cvičení z obecné mikrobiologie, cytologie a morfologie bakterií*. Ústav experimentální biologie, oddělení mikrobiologie. Přírodovědecká fakulta Masarykovy univerzity.

KRSEK M. (2014) *Metody studia diverzity půdních mikrobiálních společenstev*. Ústav experimentální biologie. Přírodovědecká fakulta Masarykovy univerzity.

LANDRIGAN P.J., FULLER R., HU H., CARAVANOS J., CROPPER M.L., HANRAHAN D., SANDILYA K., CHILES T.C., KUMAR P., SUK W.A. (2018) *Pollution and Global Health – An Agenda for Prevention*. Environ Health Perspect. Aug 6;126(8):084501. doi: 10.1289/EHP3141. PMID: 30118434; PMCID: PMC6108842.

LEIGHTON R.E., CORREA VÉLEZ K.E., XIONG L., CREECH A.G., AMIRICHETTY K.P., ANDERSON G.K., CAI G., NORMAN R.S., DECHO A.W. (2023) *Vibrio parahaemolyticus and Vibrio vulnificus in vitro colonization on plastics influenced by temperature and strain variability*. Front Microbiol. Jan 10;13:1099502. doi: 10.3389/fmicb.2022.1099502. PMID: 36704570; PMCID: PMC9871911.

MANZOOR S, NAQASH N, RASHID G., SINGH R. (2022) *Plastic Material Degradation and Formation of Microplastic in the Environment: A Review, Materials Today*. Proceedings, Volume 56, Part 6, Pages 3254-3260, ISSN 2214-7853, <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.09.379>.

PANDE, V., PANDEY, S.C., SATI, D. PANDE V., SAMANT M. (2020) *Bioremediation: an emerging effective approach towards environment restoration*. Environmental Sustainability 3, 91–103. <https://doi.org/10.1007/s42398-020-00099-w>

PANTHEE B., GYAWALI S., PANTHEE P., TECHATO K. (2022) *Environmental and Human Microbiome for Health*. Life (Basel). Mar 19;12(3):456. doi: 10.3390/life12030456. PMID: 35330207; PMCID: PMC8949289.

REID G., WONG P. (2005) *Soil bacteria*. State of New South Wales Department of Primary Industries.

- ROSYPAL S., HOŇÁK K., MARTINEC T., KOCOUR M. (1981) *Obecná bakteriologie*. Praha: SPN, ISBN: 14-549-81
- ROSYPAL S. et al. (2003) *Nový přehled biologie*. Praha: Scientia, s. 114-146. ISBN: 80-7183-268-5
- SANTOS-BENEIT F. (2024) *What is the role of microbial biotechnology and genetic engineering in medicine?* *Microbiologyopen*. Apr;13(2): e1406. doi: 10.1002/mbo3.1406. PMID: 38556942; PMCID: PMC10982607.
- SCHINDLER, J. (2008) *Ze života bakterií*. Praha: Academia. Průhledy (Academia). ISBN 978-80-200-1666-9.
- SHIWEI L.V., YUFEI L., ZHAO S., SHAO Z. (2024) *Biodegradation of Typical Plastics: From Microbial Diversity to Metabolic Mechanisms*. *International Journal of Molecular Sciences*. 25(1):593. <https://doi.org/10.3390/ijms25010593>
- SEDLÁČEK I. (2007) *Taxonomie prokaryot*. Brno: Vydavatelství Masarykovy univerzity. 1.vyd. ISBN: 80-210-4207-9
- SEDLÁŘOVÁ M. (2010) *Materiál k přednáškám z mikrobiologie*. Katedra botaniky, Přírodovědecké fakulty, Univerzity Palackého v Olomouci. Dostupné z http://old.botany.upol.cz/prezentace/sedlarova/MB_8+9+10.pdf
- SEDLÁŘOVÁ M. (2020) *Materiál k přednáškám z mikrobiologie*. Katedra botaniky, Přírodovědecké fakulty, Univerzity Palackého v Olomouci.
- SEVILLA ME., GARCIA M.D., PEREZ-CASTILLO Y., ARMIJOS-JARAMILLO V., CASADO S., VIZUETE K., DEBUT A., CERDA-MEJÍA L. (2023) *Degradation of PET Bottles by an Engineered Ideonella sakaiensis PETase*. *Polymers (Basel)*. 15(7):1779. doi: 10.3390/polym15071779. PMID: 37050393; PMCID: PMC10098701.
- SIVAN A. (2011) *New perspectives in plastic biodegradation*. *Current Opinion in Biotechnology*. Volume 22. Issue 3. Pages 422-426. ISSN 0958-1669. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2011.01.013>.
- SIVAN A., SZANTO M., PAVLOV V. (2006) *Biofilm development of the polyethylene-degradating bacterium Rhodococcus ruber*. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 72, 346-352. <https://doi.org/10.1007/s00253-005-0259-4>
- SONI J., SINHA S., PANDEY R. (2024) *Understanding bacterial pathogenicity: a closer look at the journey of harmful microbes*. *Front Microbiol.* Feb 20;15:1370818. doi: 10.3389/fmicb.2024.1370818. PMID: 38444801; PMCID: PMC10912505.
- STIEGLMEIER M, WIRTH R, KMINEK G, MOISSL-EICHINGER C. (2009) *Cultivation of anaerobic and facultatively anaerobic bacteria from spacecraft-associated clean rooms*. *Appl Environ Microbiol.* 2009 Jun;75(11):3484-91. doi: 10.1128/AEM.02565-08. Epub. PMID: 19363082; PMCID: PMC2687301.
- SUTAR K., KUMAR D.C., (2012) *A Review on: Bioremediation*. *International Journal of research in chemistry and environment*. Vol.2 Issue 1 January. s. 13-21, ISSN 2248-9649
- THOMAS D.N., WILLS J.W., TRACEY H., BALDWIN S.J., BURMAN M., WILLIAMS A.N., HARTE D.S.G., BUCKLEY R.A. LYNCH A.M. (2024) *Ames test study design for nitrosamine mutagenicity testing: qualitative and quantitative analysis of key assay parameters*. *Mutagenesis*, Volume 39, Issue 2, April 2024, Pages 78–95, <https://doi.org/10.1093/mutage/gead033>
- TORSVIK V., SØRHEIM R., GOKSØYR J. (1996) *Total bacterial diversity in soil and sediment communities—A review*, *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, Volume 17, Issue 3-4, 1 September, Pages 170–178, <https://doi.org/10.1007/BF01574690>

TŮMA I. (2015) *Mikrobiologie (pro zahradnické obory), Díl 2. Ekologie mikroorganismů*. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 102 s. ISBN 978-80-7509-228-1.

URBANEK A.K., RYMOWICZ W., MIROŃCZUK A.M. (2018) *Degradation of plastics and plastic-degrading bacteria in cold marine habitats*. *Appl Microbiol Biotechnol* **102**, 7669–7678. <https://doi.org/10.1007/s00253-018-9195-y>

VINTER V., KRÁLÍČEK I. (2016) *Začínající učitel biologie*. Olomouc: Vydavatelství Univerzity Palackého v Olomouci, s. 148-151. ISBN: 978-80-244-5021-6

WALKER T.R., FEQUET L. (2023) *Current trends of unsustainable plastic production and micro(nano)plastic pollution*, TrAC Trends in Analytical Chemistry, Volume 160, 116984, ISSN 0165-9936, <https://doi.org/10.1016/j.trac.2023.116984>.

WALTER A, SOPRACOLLE L, MUTSCHLECHNER M, SPRUCK M, GRIESBECK C. (2022) *Biodegradation of different PET variants from food containers by Ideonella sakaiensis*. *Arch Microbiol.* 204(12):711. doi: 10.1007/s00203-022-03306-w. PMID: 36385587; PMCID: PMC9668955.

WENG Y., HAN X., SUN H., WANG J., WANG Y., ZHAO X., (2024) *Effects of polymerization types on plastics ingestion and biodegradation by Zophobas atratus larvae, and successions of both gut bacterial and fungal microbiomes*. *Environmental Research*, Volume 251, Part 2, 118677, ISSN 0013-9351, <https://doi.org/10.1016/j.envres.2024.118677>.

WILKES R.A., ARISTILDE L. (2017) *Degradation and metabolism of synthetic plastics and associated products by Pseudomonas sp.: capabilities and challenges*. *Journal of Applied Microbiology*. Volume 123, Issue 3, 1 September 2017, Pages 582–593, <https://doi.org/10.1111/jam.13472>

WILSON J.W., SCHURR M.J., LEBLANC C.L., RAMAMURTHY R., BUCHANAN K.L., NICKERSON C.A. (2002) *Mechanisms of bacterial pathogenicity*. *Postgrad Med J.* Apr;78(918):216-24. doi: 10.1136/pmj.78.918.216. PMID: 11930024; PMCID: PMC1742320.

YANG Y., WANG J., XIA M. (2020) *Biodegradation and mineralization of polystyrene by plastic-eating superworms Zophobas atratus*. *Science of The Total Environment*, Volume 708, 135233, ISSN 0048-9697, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135233>.

ZEENAT, ELAHI A., BUKHARI D.A., SHAMIM S., REHMAN A. (2021) *Plastics degradation by microbes: A sustainable approach*. *Journal of King Saud University – Science*, Volume 33, Issue 6, 101538, ISSN 1018-3647, <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2021.101538>.

ZEMING C., LI M., ZHU Z., WANG X., HUANG Y., LI T., GONG H., YAN M. (2023) *Biological Degradation of Plastics and Microplastics: A Recent Perspective on Associated Mechanisms and Influencing Factors*. PMCID: PMC10386651, PMID: 37512834, doi: 10.3390/microorganisms11071661

ŽÍDKOVÁ H., KNŮROVÁ K. (2017) *Hravý Přírodopis 6*. Učebnice pro 6. ročník ZŠ a víceletá gymnázia. Praha: Taktik International, s. 22-24. ISBN 978-80-7563-069-8

Internetové zdroje:

EDU.CZ. (2022) *Rámcové vzdělávací programy*. [Online]. MŠMT, [cit. 2024-02-22] Dostupné z: <https://www.edu.cz/rvp-ramcove-vzdelavaci-programy/>

GYMNÁZIUM JIŘÍHO WOLKERA V PROSTĚJOVĚ (2024) *Školní vzdělávací programy*. [Online]. [cit. 2024-02-23] Dostupné z: <https://www.gjwprostejov.cz/skolni-vzdelavaci-programy-na-gjw>

- DAHAL P. (2023). *A Guide to Ideonella sakaiensis (Plastic-Eating Bacteria)* [Online]. [cit. 2024-04-13] Dostupné z: <https://microbenotes.com/ideonella-sakaiensis-plastic-eating-bacteria/>
- TANKESCHWAR, A. (2023) *Oxygen Requirements for Pathogenic Bacteria* [online]. [cit. 2024-05-01]. Dostupné z: <https://microbeonline.com/oxygen-requirements-for-pathogenic-bacteria/>
- ZÁKLADNÍ ŠKOLA JANA ŽELEZNÉHO V PROSTĚJOVĚ (2023) *Školní vzdělávací program*. [Online]. [cit. 2024-03-02] Dostupné z: <https://www.zsjz.cz/images/zsjz/dokumenty/svp-2018-2019-zsjz-209.pdf>

Zdroje k výukovým materiálům:

- BADATELE.CZ. (2024) *Badatelsky orientovaná výuka* [Online]. [cit. 2024-02-26] Dostupné z: <https://badatele.cz/>
- DANČÁK M., SEDLÁŘOVÁ M. (2015) *Přírodopis 6 – Vývoj života na Zemi, Obecná biologie, Biologie hub*. Prodos, Olomouc, 88 str. ISBN: 978-80-7230-257-4
- DRNKOVÁ B. (2019) *Mikrobiologie, imunologie, epidemiologie a hygiena: pro zdravotnické obory*. Praha: Grada Publishing. Sestra (Grada). ISBN 978-80-271-1083-4.
- EDU.CESKA.TELEVIZE. *Střední škola, Biologie bakterií*. [Online]. [cit. 2024-04-12] Dostupné z: <https://edu.ceskatelevize.cz/predmet/biologie?stupen=stredni-skola&tema=biologie-bakterii>
- E-testy.sk. (2020). *Pracovní list – Druhy a tvary bakterií*. Dostupné z: <https://e-testy.sk/res/img/biologia/zaklady-biologie/tvary-bakterii.jpg>
- HANČOVÁ H., VLKOVÁ M. (1957) *Biologie v kostce pro střední školy*. Přepřacované vydání. Praha: FRAGMENT, s. 33–35. ISBN: 8072000594
- HOUŠKOVÁ M. (2010) *Bakterie*. Metodický portál: Materiály do výuky [Online]. [cit. 2024-02-26]. Dostupný z: <https://dum.rvp.cz/materialy/bakterie.html>
- HYPERSPACE.CZ. (2024). *Badatelsky orientovaná výuka*. [Online]. [cit. 2024-02-26] Dostupné z: <http://www.hyperspace.cz/kategorie/bov.html>
- JELÍNEK J., ZICHÁČEK V. (2014) *Biologie pro gymnázia*. Olomouc: Nakladatelství Olomouc, ISBN 978-80-7182-338-4
- JURČÁK J., FRONĚK J. (1997) *Přírodopis 6*. Olomouc: Prodos. ISBN 80-858-0647-9.
- KUBIŠTA V. (2000) *Obecná biologie, pro gymnázia*, 3. přepracované vydání. Praha: Fortuna, s. 62-72. ISBN: 80-7168-714-6
- KVASNIČKOVÁ D., PECINA P., FRONĚK J., JENÍK J., CAIS J. (1994) *Poznáváme život. Přírodopis pro 6. ročník, 2. část*. Praha: Fortuna, s. 18-20. ISBN: 80-7168-222-5
- LEARNINGAPPS.ORG. (2012) [Online]. [cit. 2024-04-30] Dostupné z: <https://learningapps.org/>
- METODICKÝ PORTÁL RVP.CZ (2011) *Materiály do výuky*. [Online]. [cit. 2024-02-28] Dostupné z: <https://dum.rvp.cz/?rvpFilter-rvp=Z>
- MIKROSVET.MIMONI.CZ. (2009,2024) *Praktický průvodce mikrosvěttem I*. [Online]. [cit. 2024-02-28] Dostupné z: <https://mikrosvet.mimoni.cz/>
- NATURE-VISION. (2016). *Pracovní list – Drkalka (Oscillatoria)*. Dostupné z: <https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fnaturaevision.wordpress.com%2F201>

[6%2F08%2F02%2Fbacteria-oscillatoria%2F&psig=AOvVaw2EYyru4T2Poj2maLhg4fC2&ust=1711100707805000&source=images&cd=vfe&opi=89978449&ved=OCBIQjRxqFwoTCKjE7YcJhYUDFQAAAAAdAAAAABAF](https://www.google.com/search?q=6%2F08%2F02%2Fbacteria-oscillatoria%2F&psig=AOvVaw2EYyru4T2Poj2maLhg4fC2&ust=1711100707805000&source=images&cd=vfe&opi=89978449&ved=OCBIQjRxqFwoTCKjE7YcJhYUDFQAAAAAdAAAAABAF)

ODSTRČIL J., HRŮZA A. (2008) *Biologie pro zdravotnické školy*. Vyd. 5., přeprac. a rozš. Brno: Národní centrum ošetřovatelství a nelékařských zdravotnických oborů. ISBN 978-80-7013-471-9.

PROTIST.I.HOSEI.AC.JP. (2018). *Pracovní list – Chroococcus*. Dostupné z: http://protist.i.hosei.ac.jp/PDB/Images/Prokaryotes/Chroococcaceae/Chroococcus/turgidus/sp_11.html

STUDY.HUB.CZ (2021) *Bakterie*. [Online]. [cit. 2024-02-28]. Dostupný z: <https://studyhub.cz/blog/bakterie/>

UMIMEFAKTA.CZ. (2024) *Biologie*. [Online]. [cit. 2024-04-12] Dostupné z: <https://www.umimefakta.cz/biologie/>

WIKIPEDIA.ORG. (2024) *Pracovní list – Nostoc*. Dostupné z: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/4/4e/Nostoc_commune_is_a_species_of_cyanobacterium_in_the_family_Nostocaceae_-_Flickr_-_gailhampshire.jpg/220px-Nostoc_commune_is_a_species_of_cyanobacterium_in_the_family_Nostocaceae_-_Flickr_-_gailhampshire.jpg

Seznam obrázků

- Obr. 1. ELHOTTOVÁ D., CHROŇÁKOVÁ A, ŠIMEK M. (2020). *Stavba prokaryotické buňky*. Časopis Živa. Dostupné z: https://www.google.com/search?sca_esv=7e018ea08e96d11b&sxsrf=ACQVn08bxPGS NXwgl9-Dj7NBWLYWZs66w:1709979846869&q=prokaryotick%C3%A1+bu%C5%88ka&tbm=isch&source=lnms&sa=X&ved=2ahUKEwjozuGq--aEAXVAhf0HHW2GBCwQ0pQJegQIDBAB&biw=1366&bih=641&dpr=1#imgrc=JZGDhYc9OD8YFM
- Obr. 2. WIKIPEDIA.ORG. (2024). *Tvary bakteriálních buněk*. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Bakterie#/media/Soubor:Bacterial_morphology_diagram-cs_\(2\).svg](https://cs.wikipedia.org/wiki/Bakterie#/media/Soubor:Bacterial_morphology_diagram-cs_(2).svg)
- Obr. 3. JIMENÉZ-JIMÉNEZ C., MORENO V.M., VALLET-REGÍ M. (2022). *Stavba buněčné stěny gram pozitivních a gram negativních bakterií*. Dostupné z: https://www.researchgate.net/figure/Differences-between-Gram-negative-and-Gram-positive-bacteria_fig2_357901900
- Obr. 4. HODGSON L. (2018). *Kořenové uzliny způsobené bakteriemi rodu Rhizobium na rostlině fazole mungo (Vigna radiat)* Dostupné z: <https://laidbackgardener.blog/2018/09/01/crop-rotation-do-legumes-really-add-nitrogen-to-soil/>
- Obr. 5. WIKIMEDIA.ORG. (2023). *Význam bakterií na koloběhu dusíku v půdě*. Dostupné z: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/3/3e/Nitrogen_cycle_cs.svg/400px-Nitrogen_cycle_cs.svg.png
- Obr. 6. DAHAL P. (2023). *Způsob účinku Ideonella sakaiensis*. Dostupné z: <https://microbenotes.com/ideonella-sakaiensis-plastic-eating-bacteria/>
- Obr. 7. YANG Y., WANG J., XIA M. (2020). *Schopnost larev Zophobas atratus rozkázat polystyren*. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969719352258>
- Obr. 8. KOPECKÁ J., ROTKOVÁ G. (2017). *Winogradského sloupec*. Dostupné z: https://is.muni.cz/do/rect/el/estud/prif/js17/cviceni_mikrobiologie/web/pics/obr_39.jpg
- Obr. 9. Dotazníkové šetření O8.A: Označte, jak obohacující pro vás byla prezentace o bakteriích v ŽP? (1 – málo, 5 – velmi)
- Obr. 10. Dotazníkové šetření O8.A: Které informace pro vás byly zcela nové?
- Obr. 11. Dotazníkové šetření O8.A: Věděli jste, že bakterie využíváme při likvidaci a degradaci škodlivých látek
- Obr. 12. Dotazníkové šetření O8.A: Chtěli byste se dozvědět více o využití bakterií při bioremediacích a biodegradaci plastů?
- Obr. 13. Dotazníkové šetření O8.A: K jakým dalším účelům bakterie využíváme?

- Obr. 14. Dotazníkové šetření O8.B: Označte, jak obohacující pro vás byla prezentace o bakteriích v ŽP? (1 – málo, 5 – velmi)
- Obr. 15. Dotazníkové šetření O8.B: Které informace pro vás byly zcela nové?
- Obr. 16. Dotazníkové šetření O8.B: Věděli jste, že bakterie využíváme při likvidaci a degradaci škodlivých látek
- Obr. 17. Dotazníkové šetření O8.B: Chtěli byste se dozvědět více o využití bakterií při bioremediacích a biodegradaci plastů?
- Obr. 18. Dotazníkové šetření O8.B: K jakým dalším účelům bakterie využíváme?

Seznam tabulek

Tab. 1. Zařazení tématu v rámci RVP pro gymnázia

Tab. 2. Zařazení tématu v rámci RVP pro SOV, obor zdravotní sestra

Tab. 3. Zařazení tématu v rámci RVP pro SOV, obor zdravotní sestra

Tab. 4. Zařazení tématu v rámci RVP pro 2. stupeň ZŠ a nižší ročníky víceletých gymnázií

Tab. 5. Zařazení tématu v rámci ŠVP pro gymnázia

Tab. 6. Zařazení tématu v rámci ŠVP ZŠ

Tab. 7. Vybrané učebnice

Tab.8. Učebnice pro gymnázia

Tab.9. Učebnice pro Střední odborné školy

Tab.10. Učebnice pro 2. ročník ZŠ