

Univerzita Karlova
Pedagogická fakulta

Katedra biologie a environmentálních studií

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Biomimetika a její zařazení do výuky na SŠ prostřednictvím učebních úloh

Biomimetics and its Incorporation into High School Teaching through
Learning Tasks

Bc. Eva Suldovská

Vedoucí práce: Mgr. Dagmar Říhová, Ph.D.

Konzultant práce: PhDr. Karel Vojíš, Ph.D.

Studijní program: Učitelství biologie pro 2. stupeň základní školy a střední školy

Studijní obor: Učitelství biologie pro 2. stupeň základní školy a střední školy se
sdruženým studiem Učitelství chemie pro 2. stupeň základní školy
a střední školy

Prohlášení

Odevzdáním této diplomové práce na témapotvrzuji, že jsem ji vypracovala pod vedením vedoucího práce samostatně za použití v práci uvedených pramenů a literatury. Dále potvrzuji, že tato práce nebyla využita k získání jiného či stejného titulu.

V Praze dne

.....

Bc. Eva Suldovská

Poděkování

Ráda bych poděkovala vedoucí práce Mgr. Dagmar Říhové, Ph.D. a konzultantovi práce PhDr. Karlovi Vojířovi, Ph.D. za odborný dohled, cenné rady, vstřícnost a ochotu při vedení diplomové práce. Mé poděkování dále patří Mgr. Anně Vitáskové, Mgr. Martině Fialkové a Mgr. Zuzaně Gruntové za spolupráci a vstřícnost. Též bych ráda poděkovala všem respondentům, kteří se účastnili pilotního šetření, za jejich čas a ochotu. V neposlední řadě bych ráda poděkovala své rodině a svým blízkým za podporu a projevenou důvěru, a to nejen v průběhu psaní této diplomové práce.

ABSTRAKT

Hlavním cílem diplomové práce bylo vytvořit a prakticky ověřit čtyři sady komplexních učebních úloh pro žáky druhého ročníku SŠ zaměřené na rozvoj přírodovědné gramotnosti a využívající téma biomimetiky. Východiskem pro tvorbu učebních úloh byla literární rešerše na téma biomimetiky, integrace předmětů, přírodovědné gramotnosti a učebních úloh.

Biomimetika je multidisciplinární vědní obor, jehož podstatou je pozorování přírody a hledání inspirace v přírodě za účelem nalézt řešení problémů, se kterými se lidé v životě potýkají. Vzhledem k aktuálnosti, praktickému přesahu a interdisciplinární podstatě tohoto oboru je téma biomimetiky skvělým prostředníkem k aplikaci integrovaného výukového konceptu (např. konceptu STEM) do výuky či k rozvoji přírodovědné gramotnosti.

V rámci práce byly vytvořeny komplexní učební úlohy obsahující vždy tři podúlohy, jejichž praktické ověření proběhlo ve třech třídách druhých ročníků SŠ. Odpovědi žáků na vytvořené úlohy i odpovědi z postojových dotazníků byly zpracovány pomocí smíšeného výzkumu. V rámci kvantitativního výzkumu byly použity statistické metody, konkr. aritmetický průměr, relativní četnost a úspěšnost. Pro kvalitativní výzkum byla zvolena metoda induktivní analýzy písemných dat získaných od respondentů. Práce zkoumala úspěšnost žáků v sadách i jednotlivých úlohách, a také názory žáků na vytvořené úlohy.

Respondenti se pozitivně vyjádřili k celkové struktuře i jednotlivým komponentám vytvořených úloh. Témata úloh byla žáky hodnocena jako velmi zajímavá. Bylo zjištěno, že by žáci stáli o častější zařazování takovýchto úloh do výuky, což může souviset se zjištěním, že žáci se s takovými úlohami ve výuce běžně nesetkávají. Řešení úloh nebylo pro většinu žáků obtížné, což potvrzují převážně vysoké hodnoty dosažených úspěšností v rámci úloh i sad. Vytvořené úlohy vykazují silný motivační potenciál pro žáky.

KLÍČOVÁ SLOVA

Integrace předmětů, PISA, přírodovědná gramotnost, STEM, učební úlohy.

ABSTRACT

The main aim of this thesis was to create and practically test four sets of complex learning tasks intended for pupils in the second year of high school. The tasks are focused on the development of science literacy using the topic of biomimetics. The starting point for the development of the learning tasks was a literature review dealing with topics of biomimetics, subject integration, science literacy and learning tasks.

Biomimetics is a multidisciplinary science based on the observation of nature and searching for inspiration in nature in order to find solutions to problems that people face in life. Due to the topicality, practical overlap and interdisciplinary nature of this field, the topic of biomimetics is an excellent tool for applying integrated learning concepts (e.g. STEM concept) into teaching or for developing science literacy.

In this work, created complex learning tasks containing three subtasks each were validated in three second-year classes of selected high schools. The pupils' responses to the created tasks and the responses from the attitudinal questionnaires were analyzed using mixed research methods. Statistical methods (arithmetic mean, relative frequency, success rate) were used for quantitative evaluation. The method of inductive analysis of written gathered data was used for qualitative evaluation. Pupils' success in sets and individual tasks and pupils' opinions on the created tasks were investigated in this work.

Respondents positively commented on the overall structure and individual components of the created tasks. The topics of the tasks were rated as very interesting by the pupils. It was found out that pupils would like to have this kind of tasks included more often in lessons. This fact may be related to the finding that pupils do not commonly encounter such tasks in lessons. Most pupils did not find the tasks difficult to solve, which is evidenced by the predominantly high success scores across tasks and sets. The created tasks show a strong motivational potential for pupils.

KEYWORDS

Integration of subjects, PISA, scientific literacy, STEM, learning tasks.

Obsah

1	Úvod.....	8
2	Cíle práce a výzkumné otázky	11
3	Biomimetika.....	12
3.1.1	Historie.....	13
3.1.2	Význam	14
3.2	Vybraní zástupci.....	15
3.2.1	Rostliny	15
3.2.2	Bezobratlí živočichové.....	18
3.2.3	Obratlovci.....	25
3.3	Potenciál biomimetiky pro využití ve výuce.....	34
3.3.1	Nezájem žáků o studium přírodních a technických věd.....	34
3.3.2	Biomimetika ve výuce.....	35
4	Integrace předmětů.....	37
4.1	STEM	37
4.1.1	STEM vzdělávání.....	37
4.1.2	Význam a potenciál konceptu STEM.....	38
4.1.3	Problematika zavedení STEM do výuky.....	39
5	Přírodovědná gramotnost	40
5.1	Mezinárodní testování	40
5.1.1	PISA	41
5.1.2	TIMSS	41
5.1.3	Výsledky českých žáků v mezinárodních šetřeních.....	42
6	Typologie úloh a pravidla jejich tvorby	43
6.1	Učební úlohy	43
6.1.1	Typy učebních úloh.....	43
6.1.2	Parametry učebních úloh.....	44

6.2	Testové úlohy	46
6.2.1	Rozdíl mezi testovými a učebními úlohami	46
6.2.2	Struktura testové úlohy	46
6.2.3	Typy testových úloh	48
6.2.4	Určení obtížnosti úlohy	50
6.3	Tvorba testového zadání	51
6.3.1	Pravidla pro tvorbu testových úloh	52
6.3.2	Praktické ověřování testu (tj. pilotáž)	53
6.4	Úlohy v PISA zaměřené na testování přírodovědné gramotnosti	53
6.4.1	Struktura úloh	53
6.4.2	Typy otázek	53
6.4.3	Vyhodnocování úloh	53
7	Metodologie	55
7.1	Vlastní tvorba učebních úloh a dotazníků	55
7.1.1	Tvorba učebních úloh	55
7.1.2	Tvorba dotazníků	57
7.2	Pilotní ověření vytvořených úloh	57
8	Analýza vytvořených úloh	59
8.1.1	Sada č. 1 – ledňáček říční	60
8.1.2	Sada č. 2 – termiti	64
8.1.3	Sada č. 3 – cikády	68
8.1.4	Sada č. 4 – velbloud	72
9	Vyhodnocování výsledků pilotáže	76
9.1.1	Obecný postup vyhodnocování výsledků	76
9.1.2	Konkrétní způsoby vyhodnocování výsledků	77
10	Výsledky pilotáže úloh a diskuse	79
10.1	Úspěšnost žáků v jednotlivých sadách úloh	79

10.2	Úspěšnost žáků v jednotlivých úlohách	81
10.3	Výsledky žakovského hodnocení zábavnosti a obtížnosti sad úloh.....	83
10.3.1	Shrnutí hlavních zjištění.....	85
10.4	Výsledky postojového žakovského hodnocení všech úloh	86
10.4.1	Dobrovolné komentáře žáků k vytvořeným úlohám	91
10.4.2	Shrnutí hlavních zjištění.....	92
11	Úpravy úloh po pilotáži.....	93
12	Závěr.....	96
13	Seznam použitých informačních zdrojů	98
	Seznam zkratk	103
	Seznam příloh.....	104
	Seznam obrázků	105
	Seznam tabulek	107
	Seznam grafů.....	107

1 Úvod

Biomimetika je multidisciplinární vědní obor, jehož podstatou je studium přírody a hledání inspirace v přírodě za účelem nalézt řešení problémů, se kterými se lidé v životě potýkají (Pauls, 2017; Santulli & Langella, 2011; Speck et al., 2017). Příroda se během evoluce musela přizpůsobovat měnícím se podmínkám, a to prostřednictvím experimentování s principy chemie, fyziky, mechaniky a dalších oborů. Výsledkem jsou vysoce efektivní a udržitelné materiály, struktury a systémy. Lidstvo je obklopeno inspirativním přírodním bohatstvím (Bar-Cohen, 2006). Biomimetické produkty nalézají uplatnění v biomedicíně, inženýrství, architektuře, energetice, ekologii, nanotechnologiích a dalších oblastech (Badarnah & Kadri, 2015; Bar-Cohen, 2006). Mezi příklady biomimetických vynálezů patří suchý zip inspirovaný plody lopuchu, vodoodpudivé materiály inspirované lotosovými listy, antibakteriální povrchy inspirované povrchem křídel cikád, pro ptáky viditelná skla inspirovaná pavoučími vlákny, budova s pasivní ventilací inspirovaná termitištěm, speciální tvar přední části japonských vlaků inspirovaný zobákem ledňáčka říčního a mnoho dalších.

Popularita biomimetiky se stále zvyšuje a lze ji označit jako jednu z nejprogresivnějších vědeckých disciplín tisíciletí (Chmielewska, 2016; Yurtkuran et al., 2013). Vzhledem k obrovskému nárůstu zájmu o obor biomimetiky byla založena organizace „Biomimicry Institute“, jejímž cílem je rozšířit povědomí veřejnosti o biomimetice a snažit se hledat udržitelná řešení na různé lidské problémy (Biomimicry, 2023).

Dle mnohých výzkumů je zřejmé, že se zájem žáků o přírodní a technické vědy stále snižuje (Chonkaew et al., 2016). Přírodní a technické vědy společně s matematikou jsou důležitým pilířem pro rozvoj ekonomiky státu (Tirpák & Slavík, 2019). Pro státní ekonomiku je velmi důležité mít dostatečné množství tvořivých, přírodovědně i technicky zdatných občanů (Trnová, 2012). Ministerstvo školství, mládeže a tělovýchovy ČR se snaží najít způsoby, jak zvýšit zájem žáků o přírodovědné a technické obory (Dostál, 2013). Stejně tak se didaktici a pedagogové snaží přicházet s novými metodami a přístupy k výuce, aby zlepšili postoje žáků k těmto disciplínám (Chonkaew et al., 2016; Odcházellová, 2014). Řešením tohoto problému by mohlo být zařazení tématu biomimetiky do výuky (Speck & Speck, 2021).

Biomimetika je silně motivačním a praktickým tématem, který lze zařadit do jakéhokoliv stupně vzdělávání. Téma má potenciál zaujmout široké spektrum cílových skupin bez ohledu na pohlaví, věk a další aspekty. Relevantní a uplatnitelné aplikace biomimetiky mohou snadno upoutat pozornost žáků. Tento rychle se rozvíjející obor může žákům rozšířit obzory nejen

v rámci učiva různých školních předmětů, ale může mít přesah i do budoucí profesní kariéry žáků. Téma biomimetiky vykazuje potenciál vzbudit zájem žáků o přírodu, její porozumění a ochranu. S každým vyhynulým druhem organismu se snižuje inspirativní repertoár pro případné budoucí biomimetické inovace. Kromě zlepšení vztahu k přírodě může biomimetika zvýšit zájem žáků o technické a technologické vědy a může vést k uvědomění si jejich významu v běžném životě. Seznámení žáků s biomimetickými aplikacemi zvyšuje otevřenost žáků vůči inovacím. Bylo zjištěno, že téma biomimetiky zlepšuje představitivost i kreativitu žáků bez ohledu na věk, zájmy či kulturní zázemí (Pauls, 2017; Speck & Speck, 2021; Yurtkuran et al., 2013).

Stále narůstá počet pedagogů, kteří v tématu biomimetiky vidí značný potenciál k jeho uplatnění ve výuce (Pauls, 2017). Téma biomimetiky je vzhledem ke své interdisciplinární povaze jako stvořené pro integrované koncepty výuky, mezi které patří např. science, STEM či STEAM. Podstatou integrované výuky je vzájemné propojování poznatků z různých předmětů (Koldová et al., 2022). V rámci konceptu STEM dochází k integraci přírodních věd, technologií, inženýrství a matematiky (Koldová et al., 2022). Interdisciplinární znalosti se zdají být pro současnost, a především pro budoucnost klíčové. Problémy, které se vyskytují v našich životech, se stále častěji nedají vyřešit separovaně, tzn. nezávisle na jiných oblastech (Maass et al., 2019). Klíčovými schopnostmi se stává schopnost přemýšlet v souvislostech a schopnost využívat mezipředmětové znalosti (Koldová et al., 2022).

Integrovaná výuka je stejně jako biomimetika v současné době na vzestupu s vidinou vysoké perspektivy do budoucna (Koldová et al., 2022). V České republice lze nalézt několik škol, které se rozhodly na své škole zavést integrovanou výuku. Téma biomimetiky, které by mohlo být skvělým prostředníkem pro její snadnější zavádění do výuky, je ale v České republice opomíjeno. Toto tvrzení podporuje skutečnost, že publikace zabývající se biomimetikou ve výuce se v českém jazyce nevyskytují. V zahraničí je tématu zařazování biomimetiky do výuky a tématu biomimetiky ve STEM vzdělávání věnována značná pozornost.

V rámci diplomové práce byly vytvořeny komplexní učební úlohy pro žáky druhých ročníků SŠ, které jsou inspirované biomimetickými tématy. Úlohy slouží k rozvoji vybraných dovedností přírodovědné gramotnosti. Přírodovědnou gramotnost lze vnímat jako soubor mezioborových kompetencí, což znamená, že velmi úzce souvisí s koncepty integrované výuky a tématem biomimetiky. Vytvořené úlohy jsou inspirovány integrovaným konceptem STEM a mohou být použity učiteli k zařazení integrace předmětů do jejich výuky.

Vytvořené úlohy vykazují potenciál pro zlepšení postojů žáků k přírodním a technickým vědám, zvýšení zájmu o přírodu a technologie, zlepšení přírodovědné gramotnosti či pro zvýšení motivace ke studiu jako takovému.

Vzhledem k nízkému počtu veřejně dostupných komplexních úloh zaměřených na rozvoj přírodovědné gramotnosti a obsahujících nová (či „neokoukaná“) a zajímavá témata, mohou vytvořené učební úlohy posloužit pedagogům jako inspirace do výuky či je mohou inspirovat k tvorbě podobných úloh. Vytvořené úlohy jsou svým celkovým pojetím zcela jedinečné, neboť nevycházejí z žádných již vytvořených úloh.

Využití biomimetické téma může motivovat nejen žáky, ale i učitele. Téma je může namotivovat k vyhledávání dalších informací o tomto oboru, ke sdílení a šíření informací o tomto oboru mezi ostatní pedagogy a žáky, čímž se může zvýšit povědomí společnosti o tomto rychle se rozvíjejícím a perspektivním oboru. To by mohlo vést ke zvýšení zájmu společnosti o přírodovědné a technické obory.

2 Cíle práce a výzkumné otázky

Hlavním cílem této diplomové práce je vytvořit a prakticky ověřit sadu komplexních učebních úloh pro žáky druhého ročníku SŠ zaměřených na rozvoj přírodovědné gramotnosti a využívajících téma biomimetiky.

K dosažení hlavního cíle práce byly stanoveny následující dílčí cíle:

1. Zmapovat poznatky o biomimetice se zaměřením na vybrané organismy prostřednictvím literární rešerše.
2. Zanalyzovat poznatky o integraci předmětů, přírodovědné gramotnosti a učebních úlohách prostřednictvím literární rešerše.
3. Vytvořit sadu komplexních učebních úloh, které slouží k rozvoji následujících dovedností:
 - a) porozumění informacím z textu a jejich interpretace
 - b) orientace v různých způsobech vyjádření a záznamů používaných v přírodních vědách (např. v podobě tabulek, schémat, grafů, mikroskopických obrázků...)
 - c) vyvozování závěrů na základě analýzy údajů a dat
 - d) schopnost využívat mezioborové přesahy (matematické prostředky, poznatky z jiných oborů, průřezových témat i běžného života)
4. Prakticky ověřit sadu navržených učebních úloh na vybraném vzorku žáků druhého ročníku ze dvou SŠ.
5. Zanalyzovat a interpretovat pilotáží získané výsledky.

Dle stanovených cílů se práce zabývá následujícími výzkumnými otázkami:

1. Jaká je úspěšnost žáků druhých ročníků SŠ v řešení vytvořených sad učebních úloh?
2. Jak žáci druhých ročníků SŠ hodnotí vytvořené sady učebních úloh z hlediska obsahu, formy, zábavnosti, srozumitelnosti a obtížnosti?

3 Biomimetika

Biomimetika je multidisciplinární vědní obor, který se zabývá studiem přírody a hledáním inspirace v přírodě za účelem vytvoření syntetických produktů (Santulli & Langella, 2011; Speck et al., 2017). Tyto nově vznikající produkty by měly být nákladově efektivní, výhodné pro společnost, ekonomiku i životní prostředí a obecně by měly sloužit ku prospěchu celé planety (Speck et al., 2017; Yurtkuran et al., 2013).

Termín „biomimetika“ byl vytvořen americkým inženýrem a fyzikem O. Schmittem v roce 1957 (Bar-Cohen, 2006; Speck et al., 2017). Název „biomimetika“ vznikl složením ze dvou slov řeckého původu, „bios“ (tzn. život) a „mimesis“ (tzn. napodobování) (Chmielewská, 2016). „Biomimetika“ je pouze jedním z mnoha možných označení pro koncept inspirace přírodou. Dalšími synonymy pro tento koncept jsou „biomimikry“, „biomimeze“, „biognóze“ či „bionika“ (Dixit & Stefańska, 2023; Suresh Kumar et al., 2020).

Příroda se během evoluce potýkala s mnoha výzvami a aby přežila, musela se přizpůsobovat měnícím se podmínkám. Změnám prostředí se příroda přizpůsobovala skrze experimentování s principy chemie, fyziky, mechaniky a dalších oblastí (Bar-Cohen, 2006). Příroda se 3,8 miliardy let „učila“ vytvářet materiály, struktury a systémy, které byly a jsou vysoce efektivní z hlediska udržitelnosti (Dixit & Stefańska, 2023; Speck et al., 2017). Současná příroda je vzhledem k tomuto dlouhodobému vývoji obrovskou zásobárnou vynálezů, které prošly tvrdým testem odolnosti, praktičnosti a trvalosti při postupných změnách životního prostředí (Bar-Cohen, 2006). Příroda dokázala vyvinout řadu jednoduchých řešení na složité problémy, se kterými se často potýkají i lidé. A tak se sama příroda stává učitelem lidstva (Pauls, 2017).

Lidé jsou obklopeni světem plným inspirace. Lze se inspirovat jednotlivými organismy i jejich součástmi, jejich chováním nebo dokonce celými ekosystémy (Yurtkuran et al., 2013). Aby bylo možné využít naplno toto inspirativní přírodní bohatství, je nutná vzájemná spolupráce odborníků z oblasti biologie, chemie, fyziky, matematiky, inženýrství, informačních technologií, architektury aj. (Bar-Cohen, 2006; Speck & Speck, 2021). Výsledkem mezioborové spolupráce je vznik biomimetických materiálů a struktur, které nachází uplatnění v mnoha oblastech, např. v biomedicíně, inženýrství, architektuře, energetice, ekologii či v nanotechnologiích (Badarnah & Kadri, 2015; Bar-Cohen, 2006).

3.1.1 Historie

Studium přírody a hledání inspirace v přírodě není novodobou záležitostí (Yurtkuran et al., 2013). Již Aristoteles upozornil na to, že příroda je primárním zdrojem lidských poznatků a výtvorů (Dixit & Stefańska, 2023).

Zřejmě nejznámějším výzkumníkem, který se pokusil inspirovat přírodou, byl Leonardo da Vinci (1452–1519). Snažil se vytvořit létající stroj na základě pozorování ptáků. Leonardo da Vinci se pravděpodobně inspiroval pouze tvarem ptačích křídel, a ne funkčním principem, což vedlo k jeho neúspěchu. Na jeho práci o několik století později navázali bratři Wrightovi, kteří sestrojili létající stroj, pomocí kterého se lidé v roce 1903 úspěšně vznesli do vzduchu. Výzkumy přírody, které se blíží podstatě dnešní biomimetiky, lze nalézt u zoologa D'Arcyho Thomsona, jenž v roce 1917 vydal knihu s matematickými a fyzikálními popisy různých tvarů živých organismů (Dixit & Stefańska, 2023).

Termín „biomimetika“ byl poprvé použit v roce 1957. O tři roky později, v roce 1960, byl zaveden termín „bionika“. Tento termín použil jako první Jack E. Steel z NASA a to ve smyslu materiálové vědy (Dixit & Stefańska, 2023). V roce 1997 se objevil další pojem spjatý s biomimetikou, tzv. „biomimikry“, který zpopularizovala Janine M. Benyus prostřednictvím stejnojmenné knihy „Biomimicry“, kterou vydala. Biomimikry vysvětluje jako koncept svědomitého napodobování génia přírody (Dixit & Stefańska, 2023).

Od roku 1985 do roku 2005 byl zaznamenán obrovský nárůst zájmu o obor biomimetiky (Yurtkuran et al., 2013) a v současné době patří biomimetika k nejprogresivnějším vědeckým disciplínám tisíciletí (Chmielewska, 2016). Zvyšující se zájem o biomimetiku vyústil v roce 2006 k založení organizace „Biomimicry Institute“, která se snaží šířit povědomí o biomimetice a snaží se čelit výzvám udržitelnosti rozvoje (Biomimicry, 2023; Speck et al., 2017). Tuto organizaci založila již zmíněná Janine M. Benyus. Stejně tak je tato biologka zakladatelkou světově největší a nejkompexnější databáze biomimetických poznatků a inspirací, „AskNature“ (Biomimicry, 2023).

3.1.2 Význam

Obor biomimetiky se opírá o myšlenku, že příroda jde cestou nejmenšího odporu (tzn. cestou nejmenší spotřeby energie) (Suresh Kumar et al., 2020). Mnoho organismů by se tedy mohlo stát inspirací k inovativním řešením vedoucím ke snížení energetické spotřeby (Imani & Vale, 2020). Na základě tohoto tvrzení je biomimetika vnímána jako slibná disciplína pro budoucí ekologický vývoj a energetickou účinnost (Badarnah & Kadri, 2015). Biomimetika může posloužit jako prostředek k udržitelnému rozvoji planety, a to v mnoha různých oblastech (např. v architektuře, robotice, či zdravotnictví) (Dixit & Stefańska, 2023).

Architektura

Biomimetika v architektuře vede k dosahování udržitelnosti a zároveň k technologickým a designovým inovacím. Značný potenciál jeví spolupráce vědců, architektů a designérů, kteří by mohli projektovat energeticky úsporné budovy. Snížení energetické náročnosti je považováno za jeden z nejdůležitějších faktorů, který může životnímu prostředí pomoci a na kterém je potřeba pracovat. Inspirace přírodou může designérům pomoci i při řešení konstrukčních problémů budov (Imani & Vale, 2020).

Robotika

Živočichové se během evoluce a díky genetické variabilitě zdokonalili v oblasti kognice, zpracování informací, adaptace na různé podmínky či v oblasti lokomoce. Postupná imitace živočichů vedla k vytvoření robotů, kteří jsou snadněji zvladatelní oproti skutečným živočichům a nachází stále větší uplatnění ve výzkumných sférách (Gao et al., 2019).

Jako příklad výzkumu lze uvést práci Barberové et al. (2021), ve které bylo zkoumáno využití sociálních robotů (tj. robotických psů) v terapeutických interakcích s dětmi. Bylo zjištěno, že děti ve věku 11–12 let ochotně trávily s robotickým psem více času než s živým. Výsledky naznačují, že by se psi roboti mohli stát alternativou k živému psovi při terapeutických sezeních (Barber et al., 2021).

Biologické materiály

Mnoho biologických materiálů se v případě poškození či poranění neumí samo opravit. Mezi takové materiály patří např. kloubní chrupavka či zubní sklovina. V přírodě byly objeveny struktury, které schopnost samoléčení a dokonce i samočištění mají. Proto se tyto struktury staly předmětem biomimetického zkoumání. Mezi jeden z dílčích cílů biomimetiky patří snaha vytvořit kvalitní biologické materiály, které by lidský organismus přijal za své a nesnažil se je z těla vyloučit či zničit (Suresh Kumar et al., 2020).

3.2 Vybraní zástupci

Biomimetika hledá inspiraci v přírodě, která svojí rozmanitostí nabízí lidem řešení na problémy, s nimiž se potýkají v běžném životě (Santulli & Langella, 2011).

Následuje přehled vybraných organismů z řad rostlin i živočichů, které se díky svým jedinečným vlastnostem staly inspirací pro inovativní biomimetické vynálezy. Záměrně byli vybráni takoví zástupci, u kterých lze předpokládat, že jejich biomimetický princip bude pro žáky snadno pochopitelný, a bude tak možné tyto zástupce zařadit do výuky.

3.2.1 Rostliny

Lopuch (*Arctium* sp.)

Lopuch je rostlina, která sehrála důležitou roli pro vytvoření vynálezu, jenž se dodnes hojně využívá. Podle vzoru této rostliny, jež šíří svá semena prostřednictvím uchycení ostnatých plodů (viz **Obrázek 1**) na kolem se pohybující organizmy, vznikl v 50. letech 20. století suchý zip.

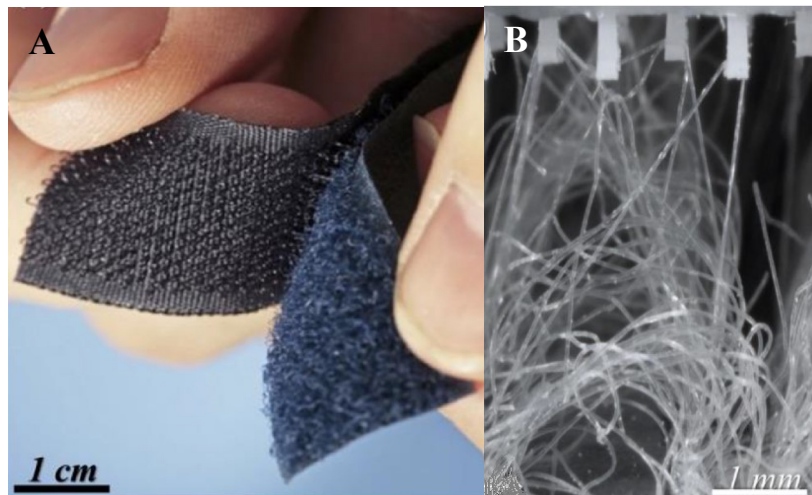


Obrázek 1: Plody lopuchu. Převzato a upraveno z práce Wang et al. (2019).

Jednoho dne se inženýr George de Mestral procházel se svým psem po loukách ve Švýcarských Alpách. Poté, co se vrátili z procházky domů, si švýcarský inženýr všiml, že se mu na oblečení a na srsti jeho psa zachytilo mnoho ostnatých struktur. Zaměřil se na tyto struktury a snažil se přijít na to, proč se tak dobře přichytily k různým povrchům. Po detailnějším prozkoumání zjistil, že plody lopuchu jsou pokryty ostny, na jejichž koncích jsou drobnými háčky. Tento objev ho přivedl na myšlenku vytvořit spojovací materiál suchý zip (Bar-Cohen, 2006; Krise, 2022).

Suchý zip byl vytvořen tak, aby napodoboval ostnaté plody lopuchu. Skládá se ze dvou částí (viz **Obrázek 2A**). Jedna část je tvořena páskou s drobnými háčky a druhá část se skládá

ze smyček upevněných na druhé pásce. Pásky jsou vyrobeny z polyesteru. Háčky a smyčky se vyrábí z nylonu. Materiály sloužící k výrobě jsou lehké, pevné a pružné. Háčky jsou mnohem pevnější a tlustší oproti drobným smyčkám. Principem fungování suchého zipu je zachycování háčků do smyček. Při rozepnutí suchého zipu se háčky ze smyček vytáhnou (viz **Obrázek 2B**). Při tomto procesu se některé smyčky poničí. Smyček je ale obrovské množství, tudíž suchý zip lze použít opakovaně.



Obrázek 2: A: Suchý zip. B: Pozorování háčků a smyček během procesu rozepínání. Převzato a upraveno z práce Restrepo et al. (2021).

George de Mestral si nechal patentovat tento vynález (tzv. Velcro) v roce 1955. Dnes suchý zip nachází uplatnění např. v textilním, obuvnickém, elektronickém či kosmickém průmyslu (Bar-Cohen, 2006; Krise, 2022).

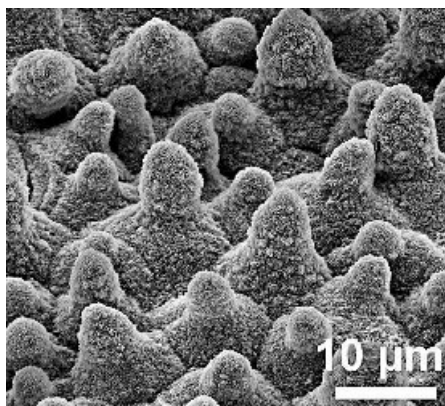
Lotos (*Nelumbo* sp.)

Lotos je rostlina žijící v bahnitém a blátivém prostředí. I přes tyto životní podmínky jsou lotosové květy i jeho listy vždy čisté (Mengnan et al., 2010). Jak je to možné? Bližším zkoumáním povrchů rostliny se přišlo na to, že lotosové listy a květy mají tzv. superhydrofobní (neboli extrémně silné vodoodpudivé) a samočisticí vlastnosti (Shimomura, 2010). A zřejmě právě pro své samočisticí schopnosti je lotos v asijských zemích považován za symbol čistoty (Mengnan et al., 2010).



Obrázek 3: Lotosový květ. Převzato z práce Zari (2007).

Stále čistý povrch listů a květů lotosu vzbuzoval zájem vědců o hlubší poznání. V roce 1997 profesor botaniky W. Barthlott a jeho kolega C. Neinhuis zjistili, že povrch lotosových listů je tvořen zajímavou mikrostrukturou (Shimomura, 2010; Zhu et al., 2016). Tato mikrostruktura se skládá z drobných hrbolků o velikosti několika mikrometrů (viz **Obrázek 4**). Vrcholy hrbolků jsou pokryty voskovitými mikrokrystaly (Shimomura, 2010).



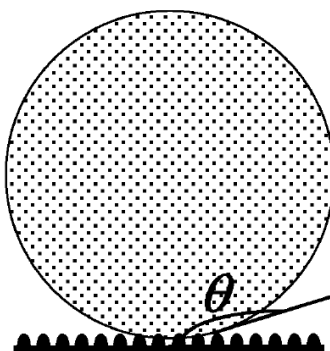
Obrázek 4: Povrch lotosového listu ze SEM. Převzato z práce Ensikat et al. (2011).

Smáčivost pevného povrchu vodou závisí na hydrofilních či hydrofobních vlastnostech povrchu a na povrchovém profilu. Drsný povrch plný nepravidelností způsobuje hydrofobní povahu povrchu (Shimomura, 2010). Povrch je odolný vůči vodě, protože voda se vlivem hrbolaté mikrostruktury neudrží na povrchu listu. Pokud jsou listy nepatrně nakloněné, voda prostřednictvím kulatých kapek čistí listy od nečistot. Kapky vody se společně s vychytanými nečistotami z listu odvalí z povrchu pryč (viz **Obrázek 5**). Superhydrofobní povrchy jsou tedy zároveň samočistící. Tato vlastnost povrchů se označuje jako superhydrofobicita či lotový efekt (Mengnan et al., 2010).



Obrázek 5: Princip samočištění lotosového listu. Převzato z práce Zari (2007).

Aby mohl být jakýkoliv povrch označený jako superhydrofobní, je potřeba, aby kontaktní úhel vody a povrchu byl větší než 150° (viz **Obrázek 6**) (Mengnan et al., 2010). Superhydrofobní povahu mají nejen lotosové listy, ale také např. křídla motýlů, cikád či nohy bruslařky (Mengnan et al., 2010; Suresh Kumar et al., 2020).



Obrázek 6: Model kapky vody na povrchu lotosového listu se znázorněním kontaktního úhlu θ . Převzato z práce Ensikat et al. (2011).

Biomimetické superhydrofobní materiály byly inspirovány mikrostrukturami lotosových listů a květů (Kumari et al., 2020). Napodobením těchto mikrostruktur byl vytvořen superhydrofobní a samočistící nátěr, tzv. Lotusan (Shimomura, 2010). Jako příklady superhydrofobních aplikací lze uvést antibakteriální, antikoroziční či protimlžící prostředky (Kumari et al., 2020; Suresh Kumar et al., 2020). Stejně tak nachází tyto materiály uplatnění v procesu čištění ropných skvrn nebo separace vody a tuků (Kumari et al., 2020).

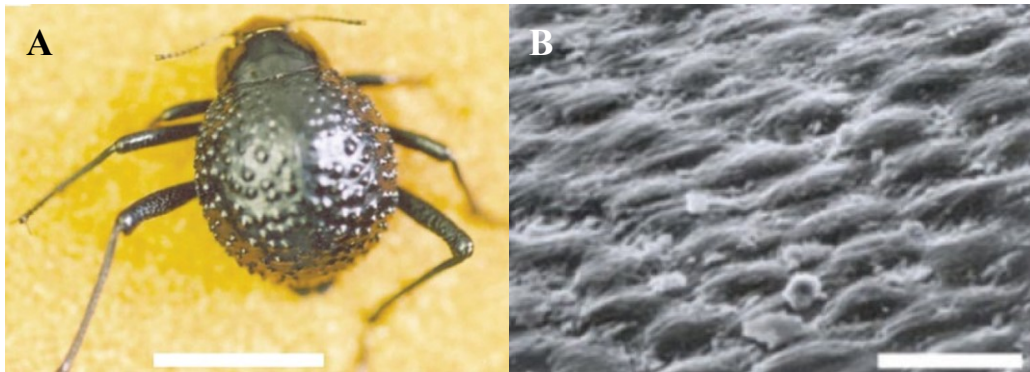
3.2.2 Bezobratlí živočichové

Pouštní brouk (*Stenocara* sp.)

Brouk rodu *Stenocara* žije v africké poušti Namib, v níž spadne méně než 13 mm dešťových srážek za rok. Voda se do pouště může dostat i jiným způsobem než pomocí dešťových srážek. Namibská poušť se nachází v blízkosti moře, díky kterému se tvoří mlha, a to převážně v ranních a večerních hodinách. Mlha je tvořena velkým množstvím drobných kapek vody rozptýlených ve vzduchu a přináší do pouště alespoň malé množství vláhy. Rostliny

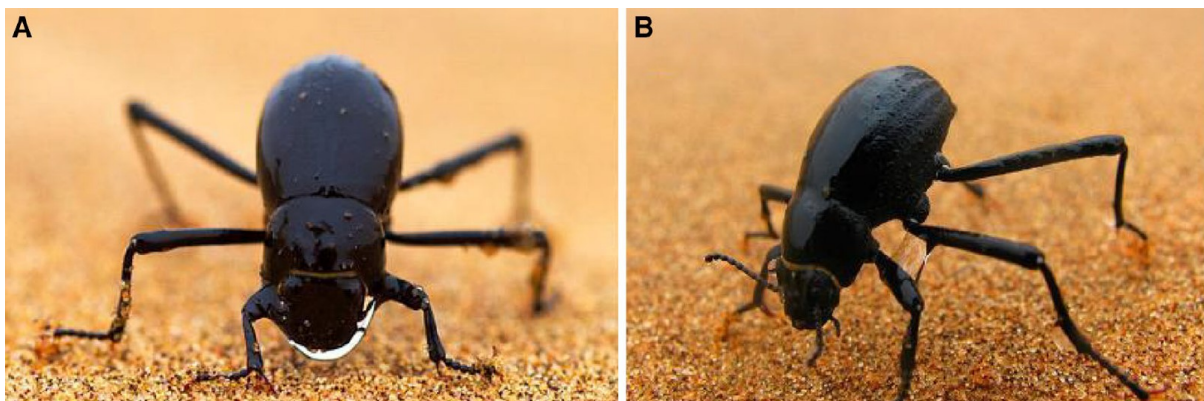
a živočichové žijící v extrémních podmínkách pouště se na tyto aridní podmínky adaptovali a vykazují obdivuhodné způsoby přežití (Zhu et al., 2016).

Profesor A. Parker se zaměřil na studium brouka rodu *Stenocara* a jeho strategii přežití v Namibské poušti. Všiml si, že brouk ráno a večer stojí se sklopenou hlavou dolů na písčité duně. Proč se brouk v tyto denní doby takto nastavuje? Londýnský biolog zjistil, že brouk má schopnost zachycovat vodu přímo z mlhy a podařilo se mu tento mechanismus zisku vody objasnit (Shimomura, 2010).



Obrázek 7: **A:** Brouk *Stenocara* sp. (velikost měřítka: 10 mm). **B:** Povrchová struktura pouštního brouka *Stenocara* sp. ze SEM (velikost měřítka: 100 μ m). Převzato z práce Zhu et al. (2016).

Brouk rodu *Stenocara* dokáže sbírat vodu z mlhy díky svému hrbolatému hydrofobně-hydrofilnímu povrchu (viz **Obrázek 7B**) (Shimomura, 2010; Zhu et al., 2016). Povrch je tvořen hydrofilními hrbolky o velikosti mikrometrů a hydrofobními žlábkami o přibližně desetinové velikosti ve srovnání s hrbolky (viz **Obrázek 7A**). Tyto dvě struktury se pravidelně střídají (Shimomura, 2010). Drobné kapky z mlhy jsou zachycovány na celém povrchu brouka. Z hydrofobních žlábků se kapky vody pohybují směrem k hydrofilním hrbolkům, kde se usazují. Drobné kapky vody se v hydrofilních částech spojují a zvětšují svoji velikost i hmotnost (Zhu et al., 2016). Vlivem zvyšující se hmotnosti kapek se kapky vody pohybují směrem dolů, tzn. směrem k hlavě brouka (viz **Obrázek 8B**). Voda se tímto způsobem dostává až do ústního ústrojí (viz **Obrázek 8A**) (Shimomura, 2010).



Obrázek 8: Chování pouštního brouka při sběru vody z mlhy. A: Závěrečná fáze sběru vody – voda u ústního ústrojí. B: Postupné stékání vody směrem dolů. Převzato z práce Domen et al. (2013).

Slaná voda tvoří 96,54 % z celkového množství vody na zemi, sladká voda méně než 0,36 %. Nedostatek pitné vody se stává celosvětovým problémem, a to především v suchých oblastech. Předpokládá se, že 2/3 světové populace do roku 2025 pocítí krizi týkající se nedostatku pitné vody. Jak lze získat více sladké vody? (Zhu et al., 2016). Odpovědí na tuto otázku by mohlo být napodobení strategie brouka z Namibské pouště, který dokáže získat sladkou vodu z mlhy. O praktické provedení se pokusili profesor M. Rubner a R. Cohen, kteří vynalezli materiál napodobující struktury, které tvoří povrch pouštního brouka. Tento vynález by se ve zvětšené podobě mohl využívat k zajištění pitné vody v suchých oblastech (Shimomura, 2010).

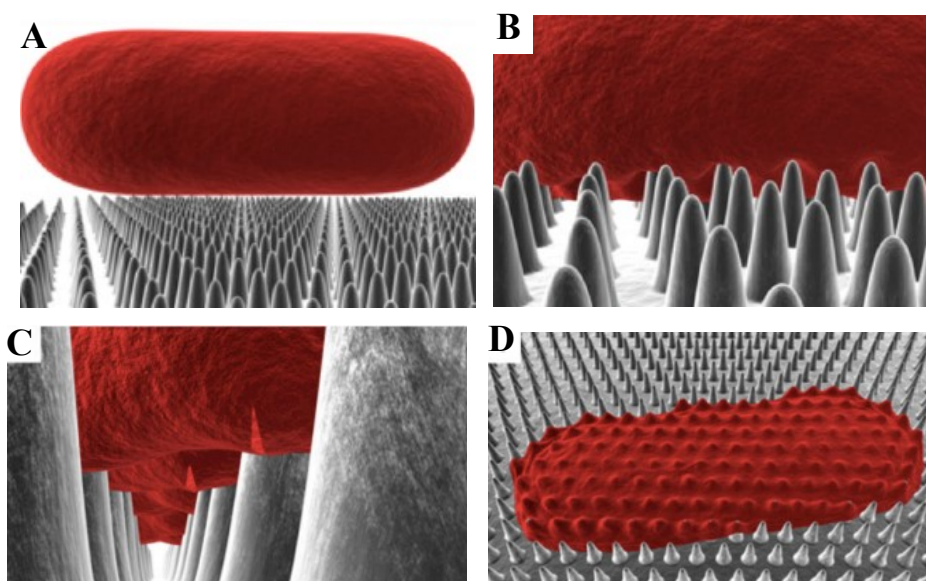
Cikáda (*Psaltoda claripennis*)

Cikády jsou organizmy, které žijí po celém světě. Jsou známé svým hlasitým cvrkáním. Vědci zjistili, že cikády mohou být lidstvu mnohem prospěšnější, než by se zprvu zdálo. Povrch jejich křídel nabízí prostředek k přežití lidstva, a to nový způsob obrany proti nebezpečným bakteriím (Carstens, 2021).



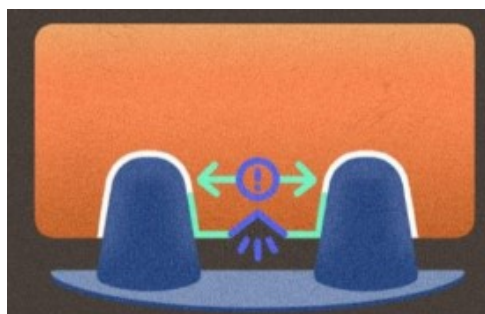
Obrázek 9: Cikáda *Psaltoda claripennis*. Převzato z práce Gangadoo et al. (2016).

V roce 2012 bylo zjištěno, že některé druhy bakterií při kontaktu s křídly cikád rodu *Psaltoda* z neznámého důvodu umírají. Pomocí stále se zdokonalujících mikroskopů vědci objevili na křídlech cikád obrovské množství drobných hrbolků ve tvaru kuželů. A právě tyto kuželovité nanostruktury dokážou zabít bakterie (Carstens, 2021).



Obrázek 10: Modelace smrtícího mechanismu na křídlech cikád. **A:** Bakteriální buňka přichází do kontaktu s křídlem cikády. **B:** Počáteční fáze přichycení bakteriální membrány k nanokuželům. **C:** Fáze prasknutí bakteriální buňky. **D:** Buněčná smrt. Převzato z práce Pogodin et al. (2013).

Bakterie mají průměr své buňky několikanásobně větší, než jsou vzdálenosti mezi nanokuželými na křídlech cikády. Bakteriální buňka je při přiblížení se k povrchu křídel v kontaktu s mnoha výběžky naráz (viz **Obrázek 10A**). Po kontaktu bakterie s nanokuželými dochází k přichycení membrány k hrbolkům (viz **Obrázek 10B**). K pochopení mechanismu usmrcení bakterie je třeba uvažovat nad tím, co se děje pouze mezi dvěma hrbolky. Bakteriální buňka se přichytí ke dvěma nanokuželům a bakteriální membrána se rozprostře mezi ně. V nanoměřítku bakteriální membrána nejen ochabuje, ale také se lepí na povrchy kuželů. Buněčná membrána postupně přilne i na spodní části kuželů, čímž se natáhne a praskne (viz **Obrázek 11**). Vzhledem k velkému množství kuželů na povrchu křídla cikády dochází k prasknutí bakteriální buňky na mnoha místech zároveň (viz **Obrázek 10C**). Protržení buňky znamená buněčnou smrt (viz **Obrázek 10D**) (Carstens, 2021).



Obrázek 11: Přetrhnutí bakteriální membrány vlivem jejího natahování. Převzato z práce Carstens (2021).

Bylo zjištěno, že tento mechanismus buněčné smrti působí pouze na gramnegativní bakterie. Grampozitivní bakterie jsou před protržením chráněny jejich tuhými stěnami (Carstens, 2021).

V současné době se mnoho bakterií stává rezistentními vůči používaným antibiotikům. Je tedy třeba hledat jiné způsoby, jak se proti bakteriím bránit. Příroda může lidem nabídnout variantu řešení, a to napodobení a praktické využití mikro- a nanostruktur křídel cikád. Jednoho dne by mohly být chirurgické nástroje, biomedicínské implantáty, kliky u dveří a další povrchy potaženy materiály s drobnými kužely, které bakterie zabijí dříve, než budou schopny někoho napadnout. Lidstvu se tedy nabízí další způsob, jak bojovat s bakteriemi, které každý rok zabíjejí miliony lidí (Carstens, 2021).

Pavoučí hedvábí

Pavouk je jedním z nejlepších výrobních inženýrů v živočišné říši. Pavouci vyrábějí unikátní hedvábná vlákna s neuvěřitelnou efektivitou. Vyrobená vlákna jsou lehká, velmi pevná (5× pevnější než ocel), odolná (proti dešti, větru i slunečnímu záření) a pro lidské oko téměř neviditelná (Bar-Cohen, 2006). Některé druhy pavouků tkají sítě z vláken, která mají schopnost odrážet UV záření. Odražené UV záření registrují větší živočichové včetně ptáků. Díky tomu jsou tyto živočichové varováni před pavoučí sítí, což je výhodné i pro pavouka. Pokud by např. pták proletěl pavoučí sítí, tak by pavouk dočasně přišel o možnost zachycovat kořist (AskNature, 2006). Někteří pavouci svá varovná znamení přivedli k dokonalosti. Ve středu svých sítí spřádají různé dekorativní tvary, tzv. stabilimenta (Carstens, 2016). Ukázka nepravidelného stabilimenta je zobrazena na **Obrázku 12**.



Obrázek 12: Ukázka nepravidelného stabilimenta. Převzato z práce Carstens (2016).

Odhaduje se, že každý rok umírají stovky milionů ptáků v důsledku jejich kolize se sklem na různých lidmi postavených konstrukcích. Klasické sklo je lesklé a průhledné, což způsobuje, že ptáci často nejsou schopni sklo zpozorovat (AskNature, 2006). Aby lidé (přesněji řečeno piloti) byli včas varováni před obtížně viditelnými předměty, využívají např. oranžové značkovací koule na elektrických vedeních či blikající světla na vysokých konstrukcích. Ptáci

si takové varovné signály vytvořit nemohou. Lidé se ale mohou inspirovat v přírodě a ptákům s touto signalizací pomoci (Carstens, 2016).

Bylo zjištěno, že ptáci mají čtyři typy fotoreceptorů, přičemž jedny z nich umožňují ptákům detekovat UV záření (Carstens, 2016). Vzhledem k výjimečným vlastnostem některých pavoučích vláken (viz výše) se tato vlákna stala inspirací k vytvoření speciálních ochranných skel ORNILUX (AskNature, 2006). Tato ochranná skla jsou vzorovaná pavoučími vlákny, která odráží UV záření. Díky tomu se sklo stává pro ptáky viditelným a zabraňuje nežádoucím srážkám (viz **Obrázek 13A**) (Carstens, 2016). Výhodou ochranného skla je, že vzorovaná UV vrstva je funkční a pro lidstvo nelimitující, protože je člověkem vnímána jako téměř průhledná (viz **Obrázek 13B**). Skla jsou tedy vhodná k využití v rámci komerčních ale i rezidenčních budov (AskNature, 2006).



Obrázek 13: Sklo ORNILUX. **A:** Jak vidí sklo ORNILUX ptáci. **B:** Jak vidí sklo ORNILUX lidé. Převzato z práce Lodson a Jahromi (2017).

Způsob signalizace pomocí pavoučích vláken by mohl být začleněn i do jiných materiálů, což by pomohlo např. bezpilotním letadlům vyhýbat se překážkám (Carstens, 2016).

Termiti (řád Isoptera)

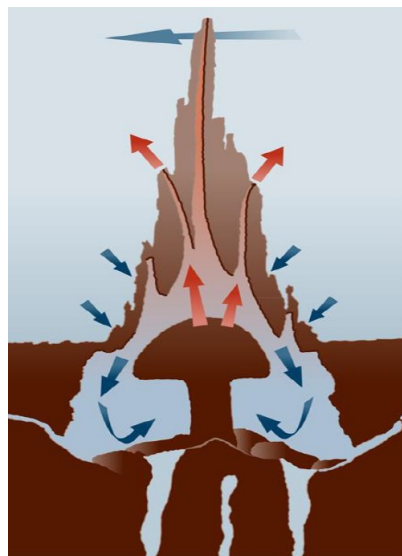
Organizmy se během evoluce naučily pracovat s dostupnými a energeticky výhodnými materiály. Někteří zástupci dokonce dokážou ovlivňovat toky energií v přírodě. Tyto organizmy se označují jako tzv. ekosystémoví inženýři a patří mezi ně mimo jiné termity (Zari, 2007). Termity dokážou přirozeně regulovat teplotu svých hnízd (též termitišť), které vytváří z hlíny, slin a detritu (AskNature, 2020; Lodson & Jahromi, 2017). Termity staví vertikální komíny, kterými „odvětrávají“ teplý vzduch (Lodson & Jahromi, 2017). Jednotlivé komínovité struktury mohou dosahovat výšky až několika metrů (viz **Obrázek 14**). Součástí termitišť je mnoho tunelů a komůrek, které tvoří vzájemně propojený komplex chodeb (AskNature, 2020; Lodson & Jahromi, 2017). Koloniálně žijící termity se zdržují v podzemních částech hnízda, kde může být až milion jedinců (AskNature, 2020).

Ačkoliv teplota mimo termití hnízdo výrazně kolísá, termitiště jsou relativně tepelně stabilním prostředím. (AskNature, 2020; Zari, 2007). V průběhu roku se teplota v hnízdech mění

v závislosti na teplotě okolní půdy a vnitřním proudům vzduchu. Půda má vysokou tepelnou kapacitu, což znamená, že může absorbovat nebo ztratit velké množství tepelné energie, než dojde ke změně její teploty. Půda v okolí termitišť tedy funguje jako izolační bariéra proti výrazným změnám venkovní teploty. Poměrně stálou teplotu v termitišťích zajišťují také proudy studeného a teplého vzduchu. Vzhledem k tomu, že se venkovní teploty a intenzita slunečních paprsků během dne mění, vznikají teplotní gradienty mezi okrajem a středem termitiště. Tyto teplotní gradienty vytváří proudy stoupajícího a klesajícího vzduchu uvnitř hnízda (viz **Obrázek 15**) (AskNature, 2020).



Obrázek 14: Ukázka nadzemní části termitiště. Převzato z práce AskNature (2020).



Obrázek 15: Znárodnění principu pasivní ventilace termitiště. Převzato z práce Okeke a Okekeogbu (2017).

V USA tvoří náklady na provoz domů a budov přibližně 40 % celkové spotřeby elektřiny a cca jedna třetina pochází z topných a ventilačních systémů. Pochopení principu výměny plynů v termitišťích může být inspirací k postavení energeticky úsporných budov, což by mohlo vést k výraznému snížení emisí skleníkových plynů (AskNature, 2020).

Již v roce 1996 architekt M. Pearce využil poznatky o termitištích a postavil nákupní a kancelářský komplex „Eastgate Centre“ v Harare v Zimbabwe (viz **Obrázek 16**). Podařilo se mu vybudovat obrovskou budovu (cca 31 000 m²) se systémem pasivní ventilace (tzn. bez klimatizace a vytápění). V budově se udržuje stálá vnitřní teplota v rozmezí od 21 do 25 °C, ačkoliv venku se teplota během dne rapidně mění (od 5 do 33 °C) (Lodson & Jahromi, 2017; Okeke & Okekeogbu, 2017). Součástí budovy jsou vertikální komíny, které odvádějí teplý vzduch mimo budovu. Stěny budovy tvoří beton, který se každý večer vlivem venkovního chladného vzduchu ochlazuje. Na vytopení a ochlazení tohoto komplexu je třeba o 90 % méně energie ve srovnání s podobně velkými budovami (Lodson & Jahromi, 2017). Na podobné technice pasivní ventilace a regulace teploty je založena také budova CH2 v Melbourne v Austrálii, která využívá vodu nacházející se pod touto budovou. Tato voda je využívána k chlazení budovy prostřednictvím jejího odpařování stejně jako u některých druhů termitů žijících v blízkosti vody (Zari, 2007).



Obrázek 16: Eastgate Center v Harare. Převzato z práce Okeke a Okekeogbu (2017).

3.2.3 Obratlovci

Gekon obrovský (*Gekko gecko*)

Gekon obrovský dokáže šplhat a chodit po různých površích (Lim, 2020). Zajímavostí je, že se gekon může pohybovat po stěnách i střepech, a přitom nevyklučuje žádné lepidlo (Shimomura, 2010). Gekony lze díky tomu považovat za mistry suché adheze. Pomocí tohoto adhezivního mechanismu se gekon může pohybovat rychlostí cca 1 m s⁻¹ (Bar-Cohen, 2006). Jak je možné, že se gekon na površích i přes absenci lepidla udržuje? Keller Autumn vyslovil

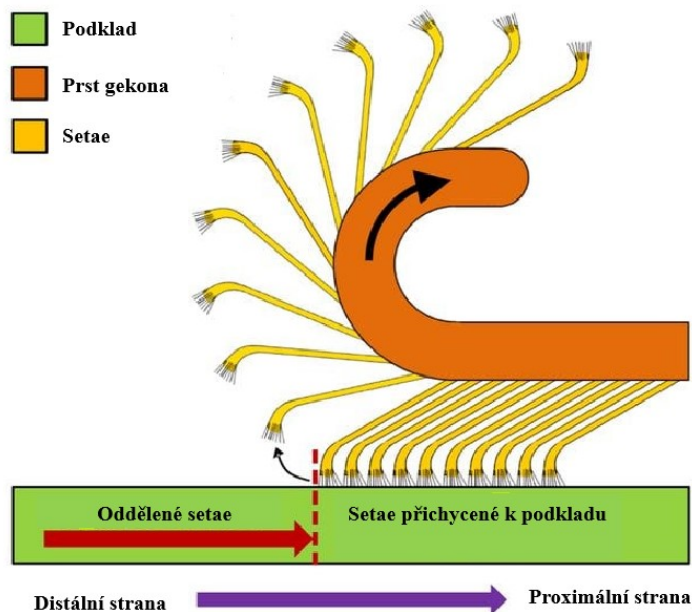
domněnku, dle které je přilnavá síla gekonových prstů způsobena Van der Waalsovými silami mezi povrchem gekonových nohou a povrchem podkladu (Shimomura, 2010).

Polštářky na prstech gekona jsou tvořeny lamelami (viz Obrázek 17), které jsou pokryty miliony malých vlasových výběžků (tj. setae) (Lim, 2020; Shimomura, 2010). Každý vlásek má průměr přibližně 5 μm a je 100 μm dlouhý (Lim, 2020). V nanoměřítku se setae dále rozvětvují do stovek menších struktur, které jsou zakončeny drobnými disky (tj. spatulae) o průměru cca 200 nm (Lim, 2020; Shimomura, 2010). Díky tomuto bohatému větvení mají gekoní nohy obrovskou plochu. Drobné disky se lepí na povrchy prostřednictvím Van der Waalsových sil, což jsou síly, které působí mezi všemi molekulami (Lim, 2020). Van der Waalsovy síly se považují v rámci jednotlivých interakcí za velmi slabé (jejich vlastní energie $\sim 50 \text{ mJ m}^{-2}$), ale v rámci velkého povrchu se síly sčítají a umožňují gekonům ulpívat na povrchu a provádět fascinující pohyby (Bar-Cohen, 2006; Lim, 2020).



Obrázek 17: Detail chodidla gekona obrovského. Převzato z práce Lim (2020).

Aby byly gekoní nohy stále stejně funkční, musí být čisté. Funkčnost je zajištěna tzv. dynamickým samočištěním, během kterého gekoni odhazují ulpěné nečistoty (prachové a jiné částice). Během samočištění dochází k postupnému oddělení nohy od povrchu takovým způsobem, že se nejdříve uvolňují špičky prstů, následně základna prstů a pak celé chodidlo. Prsty gekona mají schopnost tzv. hyperextenze, což znamená, že se prsty začínají odlepovat od jejich konců a následně se krotí (viz **Obrázek 18** a **Obrázek 19**). Tyto krotivé pohyby jsou umožněny pružnými nanostrukturami. Kývavými pohyby se mohou uvolnit částice zachycené na drobných discích i mezi nimi (Lim, 2020).



Obrázek 18: Princip samočištění s využitím hyperextenze prstů. Převzato a upraveno z práce Lim (2020).



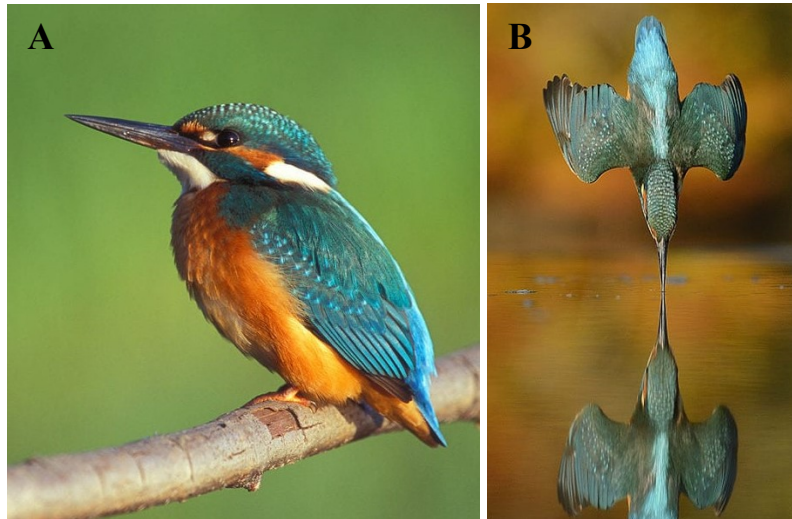
Obrázek 19: Stočené prsty gekona. Převzato z práce (Yu et al., 2022).

Dle mikrostruktury gekoních prstů profesor Andre Geim v roce 2003 vytvořil lepicí pásku bez využití lepidla. Vědci imitovali drobné vlásky pomocí uhlíkových nanotrubic, které vykazují stejnou adsorbční sílu jako ty biologické (Shimomura, 2010). Tato lepicí páska vykazuje vlastnosti suchého lepidla, které funguje skvěle i pod vodou a ve vakuu (Bar-Cohen, 2006).

Ledňáček říční (*Alcedo atthis*)

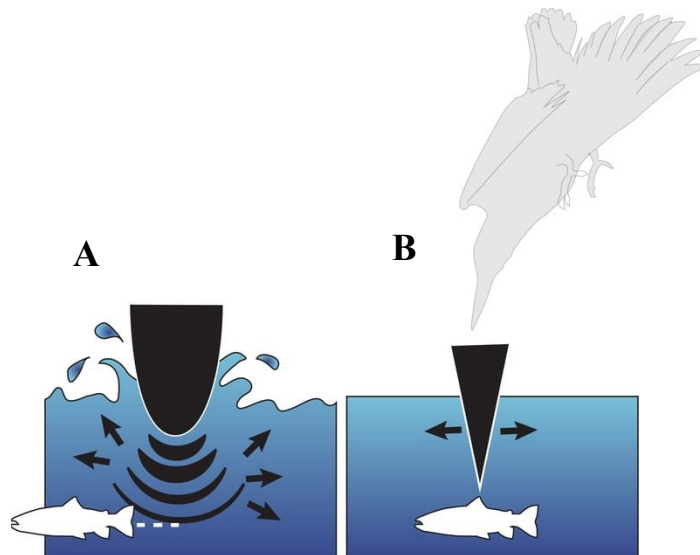
Ledňáčci jsou ptáci vyskytující se po celém světě. Existují stovky druhů, ale o všech lze prohlásit, že jsou mistři v lovu ryb. Jakmile ledňáček říční (viz **Obrázek 20A**) spatří plavající rybu, k čemuž mu pomáhají speciální buňky v očích snižující oslnění, opustí bidlo a vrhá se do vody pro svoji kořist. Rybám se během evoluce vytvořila tzv. postranní čára, která umožňuje rybám zjistit, že se blíží predátor, a spouští následnou strategii úniku. Postranní čára je tvořena

speciálními receptory, které snímají změny toku vody. Ryby jsou tedy schopny detekovat jakýkoliv pohyb vody, a to včetně tlakové vlny potápějícího se ptáka. Včasná registrace potenciálního predátora rybám umožňuje rychle uplavat a přežít. Jak je možné, že je zrovna ledňáček v lovu ryb tak úspěšný? Odpovědí je speciální tvar jeho zobáku, jenž nevytváří při vstupu do vody výraznou tlakovou vlnu ani hlučné šplouchnutí (Stier, 2020).



Obrázek 20: A: Ledňáček říční. B: Zobák ledňáčka říčního narážející na vodní hladinu. Převzato z práce Stier (2020).

Ledňáček při lovu ryb naráží na vodní hladinu rychlostí 11 m s^{-1} (viz **Obrázek 20B**). Jemný hrot kuželovitě tvarovaného a dlouhého zobáku způsobuje díky svojí malé povrchové ploše nízký odpor vůči vodě. Postupně se rozšiřující zobák umožňuje hladké proudění vody kolem něj při pronikání do vodního sloupce (viz **Obrázek 21B**). Pták touto strategií získává klíčové milisekundy, aby se dostal k rybě dříve, než ho ryba zaregistruje. Kratší, širší a kulatější zobáky způsobují výraznou tlakovou vlnu, šplouchnutí, a tedy vyplašení kořisti (viz **Obrázek 21A**) (Stier, 2020).



Obrázek 21: A: Náraz kulatého ptačího zobáku na vodní hladinu. B: Náraz ostrého zobáku ledňáčka na vodní hladinu. Převzato z práce Stier (2020).

Japonsko je proslulé svými rychlovlaky (Stier, 2020). Japonský rychlovlak Shinkansen (též „bullet train“) jezdí rychlostí 240–320 km h⁻¹ a každoročně přepravuje miliony cestujících. Když byl poprvé uveden do provozu, inženýři se potýkali s problémem nadměrné hlučnosti vlaku. Vlivem vysoké rychlosti vlaku se před vlakem tvořila tlaková vlna, která při výjezdu z tunelů způsobovala nepříjemný hluk pro obyvatele žijící v okolí. Inženýři museli problém vyřešit, aniž by snižovali rychlost vlaku či zvyšovali spotřebu energie (AskNature, 2023a). Inženýr Eiji Nakatsu si všiml skvělých protiodporových vlastností zobáku ledňáčka říčního. Jeho tým testoval různé tvary přední části vlaku a zjistil, že tvar inspirovaný zobákem ledňáčka vykazuje zdaleka nejlepší vlastnosti (Stier, 2020). Inženýři tedy následně přepracovali přední část vlaku tak, aby napodobovala tvar zobáku ledňáčka. Výsledkem byli všichni nesmírně překvapeni. Nejen že se snížil hluk, ale vlak jel o 10 % rychleji a spotřeboval o 15 % méně energie než původní vlak. Takto přepracovaný vlak byl uveden do provozu v roce 1997 (AskNature, 2023a).

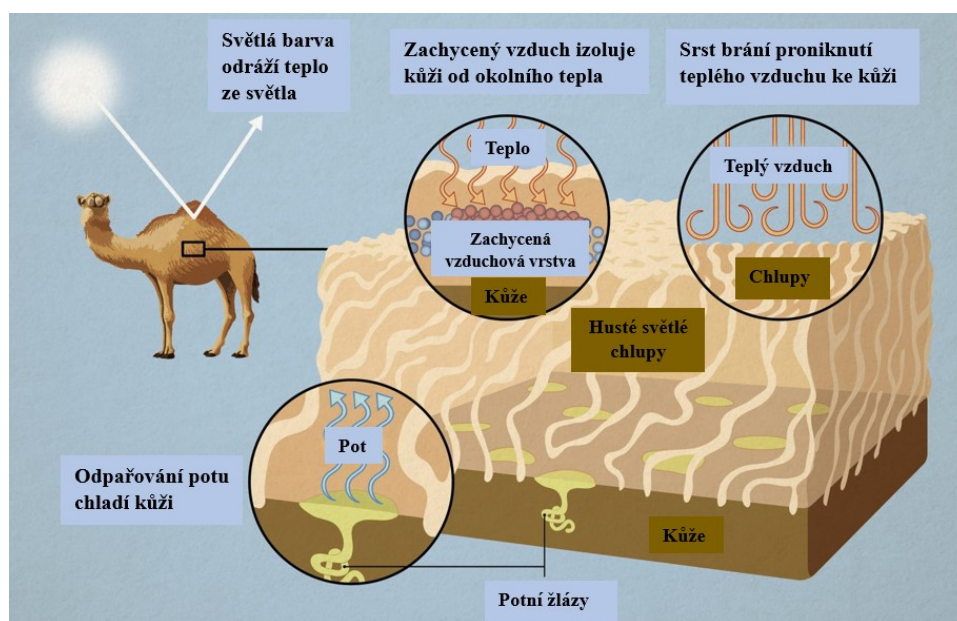


Obrázek 22: Japonský rychlovlak. Převzato z práce Weidner et al. (2018).

Velbloud jednohrbý (*Camelus dromedarius*)

Velbloud jednohrbý žijící v Sahaře se během evoluce skvěle přizpůsobil nepříznivým podmínkám vyprahlé pouště. Velbloudi dokážou být aktivní i při vysokých teplotách a zároveň spotřebovávají pouze minimální množství vody. Lidé také mohou být aktivní při vyšších teplotách, ale za cenu vylučování velkého množství vody prostřednictvím potu. Vyloučený pot lidi chrání takovým způsobem, že ochlazuje jejich těla odpařováním. Nadměrné ztráty vody si velbloudi v poušti nemohou dovolit. Jak se tedy velbloudi chrání před vysokými teplotami (Stier, 2021)?

Srst velblouda je suchá na dotek, což vyvolává domněnku, že se velbloudi vůbec nepotí. Ale opak je pravdou. Jedinečná interakce velbloudí srsti a jeho potu funguje jako velmi výkonný systém regulující teplotu. Kůže velblouda je pokryta potními žlázami. Z potních žláz se vylučuje tekutina ve formě páry a snižuje tak tělesnou teplotu velblouda (viz **Obrázek 23**). Místy až deseticentimetrová hustá srst pokrývá velbloudí kůži a izoluje ji od okolního tepla. Izolace pomocí srsti probíhá třemi mechanismy (viz **Obrázek 23**). Světlá barva velbloudí srsti odráží světelnou energii, a tím redukuje množství tepla, jenž se dostane až ke kůži. V izolačním mechanismu dále hraje roli zachycený vzduch v srsti (konkrétně prostory mezi jednotlivými molekulami), jenž způsobuje horší přenos tepla pomocí vedení. Na izolaci se dále podílí srst jako taková, protože jednotlivé chlupy tvořící velmi hustou srst brání proniknutí teplého vzduchu ke kůži. Teplota vnějšího povrchu srsti a kůže se může lišit až o 30 °C. Díky těmto mechanismům velbloudi nemusí vylučovat tolik vody. Toto tvrzení je podpořeno zjištěním, dle kterého velbloudi s ostříhanou srstí spotřebují více vody než ti s neporušenou srstí (Stier, 2021).



Obrázek 23: Znárodnění principů řízení teploty velblouda. Převezato a upraveno z práce Stier (2021).

Pokud výše zmíněné mechanismy nestačí a velbloud se přesto dehydratuje, může během noci aplikovat další dvě strategie pro přežití. Noci jsou v pouštích velmi chladné. Velbloud během noci nasává nosními průduchy chladný vzduch, díky čemuž se nosní struktury ochlazují. Vdechnutý vzduch se v těle velblouda zahřeje na jeho tělesnou teplotu a plně se nasatí vodou (tzn. 100% relativní vlhkost). Při výdechu teplý vzduch prochází chladnými nosními strukturami. Zahřátý vzduch obsahující vodní páru se ochladí, což vede k její kondenzaci a vzniká voda (AskNature, 2017).

Druhou strategií je extrakce vody z vydechovaného vzduchu. Voda ve vydechovaném vzduchu se absorbuje na hygroskopických nosních strukturách (tj. struktury pohlcující vodu), a tím dochází k desaturaci vydechovaného vzduchu z původních 100 % na 75–80 % relativní vlhkosti. Tato strategie je u velblouda velmi efektivní, protože má obrovskou nosní plochu (více než 1000 cm²) v porovnání s lidskou nosní dutinou (pouze 160–180 cm²). Proč velbloud nevyužívá tento druhý mechanismus i během dne? Během horkého dne je pro velblouda výhodnější vydechat teplý, i když vodou nasycený vzduch, protože se tak zbavuje přebytečného tepla. Je to sice na úkor úspory vody, ale prevence před přehřátím mozku je pro přežití velblouda prioritou (AskNature, 2017).

Snaha o izolaci a zabránění přístupu tepla z okolí se projevuje v mnoha oblastech, od technologií až po textilní průmysl (Stier, 2021). Problematické je např. uchovávání biologických vzorků a potravinářských produktů. Tyto objekty se většinou uchovávají v chladničkách a jejich přeprava pomocí chladicích nádob či suchého ledu je velmi nákladná a neekologická (AskNature, 2023b). Proto MIT v roce 2020 navrhl chladicí systém inspirovaný velbloudí strategií chlazení (AskNature, 2023b; Stier, 2021). Navržený produkt kombinuje chlazení vodou s izolací (Stier, 2021). Je složen z vnitřní hydrogelové a vnější aerogelové vrstvy (AskNature, 2023b). Aerogel je tvořen vysoce porózní strukturou, která je vyplněna plynem, díky čemuž dosahuje tento materiál (či spíše stav hmoty) velmi nízké hmotnosti a hustoty (Du et al., 2013). Z hydrogelové vrstvy se snadno odpařuje voda (jako u potních žláz velblouda) a pro páru prostupný aerogel zadržuje vnější teplo (jako velbloudí srst). Celý materiál je přibližně 1 cm široký. Vodní pára má chladicí účinek, protože prodlužuje dobu, za kterou se teplo z okolí, dostane k obsahu chladicího systému (AskNature, 2023b). Systém se využívá např. k uchovávání biologických materiálů v chladu po dlouhou dobu. Výhodou systému je minimální spotřeba vody i energie (Stier, 2021).

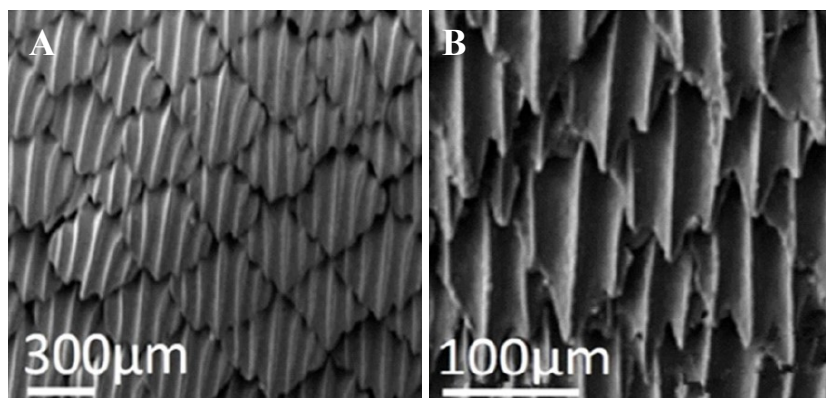
Žraloci

V oceánu žije mnoho organismů, které vyhledávají povrchy, na nichž by se mohly shromažďovat a růst. Mezi tyto organismy patří mikroorganismy, řasy či vodní živočichové (Smirnov, 2019). Usazování mořské „vegetace“ na podvodních plochách tvoří nežádoucí pokrivy (tzv. biologické znečištění), což způsobuje komplikace především v lodní dopravě (Salta et al., 2010; Smirnov, 2019). Usazené organismy zvětšují hydrodynamický odpor lodi, což vede k větší spotřebě paliva a ke snížení její rychlosti. Dříve se proti usazující „vegetaci“ využívaly speciální nátěry, ale tyto nátěry měly negativní dopady na mořské organismy po celém světě. Vědci proto hledají ekologičtější alternativu antivegetačních prostředků. Výzkumy naznačují, že řešením by mohla být biomimetická imitace žraločí kůže (Salta et al., 2010). Vědci nejsou omezeni pouze na jeden rod či dokonce druh žraloků. Inspiraci lze nalézt u mnoha zástupců, mezi něž patří např. žralok bílý (*Carcharodon carcharias*) (viz **Obrázek 24**) (Chen, 2017).



Obrázek 24: Fotografie žraloka bílého (*Carcharodon carcharias*). Převzato z práce Chen (2017).

Žraločí kůže je tvořena mikroskopickými šupinami trojúhelníkovitého tvaru, které jsou dlouhé 200–500 μm . Bylo dokázáno, že žraločí šupiny ovlivňují tok vody a snižují odpor těla žraloka. Vznikající vysoký tok vody v těsné blízkosti žraločích šupin znemožňuje přichycení jiných organismů ke kůži žraloka. Mikroorganismy se nejsou schopny přichytit k povrchu žraločích šupin, protože šupiny mají jedinečný mikroskopický tvar a topografii (viz **Obrázek 25A**). Mikroorganismy údajně preferují určité tvary, šířku a hloubku povrchových struktur, na které přisedají a žraločí šupiny jsou pro ně v tomto ohledu nevyhovující (Smirnov, 2019).



Obrázek 25: A: Skutečná žraločí kůže ze SEM. B: Biomimetická imitace žraločí kůže ze SEM. Převzato z práce Tian et al. (2021).

Žraločí kůže se stala inspirací k výrobě materiálu, jenž našel uplatnění v mnoha oblastech. Materiál napodobující žraločí kůži se využívá jako antivegetační prostředek na spodních částech lodí, ve vodních tunelech, kanálech a na částech vodních elektráren. Materiál byl též aplikován na vnější povrchy závodních jachet a osobní letadla Airbus Industries. Výsledkem aplikace bylo zvýšení rychlosti pohybu těchto dopravních prostředků, a naopak snížení množství potřebného paliva.

Vytvořený materiál našel uplatnění též v textilním a sportovním průmyslu. V roce 2008 se konala významná soutěž v rychlostním plavání. Mnozí plavci měli při závodění v té době nové plavky Speedo LZR Racer, které firma vyrobila na základě imitace žraločí kůží. Struktura plavek výrazně snižovala tření s tekutinou a poskytovala plavcům výraznou konkurenční výhodu. Z tohoto důvodu byli plavci, kteří závodili v plavkách vyrobených dle žraločí kůže, následně obviněni z technologického dopingu (Shimomura, 2010).

3.3 Potenciál biomimetiky pro využití ve výuce

3.3.1 Nezájem žáků o studium přírodních a technických věd

V současné době se celý svět potýká s klesajícím počtem žáků projevujících zájem o studium přírodovědných a technických oborů (Tirpák & Slavík, 2019; Trnová, 2012). Sjøberg a Schreiner (2010) ve své zprávě uvádějí, že zájem o studium těchto odvětví je v ekonomicky bohatších zemích mnohem nižší oproti chudším státům světa. Zajímavostí je, že žáci ve většině zemí silně souhlasí s tvrzením, že přírodní vědy a technologie jsou velmi důležité pro společnost, ale téměř nikdo se nechce stát vědeckým pracovníkem v přírodovědné či technické oblasti (Sjøberg & Schreiner, 2010). Výsledky průzkumu od White Wolf Consulting říkají, že procentuální zastoupení dívek a chlapců, kteří se chtějí hlásit na přírodovědně zaměřené vysoké školy, se příliš neliší. Naopak do technických oborů míří ve srovnání s dívkami mnohem více chlapců (29,4 % chlapců vs. 6,1 % dívek) (MŠMT, 2009).

Příčiny

Jedním z důvodů nízkého zájmu žáků o studium přírodovědných a technických oborů může být způsob výuky těchto předmětů na školách (Trnová, 2012). Kurikula přírodovědných předmětů bývají dle odborníků špatně pojata, protože se zaměřují na vysoké množství teoretických poznatků a naopak jim chybí propojenost s reálným světem (Odcházellová, 2014; Trnová, 2012). Tuto myšlenku potvrzují výsledky průzkumu, dle kterého je pouze 15 % žáků v evropských zemích spokojeno s kvalitou výuku přírodovědných předmětů (Trnová, 2012).

Následky

Věda a technika se neustále vyvíjejí a mají dopady na všechny oblasti lidského života (Astalini et al., 2022). Přírodní vědy společně s matematikou, technikou a technologiemi tvoří důležitý pilíř pro rozvoj ekonomiky států (Tirpák & Slavík, 2019). Z tohoto důvodu narůstá strach ohledně budoucího vývoje ekonomiky především v podnikatelských sférách. Pro evropskou ekonomiku je totiž důležité mít dostatečné množství tvořivých a přírodovědně i technicky zdatných odborníků (Trnová, 2012).

Řešení

Na základních a středních školách lze pozorovat klesající zájem, motivaci a zhoršující se postoje žáků k přírodním a technickým vědám s ubíhajícími školními roky (Chonkaew et al., 2016). Proto je velmi důležité podporovat a rozvíjet pozitivní postoje žáků k přírodním a technickým vědám již od nízkých stupňů vzdělávání (Huri & Karpudewan, 2019). Ovlivnění

postojů žáků k přírodovědným a technickým disciplínám je v rukách učitelů (Trnová, 2012). Z výsledků šetření projektu The ROSE vyplývá, že školní „science“ předměty v žácích nezbuzují zvědavost a touhu po poznání přírody. Stejně tak žáci tvrdí, že školní výuka těchto předmětů nezvyšuje pocit sounáležitosti žáků s přírodou (Sjøberg & Schreiner, 2010).

Ministerstvo školství, mládeže a tělovýchovy ČR hledá způsoby, jak zvýšit zájem žáků o studium přírodovědných a technických oborů (Dostál, 2013). Stejně tak se učitelé a didaktici po celém světě snaží vytvářet nové vzdělávací metody a přístupy k výuce a snaží se najít odpověď na otázku: „Jakým způsobem lze ve škole učit přírodní a technické vědy, aby se žákům zlepšily postoje k těmto disciplínám?“ (Chonkaew et al., 2016; Odcházellová, 2014). Odpovědi na tuto otázku by mohlo být zařazení motivačního a praktického tématu biomimetiky do výuky (Speck & Speck, 2021).

3.3.2 Biomimetika ve výuce

Dle Yurtkuranové et al. (2013) je biomimetika vhodné téma pro zařazení do předškolního i školního vzdělávání. Téma může být zařazeno do výuky v rámci nejen přírodovědných předmětů (Yurtkuran et al., 2013). Žáci se mohou přesvědčit o tom, že příroda může nabídnout mnohem více než „jen“ svoji krásu. Je plná užitečných a elegantních řešení. V rámci výuky by bylo vhodné žákům ukázat relevantní a v reálu uplatnitelné aplikace biomimetiky, které upoutají jejich pozornost (Pauls, 2017). Zařazení tématu biomimetiky do výuky přináší celou řadu pozitiv a nabízí potenciální řešení mnoha vzdělávacích problémů (Speck & Speck, 2021).

Přehled argumentů, proč je vhodné biomimetiku zařazovat do výuky:

- Biomimetika je nový a rychle se rozvíjející obor, který žákům může rozšířit obzory v přírodovědných a technických oblastech.
- Moderní biomimetická témata mohou být probírána v rámci základních předmětů jako je biologie či fyzika nebo v rámci jiných či nově vytvořených předmětů.
- Biomimetika má vysoký potenciál vzbudit zájem žáků o přírodovědné a technické obory.
- Téma biomimetiky vykazuje vysoký potenciál vzbudit zájem žáků o přírodu a jejímu porozumění. Žáci si mohou pomocí tématu biomimetiky rozšířit obzory o biologické rozmanitosti. Zároveň biomimetické téma může u žáků vzbudit zájem o ochranu přírodu. S každým vyhynulým druhem se totiž snižuje množství dostupných modelů pro případné budoucí inovace.
- Biomimetika může zvýšit uvědomění si důležitosti přírodních a technických věd v každodenním životě. Mnoho denně užívaných předmětů je inspirováno přírodou. Pokud

žáky na tyto konkrétní příklady (např. suchý zip nebo samočistící fasády) upozorníme, může to vést k touze žáků dozvědět se o těchto oblastech více informací.

- Téma biomimetiky rozvíjí vědecké a technické znalosti včetně myšlení. Je důležité naučit žáky myslet a jednat tak, aby dokázali spojit poznatky z přírodních a technických věd.
- Biomimetika zvyšuje motivaci při vzdělávání širokého spektra cílových skupin (Speck & Speck, 2021).
- Biomimetická témata zlepšují představitivost všech žáků bez ohledu na věk, zájmy či kulturní pozadí (Pauls, 2017).
- Zařazování biomimetiky do výuky může vést k rozvoji kreativity žáků (Yurtkuran et al., 2013).
- Biomimetika jakožto interdisciplinární věda rozšiřuje interdisciplinární znalostní i kompetenční kurikulum (Speck & Speck, 2021).
- Téma biomimetiky je mimořádně vhodné k aplikaci konceptu STEM/STEAM a to ve všech úrovních vzdělávání (Pauls, 2017).
- Konkrétní příklady biomimetických aplikací zvyšují otevřenost žáků k novým inovacím. Je ovšem potřeba zmínit, že technologický vývoj musí respektovat přírodu, aby inovace mohly přispět k lepší udržitelnosti (Speck & Speck, 2021).
- Interdisciplinární biomimetické téma zaujme dívky i chlapce a může inspirovat novou generaci vědců, umělců, inženýrů, architektů či myslitelů (Pauls, 2017).

V současné době roste komunita pedagogů, kteří v tématu biomimetiky vidí příležitost, jak hladce integrovat STEAM předměty ve výuce (Pauls, 2017).

4 Integrace předmětů

Integrovaná výuka v současnosti neustále narůstá na popularitě. Cílem integrované výuky je propojovat poznatky z různých předmětů a využívat k tomu mezipředmětové vztahy (Koldová et al., 2022). V rámci konceptu integrované výuky je třeba přizpůsobit obsah i organizaci vyučovacího procesu tak, aby došlo k propojení předmětů pomocí určitého tématu (Skalková, 2007). Dle Škody a Doulíka (2009) bude v budoucnu nevyhnutelná integrace přírodovědných předmětů s dalšími obory. Vzhledem k rychlému tempu změn ve světě neustále vznikají ekonomické a společenské problémy, na které je třeba reagovat. K vyřešení těchto problémů je a bude klíčové aplikovat interdisciplinární znalosti (Maass et al., 2019). Integrace předmětů ve výuce rozvíjí klíčové kompetence žáků, motivuje žáky k řešení problémů, učí žáky přemýšlet v souvislostech a vede k utváření postojů a morálních hodnot (Koldová et al., 2022).

Příkladem integrované výuky předmětů je koncept STEM (angl. Science, Technology, Engineering, Mathematics), jehož podstatou je oborová integrace přírodních věd, technologií, inženýrství a matematiky (Koldová et al., 2022). Novější přístup STEAM (angl. Science, Technology, Engineering, Arts, Mathematics) vycházející ze STEM zahrnuje kromě přírodních věd, technologií, inženýrství a matematiky ještě integraci umění (Ezell et al., 2020).

4.1 STEM

Pojem STEM byl zaveden v 90. letech minulého století. S myšlenkou výukového sjednocení přírodních věd, technologií, inženýrství a matematiky přišel americký NFC (angl. The National Science Foundation). Původní znění zkratky SMET bylo z fonetických důvodů změněno na současné STEM. Tento koncept byl zaveden z důvodu potřeby zlepšit kompetence obyvatel ve STEM disciplínách, aby byl americký národ hospodářsky a ekonomicky konkurenceschopnější (Maass et al., 2019). Vlivem rychle se vyvíjejících technologií a neustále přibývajících vědeckých poznatků si mnoho států uvědomuje důležitost kvalitního vzdělání a gramotnosti všech lidí v technologických a vědeckých oblastech. Díky tomu se integrovaný koncept STEM postupně rozšířil do různých zemí po celém světě (Hasanah, 2020).

4.1.1 STEM vzdělávání

STEM je výukový přístup, v rámci kterého (jak již bylo zmíněno) dochází k integraci přírodních věd, technologií, inženýrství a matematiky (Koldová et al., 2022). Přírodní vědy zahrnují živou i neživou přírodou, včetně chemických a fyzikálních procesů v nich probíhajících. Technologie se zaměřují na praktické využití lidských vynálezů získaných modifikací přírodního světa. Inženýrství zkoumá výrobu těchto vynálezů z ekonomického

i materiálního hlediska. V rámci matematiky figurují výpočty, matematické vztahy, závislosti a tvary. Matematika je považována za klíčový „jazyk“ pro ostatní disciplíny STEM (Hasanah, 2020; Koldová et al., 2022). Pro efektivní STEM vzdělávání je nutné, aby žáci uměli popsat grafy, používat vzorce a popisovat různé jevy. Denně se v médiích prezentují informace ve formách grafů, symbolů či numerických dat. Je třeba, aby žáci sdělovaným informacím rozuměli a byli schopni diskuze o globálních a společenských výzvách (Maass et al., 2019). Lze tedy prohlásit, že STEM pokrývá přírodovědnou a technologickou oblast vzdělávání (Bieliková, 2020).

Ačkoliv je pojem STEM ve vzdělávání poměrně pevně zaveden, i přesto ve světě převládá zmatení ohledně jeho významu (Maass et al., 2019). Je to naprosto pochopitelné vzhledem k tomu, že jednotná definice pro STEM vzdělávání neexistuje (Hasanah, 2020). Pro koncept STEM existuje téměř tolik definic, kolik je autorů, kteří se o tuto problematiku zajímají. Někteří nahlíží na disciplíny individuálně, jiní naopak integrovaně (Martín-Páez et al., 2019). Všechny definice se ale shodují na tom, že STEM vzdělávání by mělo:

- a. pokrývat alespoň dvě disciplíny ze STEM, a
- b. využívat kontexty reálného světa (Hasanah, 2020; Maass et al., 2019).

Je tedy dostačující, pokud se integrují pouze dvě disciplíny. Snaha o integraci všech předmětů STEM může být kontraproduktivní a méně efektivní. Cílem STEM vzdělávání je integrovat teoretické poznatky z různých předmětů v rámci konkrétního skutečného kontextu (Maass et al., 2019).

4.1.2 Význam a potenciál konceptu STEM

Disciplíny STEM jsou v 21. století považovány za klíčové k dosáhnutí úspěchu ve vzdělávání i následné kariéře (Bieliková, 2020). Kvalitní vzdělání v oblasti přírodních věd, technologií, inženýrství a matematiky se považuje za základ pro hospodářský růst celé země. Toho jsou si vědoma ministerstva školství v mnoha státech (Lee et al., 2019). Předpokládá se, že do roku 2025 se poptávka po odbornících z oblastí STEM zvýší o 8 %. Oproti tomu předpokládaný růst všech povolání jsou jen 3 % (Bieliková, 2020). Problémem je, že se v mnoha zemích na světě stále snižuje zájem žáků a studentů o předměty STEM, což je třeba do budoucna změnit (Bieliková, 2020; Chonkaew et al., 2016).

Zavedením STEM výuky na školách (např. jako volitelný předmět či formou proložení klasické výuky) by se mohla zlepšit nejen gramotnost občanů, ale také by se jim rozšířily obzory ohledně

pracovních možností a volby budoucí kariéry (Koldová et al., 2022; Maass et al., 2019; Martynenko et al., 2023).

4.1.3 Problematika zavedení STEM do výuky

Zavedení konceptu STEM do výuky je pro učitele obtížné, protože vyučující nemají potřebné vzdělání ve všech aplikovaných oborech (Koldová et al., 2022). Obecně je integrovaná výuka pro učitele výzvou, protože musí zvládnout pedagogickou znalost obsahu, tzv. PCK (angl. pedagogical content knowledge), všech zařazených disciplín. Mnohdy činí učitelům problém kvalitní PCK v rámci pouze jednoho předmětu (Koldová et al., 2022; Lee et al., 2019).

Učitelé na soukromých školách se staví k výuce STEM mnohem pozitivněji než učitelé na státních školách (Martynenko et al., 2023). Tradičně založený způsob výuky je vůči integrovanému stále dominantní. Další překážkou je fakt, že společnost vyjadřuje pochyby o výsledcích STEM vzdělávání. A není divu, protože prozatím není dostatek výzkumů, které by potvrzovaly dlouhodobou účinnost integrovaného přístupu (Gao et al., 2020).

Pro mnoho žáků může být STEM vzdělávání obtížné, protože vyžaduje analytické myšlení, schopnost řešit problémy a k jejich vyřešení jsou potřeba interdisciplinární znalosti (Maass et al., 2019; Martynenko et al., 2023). Výsledky testování PISA dokazují, že i v ekonomicky rozvinutých zemích (v rámci Evropy, USA či Austrálie) chybí přibližně pětina studentů klíčové kompetence z přírodních věd a matematiky. Množství nedostatečně gramotných občanů se dle dlouhodobých výsledků buď ustálil na těchto počtech, nebo v některých případech dokonce stále narůstá. Do budoucna je třeba zlepšit celkovou gramotnost občanů, a tím zvýšit mezinárodní konkurenceschopnost (Maass et al., 2019).

STEM v České republice

Praktická aplikace integrovaného přístupu je poměrně problematická. Nedostatečné znalosti pedagogů z více oborů lze vyřešit spoluprací s oborově kvalifikovanějšími kolegy. Česká republika se potýká s další překážkou, kterou je nedostatečné množství učebních materiálů do výuky. Nelze se spoléhat na učebnice, protože v podstatě neexistují. Je tedy nutné vytvářet zcela nové materiály do integrované výuky, jejichž příprava je velmi náročná. Vyžaduje mnoho času, úzkou spolupráci s kolegy a práci s mnoha zdroji informací (Koldová et al., 2022).

5 Přírodovědná gramotnost

Pojem přírodovědná gramotnost lze definovat různými způsoby, protože jednotná mezinárodní definice nebyla jasně stanovena (Černocký et al., 2011). Dle Blažka a Příhodové (2016, s. 12) je definice následující:

„Přírodovědná gramotnost je schopnost přemýšlet a jednat ve všech věcech souvisejících s přírodními vědami a jejich principy jako aktivní občan.“

Na základě této definice lze prohlásit, že podstatou přírodovědné gramotnosti nejsou pouhé teoretické znalosti, ale především kompetence žáků pracovat s přírodovědnými poznatky (Blažek & Příhodová, 2016; Černocký et al., 2011).

Černocký et al. (2011) uvádí na základě průniku různých definic přírodovědné gramotnosti komplexní rámcové vymezení přírodovědné gramotnosti. Přírodovědná gramotnost dle nich zahrnuje čtyři aspekty, mezi které patří aktivní osvojení si a používání:

1. pojmů z přírodních věd,
2. metod a postupů přírodních věd,
3. zásad hodnocení přírodovědného poznání,
4. způsobů interakce přírodovědného poznání s dalšími oblastmi lidského poznání a společnosti.

Podrobné vymezení těchto klíčových aspektů přírodovědné gramotnosti jsou i s příklady uvedeny v **Příloze 1**.

5.1 Mezinárodní testování

Přírodovědná gramotnost žáků je zjišťována v rámci mezinárodních srovnávacích studií, mezi které patří např. PISA (angl. The Programme for International Student Assessment) a TIMSS (angl. The Trends in International Mathematics and Science Study) (Odcházelová, 2014). Zapojení se daného státu do mezinárodního testování přináší možnost porovnat dosažené výsledky testování a zároveň celé vzdělávací systémy zúčastněných zemí (Palečková & Mandíková, 2003).

5.1.1 PISA

Průzkumné šetření PISA zajišťuje Organizace pro ekonomickou spolupráci a rozvoj (OECD, angl. Organisation for Economic Co-operation and Development) (Palečková & Mandíková, 2003; Tirpák & Slavík, 2019). V České republice testování zprostředkovává Ministerstvo školství, mládeže a tělovýchovy (MŠMT) (Palečková & Mandíková, 2003). Výzkum PISA probíhá každé tři roky. První testování se uskutečnilo v roce 2000 (Černocký et al., 2011). PISA testuje úroveň čtenářské, matematické a přírodovědné gramotnosti patnáctiletých žáků různých zemí z celého světa v devítiletých cyklech (Blažek & Příhodová, 2016; Palečková & Mandíková, 2003). Po třech letech se testují všechny gramotnosti, ovšem s důrazem na jednu z nich. Přírodovědná gramotnost se naposledy testovala v roce 2015 (Blažek & Příhodová, 2016). V rámci průzkumu se nezjišťuje jen úroveň gramotnosti, ale také zájmy žáků, jejich domácí zázemí, vztah k vyučovaným předmětům či jejich představy o budoucí kariéře (Tirpák & Slavík, 2019).

PISA vytváří testy bez ohledu na kurikula zúčastněných zemí a zaměřuje se spíše na vědomosti a dovednosti potřebné pro úspěšné uplatnění žáků v jejich budoucím životě (Chvál et al., 2015; Palečková & Mandíková, 2003).

5.1.2 TIMSS

Šetření TIMSS je realizováno Mezinárodní asociací pro hodnocení výsledků vzdělávání (IEA, angl. The International Association for the Evaluation of Educational Achievement) (Černocký et al., 2011). V České republice testování zprostředkovává Česká školní inspekce (ČŠI) (Peclínovská, 2021). Projekt TIMSS porovnává vědomosti z matematiky a přírodních věd. Probíhá každé čtyři roky již od roku 1995. Testování se zaměřuje na žáky ve věku přibližně 10 a 14 let, což odpovídá žákům 4. a 8. ročníků základních škol či odpovídajícím ročníkům na víceletých gymnáziích (Černocký et al., 2011).

TIMSS zjišťuje, jaké vědomosti a dovednosti si žáci osvojili dle kurikula bez důrazu na schopnost praktické aplikace (Černocký et al., 2011). Testuje se „průnik“ učiva z kurikulárních dokumentů zúčastněných zemí. Je ovšem nutné zmínit, že vzhledem k velkému počtu různých kurikul nelze absolutního průniku dosáhnout (Chvál et al., 2015).

5.1.3 Výsledky českých žáků v mezinárodních šetřeních

Výsledky českých žáků se v mezinárodních šetřeních od roku 1995 do roku 2007 zhoršily. Dle výsledků je zřejmé, že čeští žáci mají obstojné znalosti z přírodních věd, ale neumějí je propojovat, logicky uvažovat a navrhopvat či vyhodnocovat výzkum (Odcházlová, 2014). Toto tvrzení podporují lepší výsledky žáků dosažené v šetření TIMSS, které je více založeno na znalostech, oproti horším výsledkům v šetření PISA založeného na praktických aplikacích poznatků (Černocký et al., 2011).

V současné době přestávají být důležité pouze teoretické poznatky a je žádoucí, aby žáci byli kreativní, uměli analyticky a logicky myslet a uměli řešit heterogenní problémy (Odcházlová, 2014). Škoda a Doulík (2009, s. 25) v této souvislosti uvádějí citát, jehož autorem je H. Poincaré:

„Věda je složená z faktů tak jako dům z kamenů. Ale pouhá sbírka faktů není věda, stejně tak jako hromada kamení není dům.“

6 Typologie úloh a pravidla jejich tvorby

6.1 Učební úlohy

Učební úlohy jsou klíčovými prvky kvalitního edukačního procesu. Pro učební úlohy existuje mnoho různých definic, popisů a vymezení. Autoři se shodují na jejích třech charakteristikách.

Učební úloha:

- a) vyzývá žáka k aktivní činnosti,
- b) týká se určitého oboru a vede k učebnímu cíli,
- c) tvoří výukovou situaci a určuje formu, organizaci i průběh edukačního procesu (Slavík et al., 2010).

Jako učební úlohu lze tedy označit jakékoliv zadání, jehož účelem je vzbudit zájem žáků o poznávání (tzn. o učení) a umožnit žákovi dosáhnout daného edukačního cíle (Kalhous & Obst, 2002; Maňák & Švec, 2003). Úloha by měla z tohoto cíle vycházet a zároveň sloužit jako zpětnovazebný prostředek, dle kterého se posoudí dosažení zvoleného cíle (Kalhous & Obst, 2002).

6.1.1 Typy učebních úloh

Učební úlohy se mohou dělit dle mnoha parametrů na různé typy. Vzhledem k povaze a cíli této diplomové práce jsou uvedeny charakteristiky pouze multikomponentních a komplexních učebních úloh.

Multikomponentní úlohy

Multikomponentní úlohy jsou jedním z typů úloh a jsou zaměřeny na jedno komplexní téma. Tyto úlohy nalézají hojně uplatnění ve výuce přírodních věd. Součástí úloh jsou úlohy dílčí, které se zaměřují na různé aspekty (chemické, biologické, fyzikální...) související s tématem. Díky tomu se dají multikomponentní úlohy označit za mezioborové. Úlohy tedy umožňují propojit poznatky žáků z více disciplín. Kromě toho také podporují rozvoj přírodovědné gramotnosti, protože pro vyřešení úlohy nejsou potřeba jen izolované poznatky, ale také různé dovednosti. Řešením těchto typů úloh se může podpořit zájem žáků o studium přírodních věd a mohou se zlepšit výsledky v mezinárodních šetřeních PISA či TIMSS (Černocký et al., 2011).

Komplexní úlohy

Komplexní úlohy jsou dalším z typů učebních úloh. Skládají se ze souboru obvykle různých úloh, které spojuje jedno určité téma. Téma vždy souvisí s reálným životem. To umožňuje žákům aplikovat teoretické poznatky do reálnější a pro ně využitelné roviny. Komplexní úlohy

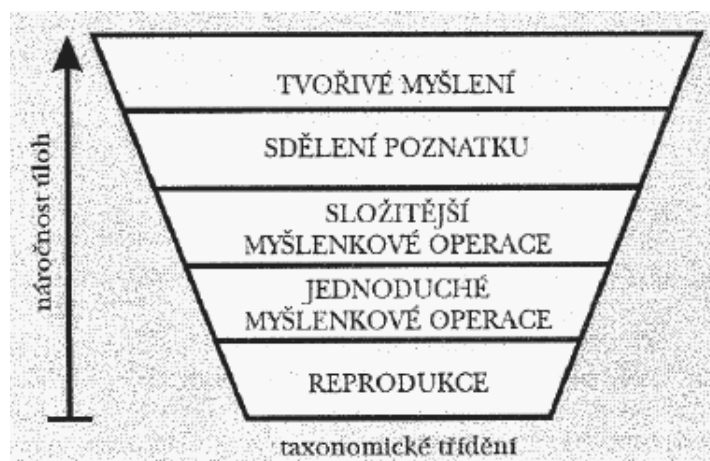
jsou více než vhodné k zařazení do výukového procesu, protože neslouží k pouhé reprodukci učiva, ale i k uplatňování vyšších kognitivních operací.

Výchozím textem těchto úloh bývá text, graf či obrázek. Vzhledem k tomu, že komplexní úlohy obsahují mnoho různých podúloh, řešitelé se tématem zabývají delší dobu a získávají o něm komplexnější obraz. Nebezpečím u těchto úloh může být nadměrné množství jednotlivých podúloh, či jejich náročná a dlouhá zadání. Jednotlivé úlohy by měly být uspořádány od jednodušších ke složitějším (Havlová et al., 2010).

6.1.2 Parametry učebních úloh

D. Tollingerová, jež se zabývala učebními úlohami, uvádí tři klíčové parametry učebních úloh. Jedná se o parametr stimulační, regulační a operační. Parametr stimulační vyjadřuje žákovskou míru motivace k učení. Čím vyšší míra stimulace, tím je vyšší zájem žáka o poznávání, tedy o učení. Parametr regulační charakterizuje řízení učebního procesu žáka. Poslední parametr učebních úloh, parametr operační, vyjadřuje, jaké typy operací musí žák provést, aby danou úlohu vyřešil. Tyto operace by měly vycházet z edukačních cílů.

K tvorbě jakýkoliv úloh je vhodné využít taxonomii učebních úloh, v níž jsou úlohy seřazeny dle náročnosti operačních procesů (viz **Obrázek 26**). Často využívanou taxonomií učebních úloh je taxonomie od již zmíněné D. Tollingerové (viz **Příloha 2**), která při její tvorbě vycházela z Bloomovy taxonomie kognitivních cílů (Maňák & Švec, 2003).



Obrázek 26: Rostoucí náročnost učebních úloh. Převzato z práce Maňáka a Švece (2003).

Taxonomie cílů v kognitivní oblasti od B. S. Blooma byla a stále je cenným a klíčovým nástrojem pro pedagogii (Kalhous & Obst, 2002). Taxonomie byla vytvořena v roce 1956 dle psychologických a pedagogických poznatků týkajících se kognice (Hudecová, 2004; Kalhous & Obst, 2002).

Původní znění Bloomovy taxonomie zahrnuje šest hierarchicky uspořádaných kategorií cílů, přičemž první (tj. znalost) odpovídá nejnižší kognitivní náročnosti:

1. znalost (zapamatování)
2. porozumění
3. aplikace
4. analýza
5. syntéza
6. hodnotící posouzení.

Později bylo zjištěno, že 100% hierarchický vztah mezi kategoriemi nefunguje. Tzn. že k vyšším kognitivním operacím není vždy nevyhnutelně nutné použít všechny předchozí (tzn. nižší) kognitivní operace (Kalhous & Obst, 2002).

Na konci 90. let minulého století byla Bloomova taxonomie kognitivních cílů zrevidována pod vedením D. Krathwohla. Nová taxonomie (viz **Obrázek 27**) je tvořena dvěma dimenzemi, dimenzí znalostní a dimenzí kognitivního procesu. Znalostní dimenze zahrnuje faktickou, konceptuální, procedurální a metakognitivní kategorii. Dimenze kognitivního procesu zahrnuje šest kategorií, kterými jsou zapamatovat, rozumět, aplikovat, analyzovat, hodnotit, tvořit (Hudecová, 2004).

ZNALOSTNÍ DIMENZE	DIMENZE KOGNITIVNÍHO PROCESU					
	1. Zapamatovat	2. Rozumět	3. Aplikovat	4. Analyzovat	5. Hodnotit	6. Tvořit
A. Znalost faktů						
B. Konceptuální znalost						
C. Procedurální znalost						
D. Metakognitivní znalosti						

Obrázek 27: Revidovaná Bloomova taxonomie. Převzato z práce Hudecové (2004).

6.2 Testové úlohy

Testová úloha je typ úlohy, jejímž cílem je objektivní a spolehlivé hodnocení výkonu žáka (Havlová et al., 2010; Skalková, 2007). Podoba úlohy může být různá. Nemusí se vždy jednat pouze o úkol či otázku. Úlohu lze zadat i jinými formami, např. doplňováním chybějících slov do textu či rozhodováním o správnosti výroku (Schindler, 2006). Stejně tak úloha nemusí testovat pouze jednu znalost či dovednost, ale může se zaměřovat i na více dimenzí (Hudecová, 2004; Schindler, 2006).

Souhrn testových úloh vytváří didaktický test, jehož výsledky jsou následně zpracovány a vyhodnoceny (Skalková, 2007). Didaktické testy by měly být objektivní, validní, spolehlivé a citlivé (Schindler, 2006).

6.2.1 Rozdíl mezi testovými a učebními úlohami

Existuje rozdíl mezi testovými a učebními úlohami? Ano, nepatrný rozdíl mezi těmito úlohami je. Učební úlohy by měly sloužit primárně k rozvoji vědomostí, dovedností a postojů žáků. Kdežto testové úlohy primárně hodnotí žákův výkon. V **kapitole 6.1** bylo uvedeno, že učební úloha zajišťuje dosažení určitého vzdělávacího cíle. Pokud bude cílem určité úlohy schopnost žáka řešit úlohy a jeho sebehodnocení, pak lze označit testovou úlohu zároveň jako učební. Z hlediska hierarchie platí, že testové úlohy jsou podkategorií učebních úloh. Testové úlohy sloužící k ověřování kompetencí mohou být úlohami učebními a stejně tak (i když méně často) tomu může být i naopak (Havlová et al., 2010).

6.2.2 Struktura testové úlohy

Schindler (2006) uvádí šest základních částí testové úlohy, mezi které patří instrukce, výchozí text, kmen úlohy, alternativy, distraktory a správné řešení. Chvál et al. (2015) přidává další část, kterou je způsob hodnocení. Všechny jmenované části se nemusí vyskytovat u všech typů úloh (Schindler, 2006). Dle struktury testových úloh se provádí jejich kategorizace (Chvál et al., 2015).

Struktura testové úlohy dle Schindlera (2006) a Chvála et al. (2015):

1. Instrukce k řešení

Seznamuje žáka s úlohou, dává pokyny a říká mu, jak má při řešení postupovat. Tato část se týká pouze úloh s výchozím textem.

2. Výchozí text

Poskytuje žákovi informace, které jsou podstatné pro řešení úlohy. Kromě klasického textu se může jednat o tabulku, graf, schéma, obrázek, audionahrávku, film atd. Výchozí text nemusí být součástí všech úloh.

3. Kmen úlohy

Vyzývá žáka k řešení úlohy. Kmen může být ve formě klasické otázky, neúplného tvrzení, pobídky k řešení či výběru z možností.

4. Alternativy (tj. varianty odpovědí)

Jedná se o všechna nabízená řešení úlohy s výběrem odpovědí. Alternativy se nevyskytují u otevřených úloh.

5. Distraktory

Distraktory jsou všechny chybně uvedené alternativy, respektive všechna nesprávná řešení.

6. Správné řešení

Jedná se o správnou odpověď či více správných odpovědí.

7. Způsob hodnocení

Uvádí bodové hodnocení správného řešení a případně bodové hodnocení pro jinou míru správnosti řešení.

Motivační prvky v testových zadáních

Součástí úlohy mohou být různé motivační prvky. Zařazení motivačních prvků do didaktických testů zvyšuje atraktivitu testu pro žáky. Co si lze představit pod termínem „motivační prvek“? Mezi motivační prvky patří obrázky, textové a doplňovací komponenty úloh. Lze využít obrázky ve formě pouhé dekorace, zadání úlohy či obrázky jako součást odpovědi. I „obyčejný“ text se může stát pro žáky motivačním, a to ve chvíli, kdy je dostatečně strukturovaný a orientuje se na praktický život. Žáky též mohou motivovat různé typy úloh v rámci jednoho testu.

Zatraktivňování testových zadání motivačními prvky je velmi žádoucí. Bylo totiž zjištěno, že žáci dosahují v testech s motivačními prvky lepších výsledků než v zadáních bez nich (Jeřábek & Bílek, 2010).

6.2.3 Typy testových úloh

Testové úlohy lze rozdělit na základě způsobu označení řešení na úlohy otevřené a uzavřené. U otevřených úloh žák řešení tvoří sám. Naopak uzavřené úlohy žákovi nabízí alternativy odpovědí, ze kterých žák vybírá správné řešení dle zadaných pokynů (Chvál et al., 2015).

Otevřené úlohy

a) Se stručnou odpovědí

Na tyto typy úloh řešitel odpovídá pouze stručně. Zpravidla se jedná o vyjádření jedním slovem, definicí, matematickým vztahem, číslem či grafickým vyznačením (Chvál et al., 2015; Jeřábek & Bílek, 2010). Vzhledem k tomu, že řešitel musí odpověď sám vytvořit, jsou úlohy se stručnou odpovědí mnohem náročnější než úlohy s volbou odpovědí. Tvorba a následné hodnocení těchto úloh je rychlé a snadné (Jeřábek & Bílek, 2010).

Otevřené úlohy se stručnou odpovědí se mohou dále dělit na úlohy produkční či doplňovací (Chvál et al., 2015). Na produkční úlohy musí řešitel sám vytvořit odpověď. Po žákovi se může vyžadovat např. určitá definice. Doplňovací úlohy mívají podobu nedokončené věty, do které žák dopíše požadovaný pojem (Jeřábek & Bílek, 2010).

Příklad kmenu produkční úlohy: „*V kterém roce byla založena Univerzita Karlova v Praze?*“ (Chvál et al., 2015, s. 124).

Příklad kmenu doplňovací úlohy: „*Univerzita Karlova v Praze byla založena v roce.....*“ (Chvál et al., 2015, s. 124).

b) Se širokou odpovědí

Tento typ úloh vyžaduje delší odpověď (Chvál et al., 2015). Rozsáhlost požadované odpovědi by měla být přímo úměrná věku a znalostem řešitelů. Vzhledem k tomu, že tyto úlohy slouží převážně k ověření většího množství poznatků získaných za delší dobu, se úlohy hodí spíše pro žáky středních škol (Jeřábek & Bílek, 2010). Vyhodnocování úloh bývá složité a je potřeba, aby měl hodnotitel precizně vypracované pokyny k hodnocení úlohy. Často se využívá princip dílčího bodování, aby se zohlednila úspěšnost řešitele v různých fázích řešení (Chvál et al., 2015).

Příklad kmenu: „*Vysvětlete vliv Jaroslava Seiferta na poválečnou literaturu.*“ (Jeřábek & Bílek, 2010, s. 43).

Uzavřené úlohy

a) S výběrem odpovědi

U těchto úloh je odpověď vybírána z více nabízených variant (tzv. „multiple-choice items“). Úlohy mohou po řešiteli požadovat vyznačení jedné správné odpovědi, jedné nejpřesnější odpovědi, jedné nesprávné odpovědi či více vhodných odpovědí (Jeřábek & Bílek, 2010). Nejčastější jsou úlohy s jednou správnou odpovědí (Chvál et al., 2015). Pokud autor vytvoří úlohu s více správnými možnostmi, může nastat problém s jejím hodnocením (Chvál et al., 2015). Problémem u těchto úloh je, že dle určité pravděpodobnosti žák správnou odpověď může tipnout. Aby se tomu předešlo, tvůrce úlohy by se měl snažit vymyslet co nejvíce (ideálně kolem pěti) distraktorů. Nalezení dostatečného množství atraktivních chybných alternativ bývá někdy velmi obtížné (Chvál et al., 2015).

Příklad kmenu úlohy s jednou správnou odpovědí: „*Vyber správnou odpověď.*“ (Chvál et al., 2015, s. 130).

b) Dichotomické

Dichotomické otázky jsou typem otázek, na které je odpověď vybírána vždy ze dvou alternativ. Mezi tyto alternativy patří dvojice ano-ne, pravda-nepravda, správně-chybně, vždy-nikdy, mohl-nemohl... (Chvál et al., 2015; Jeřábek & Bílek, 2010). Dichotomické úlohy se typicky používají k testování faktických znalostí. Výhodou je jejich snadná tvorba i následné vyhodnocení (Jeřábek & Bílek, 2010).

Příklad kmenu: „*Při fyzické námaze se tepová frekvence: (Zvyšuje-Snižuje).*“ (Jeřábek & Bílek, 2010, s. 44).

c) Přiřazovací

Přiřazovací úlohy lze považovat za několikrát se opakující úlohy s výběrem odpovědi. Hlavním rozdílem je, že v přiřazovací úloze se jednotlivá řešení navzájem ovlivňují (Chvál et al., 2015). Úkolem řešitelů je nalézt vztah mezi pojmy ze dvou různých množin a přiřadit je k sobě (Jeřábek & Bílek, 2010). Aby se zamezilo náhodnému spojování a aby se snížila pravděpodobnost tipnutí správné odpovědi, doporučuje se, aby bylo na výběr z více možností. Ideální je uvést alespoň dvě varianty odpovědi navíc. U těchto typů úloh jsou velmi důležité správně podané instrukce, např. že každý pojem může být použit pouze jednou, nebo že jsou některé pojmy navíc a nebudou využity (Chvál et al., 2015).

Příklad kmenu: „*K fyzikálním veličinám v levém sloupci přiřadte jejich jednotky v pravém sloupci.*“ (Jeřábek & Bílek, 2010, s. 47).

d) Uspořádací

Uspořádací úlohy lze vnímat jako úlohy přiřazovací, protože řešitelé přiřazují jednotlivým možnostem pomyslná čísla (Chvál et al., 2015). Úkolem řešitelů je seřadit dané odpovědi do určitého pořadí dle zvoleného kritéria. Odpovědi se mohou uspořádat podle velikosti, délky, množství atd. (Jeřábek & Bílek, 2010).

Příklad kmenu: „*Seřad' slova tak, aby vyjadřovala hodnocení od nejošklivějšího k nejhezčímu.*“ (Chvál et al., 2015, s. 134).

Otevřené a uzavřené úlohy jsou rozdílně náročné na kognitivní operace (viz **Obrázek 28**). Pro úspěšné vyřešení otevřených úloh je zapotřebí především pamětní reprodukce. Uzavřené úlohy využívají především rozpoznání či rozdělení nabízených alternativ (Chvál et al., 2015).

	Zapamatovat si	Porozumět	Aplikovat	Analyzovat	Hodnotit	Tvořit
Otevřené se stručnou odpovědí	++	++	++	+	-	-
Otevřené se širokou odpovědí	-	+	++	++	++	++
Dichotomické	++	++	+	-	-	-
S výběrem odpovědi	+	++	++	-	+	-
Přiřazovací	++	++	+	+	-	-
Uspořádací	+	++	-	-	+	-

Obrázek 28: Vhodnost typů úloh pro měření kognitivních procesů. Převzato z práce Chvála et al. (2015).

6.2.4 Určení obtížnosti úlohy

Obtížnost úlohy

Obtížnost úlohy Q udává, jak moc je úloha náročná pro své řešitele (Chvál et al., 2015). Jedná se o procentuální část celkového počtu řešitelů, jež úlohu vyřeší správně, nebo naopak chybně či ji vynechali (Jeřábek & Bílek, 2010).

Obtížnost úlohy lze vypočítat různými způsoby v závislosti na způsobu hodnocení dané úlohy. Pokud je správná odpověď hodnocena jedním bodem a chybná odpověď žádným bodem, tak se obtížnost úlohy vypočítá jako podíl chybně řešících žáků n_{ch} a všech řešitelů úlohy n dle následujícího matematického vztahu:

$$Q = \frac{n_{ch}}{n} * 100. \quad (1)$$

Po vynásobení 100 se hodnota obtížnosti úlohy pohybuje od 0 do 100 a platí, že čím je hodnota vyšší, tím je úloha náročnější (Chvál et al., 2015).

Pokud je možné v dané úloze získat i jiný počet bodů než jen 0 a 1, je třeba vyjádřit obtížnost úlohy jiným způsobem, a to prostřednictvím tzv. **indexu obtížnosti P** (Chvál et al., 2015). Index obtížnosti vyjadřuje, kolik žáků řešilo danou úlohu správně, a uvádí se v procentech (Jeřábek & Bílek, 2010).

Index obtížnosti lze vypočítat jako podíl průměrného počtu bodů za danou úlohu \bar{x} a maximálního počtu bodů za úlohu MAX dle následující rovnice:

$$P = \frac{\bar{x}}{MAX} * 100. \quad (2)$$

Při vynásobení 100 se hodnota indexu obtížnosti pohybuje mezi 0 a 100. Vyhodnocení se provádí opačně než u obtížnosti úlohy Q. Čím vyšší index obtížnosti P, tím je daná úloha snazší.

Obecně platí, že $Q + P = 100$. U úloh s možností získat větší rozsah bodů než jen 0 či 1 je možné použít k výpočtu obtížnosti úlohy vztah $Q = 100 - P$ (Chvál et al., 2015).

Uvádí se, že hodnota obtížnosti úlohy Q by měla být ideálně kolem 50. Pokud hodnota obtížnosti vychází menší než 20, úloha je považována za příliš snadnou. Naopak za velmi obtížnou úlohu lze považovat takovou, jejíž hodnota obtížnosti se pohybuje kolem 100. V případě, že hodnota obtížnosti nabývá výsledku kolem 0, tak je úloha vzhledem ke své jednoduchosti považována spíše za motivační prvek (Jeřábek & Bílek, 2010).

Chvál et al. (2015) uvádí, že index obtížnosti P v podstatě vyjadřuje totéž, co **úspěšnost žáků v úloze P_i** , přičemž „i“ značí číslo úlohy. Úspěšnost žáků v dané úloze se vypočítá jako podíl průměrného počtu bodů žáků za určitou úlohu \bar{x}_i a maximálního možného zisku bodů žáků za danou úlohu MAX_i dle rovnice:

$$P_i = \frac{\bar{x}_i}{MAX_i}. \quad (3)$$

Úspěšnost žáků v úloze vychází v rozmezí od 0 do 1 a platí, že čím větší hodnota, tím jsou žáci v dané úloze úspěšnější (Chvál et al., 2015).

6.3 Tvorba testového zadání

Před zahájením tvorby didaktického testu je třeba znát odpovědi na následující otázky:

1. Jaký je účel testování, resp. co chceme zjistit?
2. Jaké učivo a jaké znalosti či dovednosti žáků se budou testovat?
3. Jaká je cílová skupina řešitelů?

Na tyto klíčové otázky navazují otázky další, které se týkají délky trvání testu, formy testu, typů úloh v testu, jejich vyhodnocování atd. (Schindler, 2006).

6.3.1 Pravidla pro tvorbu testových úloh

Schindler (2006) doporučuje, aby se při tvorbě úloh pracovalo se zvolenou taxonomií, např. původní či revidovanou Bloomovou taxonomií výukových cílů či Taxonomií učebních úloh dle Tollingerové.

Jeřábek a Bílek (2010) společně s Schindlerem (2006) uvádí několik pravidel pro navrhování testových úloh. Mezi tato pravidla patří:

1. Neměly by se využívat kvízové otázky, a to ve smyslu hádání odpovědi z více nabízených možností.
2. Jednotlivé úlohy by měly být nezávislé na ostatních úlohách. Nemělo by se stát, že jedna úloha ovlivní řešení úlohy jiné.
3. Ve formulacích otázek by se neměla objevit nápověda pro správné vyřešení úlohy.
4. Úlohy by neměly souviset s charakteristikami žáka a měly by testovat čistě jen žákovy kompetence.
5. Hodnocení úloh by mělo mít jednoduchý princip, např. správná odpověď, jeden bod. Je třeba brát v potaz, že otevřené úlohy se širokou odpovědí někdy mohou vyžadovat složitější způsob hodnocení.
6. Struktura textu je podstatnou součástí testu a je třeba dbát na přehlednost a atraktivitu pro řešitele.
7. Úlohy v testu by neměly být příliš snadné, či naopak příliš obtížné.
8. Na otázky a úkoly by měla existovat jednoznačná odpověď.
9. Úlohy by měly cílit na to, co je testováno.
10. Úlohy by měly být pro žáky časově zvládnutelné. V ideálním případě nedávat žádný konkrétní časový limit, a pokud je nutné časový limit stanovit, tak by mě být takový, aby za tento limit test dokončilo 80–90 % testovaných.
11. Zadání úlohy by mělo být srozumitelné, stručné a gramaticky správné.
12. Úlohy by se neměly zaměřovat na „chytáky“.
13. V úlohách není vhodné používat dvojí zápor. Při využití jedné negace je třeba řešitele upozornit zvýrazněním tohoto záporu.
14. Úlohy by měly věnovat pozornost genderovému vyvážení využitých témat.
15. Úlohy by se neměly týkat potenciálně citlivých témat, měly by tedy být neutrální.

6.3.2 Praktické ověřování testu (tj. pilotáž)

Po vytvoření testového zadání je zapotřebí test prakticky ověřit, tzn. opilotovat. Pod pojmem „pilotáž“ se rozumí zadání testu určité skupině řešitelů a následné posouzení výsledků testování. Cílem pilotáže je zjistit, zda je vytvořený test dostatečně kvalitní (Schindler, 2006).

6.4 Úlohy v PISA zaměřené na testování přírodovědné gramotnosti

Úlohy v PISA jsou specifické úlohy, které se v mnoha ohledech odlišují od běžně zadávaných úloh na školách. Testování přírodovědné gramotnosti v PISA klade důraz na tři aspekty, kterými jsou obsah, dovednosti a situace (neboli kontext). Otázky a úkoly zadávané v průzkumu PISA jsou úzce spojené s reálným každodenním životem, případně s oblastmi, jež budou důležité pro budoucnost lidstva. Úlohy jsou zasazeny do rozmanitých přírodovědných situací a jsou sestaveny tak, aby pro jejich vyřešení nestačilo pouhé memorování poznatků. Řešitelé musí během řešení úloh funkčně využívat vědomosti a dovednosti nejen z přírodovědných oblastí (Palečková & Mandíková, 2003).

6.4.1 Struktura úloh

Úlohy zaměřené na testování přírodovědné gramotnosti jsou v testování PISA tvořeny celým komplexem otázek. Otázky se vztahují k textu, grafu, obrázku či jinému písemnému materiálu. Všechny otázky v rámci jedné úlohy spojuje jedno dané téma. Vzhledem k tomu, že se více otázek zabývá jedním tématem, řešitel s ním pracuje delší dobu. To může vést ke komplexnějšímu pohledu řešitele na dané téma, k lepší propojenosti poznatků a k větší soustředěnosti (Palečková & Mandíková, 2003).

6.4.2 Typy otázek

Úlohy v PISA jsou složeny z různých typů otázek. V testu se vyskytují uzavřené i otevřené otázky s tvorbou odpovědi a otázky s výběrem odpovědi. Tyto otázky mohou být zadány různými způsoby. Řešitelé vybírají odpověď z nabízených variant, odpovídají vlastními slovy, dokreslují obrázek, hledají a vypisují informace atd.

6.4.3 Vyhodnocování úloh

Vyhodnocování úloh v šetření PISA probíhá na základě kódů, které jsou přiřazeny různým variantám žákovských odpovědí. V některých případech (pokud je odpověď pouze správná, nebo špatná) stačí kódy dva. Ve složitějších úlohách je vyhodnocování komplikovanější, aby se mohla zohlednit míra správnosti určité odpovědi. Součástí testu jsou i otázky, na které nelze odpovědět správně či špatně. Jedná se o úlohy, ve kterých žáci vyjadřují své názory, formulují

závěry, navrhuji řešení apod. Z tohoto důvodu se odpovědi vyhodnocují pomocí termínů úplná, částečná a nevyhovující odpověď. Pro vyhodnocování v PISA se využívají následující kódy:

- Kódy 3, 2, 1 se přidělují úplným a částečným odpovědím. Čím vyšší číslo kódu, tím vyšší míra úplnosti odpovědi. Nejvyšší číslo kódu značí plný počet bodů.
- Kód 0 platí pro odpovědi, u kterých je zřejmé, že řešitel neporozuměl textu či otázce, ačkoliv se řešitel pokusil o zodpovězení otázky.
- Kód 9 se využívá pro chybějící odpověď (Palečková & Mandíková, 2003).

7 Metodologie

Hlavním cílem diplomové práce bylo vytvořit a prakticky ověřit čtyři sady komplexních učebních úloh pro žáky druhého ročníku SŠ zaměřené na rozvoj přírodovědné gramotnosti a využívající téma biomimetiky.

Dle cílů diplomové práce byly stanoveny dvě výzkumné otázky:

1. Jaká je úspěšnost žáků druhých ročníků SŠ v řešení vytvořených sad učebních úloh?
2. Jak žáci druhých ročníků SŠ hodnotí vytvořené sady učebních úloh z hlediska obsahu, formy, zábavnosti, srozumitelnosti a obtížnosti?

K naplnění stanovených cílů a k získání odpovědí na stanovené výzkumné otázky bylo nutné vytvořit učební úlohy a dotazníky, provést praktické ověření úloh, získané výsledky následně zanalyzovat a vhodným způsobem interpretovat.

7.1 Vlastní tvorba učebních úloh a dotazníků

7.1.1 Tvorba učebních úloh

Při tvorbě sad komplexních učebních úloh bylo postupováno dle následujících kroků:

1. Byla nastudována teoretická východiska k tématu biomimetiky (viz **kapitola 3**), konceptu integrace předmětů (viz **kapitola 4**), přírodovědné gramotnosti (viz **kapitola 5**) a tvorby úloh včetně jejich taxonomií (viz **kapitola 6**).
2. Probíhaly snahy o vyhledání úloh sloužících k rozvoji přírodovědné gramotnosti, úloh využívajících koncept STEM či úloh zabývajících se tématem biomimetiky. V českých zdrojích byly nalezeny úlohy na rozvoj přírodovědné gramotnosti (např. Černocký et al., 2011 či Palečková a Mandíková, 2003), ale úlohy zahrnující téma biomimetiky či úlohy (nikoliv časově rozsáhlé programy) zahrnující disciplíny STEM nebyly nalezeny. Proto bylo nutné vyhledávat v cizojazyčných (tj. anglicky psaných) zdrojích. Komplexní učební úlohy na téma biomimetiky ve STEM pojetí, které by současně rozvíjely přírodovědnou gramotnost, se ani v cizojazyčných zdrojích nevyskytují. Přímá opora k tvorbě plánovaných typů komplexních učebních úloh nebyla nalezena.
3. Dalším krokem bylo stanovení cílové skupiny žáků. Učební úlohy byly záměrně vytvořeny pro žáky druhých ročníků SŠ. Téma biomimetiky může být vzhledem k výraznému interdisciplinárnímu charakteru poměrně obtížné. Dle provedené rešerše bylo zjištěno, že mnoho biomimetických imitací vychází z mikroskopických či nanoskopických struktur. Pro mladší žáky by toto pojetí mohlo být vzhledem k abstraktnosti složité. Vzhledem k tomu, že se o zařazení biomimetiky do výuky ještě nikdo nepokusil, byl zvolen tento vzorek z již

popsaných důvodů. Zároveň je třeba zmínit, že téma biomimetiky je vhodné i pro mladší či naopak starší žáky. Záleží pouze na zvoleném podání a míře obtížnosti.

4. Bylo nutné stanovit si témata a počty komplexních sad úloh. Byla stanovena čtyři témata (tzn. čtyři sady úloh) a ke každému tématu bylo zamýšleno vytvořit tři jednotlivé úlohy. Před tvorbou úloh bylo rozhodnuto, že úlohy budou cílit na rozvoj přírodovědné gramotnosti. Vzhledem k širokému pojetí přírodovědné gramotnosti byly po vzoru Černockého et al. (2011) vybrány čtyři dovednosti, na jejichž rozvoj každá vytvořená sada úloh bude mířit. Mezi tyto dovednosti patří:

- a. porozumění informacím z textu a jejich interpretace,
- b. orientace v různých způsobech vyjádření a záznamů používaných v přírodních vědách (např. v podobě tabulek, schémat, grafů, mikroskopických obrázků...),
- c. vyvozování závěrů na základě analýzy údajů a dat,
- d. schopnost využívat mezioborové přesahy (matematické prostředky, poznatky z jiných oborů, průřezových témat i běžného života).

5. Poté, co byl zvolen počet sad, témata sad, počet úloh v rámci sad a dovednosti, na které úlohy budou cílit, bylo nutné promyslet celkový koncept a záměr úloh. Snahou bylo, aby v každé sadě úloh byly různé typy jednotlivých úloh (tzn. aby všechny nebyly uzavřené či otevřené a stejných typů). Úlohy byly sestrojeny tak, aby se odpovědi daly nalézt (případně vyvodit) v zadání úloh, a aby pro jejich úspěšné vyřešení nebyly zapotřebí detailní odborné informace. Vzhledem k tomu, že úlohy vychází z konceptu STEM, byla záměrně do každé sady plánována matematická úloha na jednoduché výpočty. Pro vyřešení těchto úloh jsou vyžadovány kromě zmíněných dovedností také základní znalosti a dovednosti z oblasti matematiky jako je výpočet obsahu, počítání s procenty či aplikace trojčlenky.

6. Ke každé sadě úloh byl na základě rešeršního šetření sestaven krátký úvodní text o daném tématu, který žáky uvádí do kontextu.

7. Poté bylo přistoupeno k vlastní tvorbě jednotlivých úloh. V průběhu této tvořící fáze proběhlo mnoho osobních i on-line konzultací a průběžných úprav vytvořených sad komplexních úloh. Úlohy byly diskutovány s odborníky z oblasti pedagogiky, didaktiky, biologie, chemie, fyziky a inženýrství. Mezi diskutujícími byli teoretici i praktici. Diskuse probíhaly převážně o odborné správnosti, o formulacích zadání, přiměřené obtížnosti či vhodnosti zvolených grafů, obrázků, schémat atd.

7.1.2 Tvorba dotazníků

Pro účely diplomové práce byly vytvořeny dva dotazníky. Oba vytvořené dotazníky jsou uvedeny v **Příloze 3**.

První dotazník byl vytvořen za účelem žákovského hodnocení zábavnosti a obtížnosti vytvořených sad učebních úloh. Dotazník obsahoval čtyři položky, ke kterým se žáci mohli vyjádřit prostřednictvím vyznačení pro ně nejvhodnější varianty odpovědi. Forma výběru odpovědi z nabízených možností žákům umožnila rychlé a pohodlné vyplnění tohoto dotazníku.

Druhý dotazník byl vytvořen za účelem zjištění postojů žáků k vytvořeným učebním úlohám jako celku. Dotazník se skládal z osmi tvrzení. Žáci mohli vyjádřit na škále jejich míru souhlasu či nesouhlasu prostřednictvím vyznačení nejvhodnější odpovědi. Tento dotazník byl inspirován dotazníkem z práce Vojíře et al. (2017).

Po vytvoření učebních úloh a obou dotazníků bylo nutné tyto materiály vytisknout. Tisk proběhl ve speciálním tiskařském centru, aby měly materiály dostatečnou kvalitu a byly pro žáky dobře čitelné (především z důvodu přítomnosti mnoha obrázků, schémat, grafů atd.). Pro každého žáka bylo vytvořeno kompletní papírové zadání složené ze čtyř sad učebních úloh a dvou dotazníků. Všechny tyto materiály byly svázané k sobě a byly připraveny pro každého respondenta k praktickému ověření.

7.2 Pilotní ověření vytvořených úloh

Před vlastní pilotáží vytvořených úloh bylo nutné vyhledat střední školy a vyučující, kteří by byli ochotni zapojit se se svými žáky do pilotního ověření vytvořených učebních úloh. Pilotáže se zúčastnily tři třídy ze dvou gymnázií, tj. Gymnázium Thomase Manna a Gymnázium Vlašim. Gymnázium Thomase Manna je pražské soukromé gymnázium zaměřené na výuku německého jazyka. Státní Gymnázium Vlašim je všeobecné gymnázium, které se nachází ve Středočeském kraji ve městě Vlašim. Tato gymnázia byla oslovena ke spolupráci, protože s těmito gymnázii již probíhala komunikace, a to během souvislých pedagogických praxí konaných v době přípravy pilotní verze úloh.

Pilotní ověření vytvořených sad úloh proběhlo během prosince roku 2023. Pilotáž úloh byla provedena na dostupném vzorku 50 žáků druhých ročníků gymnázia a odpovídajícího ročníku víceletého gymnázia (tj. sexty). Pilotáže se zúčastnilo 22 žákyň, 24 žáků a čtyři respondenti pohlaví neuvodli (viz **Tabulka 1**). Všichni respondenti účastníci se pilotního ověření úloh

vypracovávali všechny čtyři vytvořené sady úloh. Každá jednotlivá úloha i sada úloh měla celkem 50 řešitelů.

Tabulka 1: Školy a počty žáků účastnících se pilotáže

Škola	Ročník	Pohlaví			Celkový počet žáků
		Dívky	Chlapci	Neuvedeno	
Gymnázium Vlašim, Tylova 271, Vlašim	sexta	12	9	0	21
Gymnázium Thomase Manna, Střížkovská 32, Praha 8	druhý	8	5	1	14
	sexta	2	10	3	15

Na počátku pilotáže byl žákům představen a vysvětlen cíl společného setkání. Žákům bylo v krátkosti naznačeno, co je biomimetika a co bude úkolem žáků v rámci tohoto praktického ověření. V této seznamovací fázi proběhlo požádání žáků o jejich souhlas se zapojením se do výzkumného šetření a s použitím anonymizovaných výsledků pro účely diplomové práce.

Respondenti obdrželi v rámci pilotáže verzi vytvořených úloh bez vepsaných zdrojů informací, aby je nadbytečný text zbytečně nemátl a lépe se jim v textech orientovalo. Zdroje byly uvedeny na samostatném papíře (viz **Příloha 5**). Na vlastní vypracování všech sad úloh byla předpokládána časová náročnost v podobě jedné vyučovací hodiny (tj. 45 minut). Doba, kterou žáci potřebovali k vypracování úloh, byla velmi individuální. Všem žákům na vypracování všech sad úloh i vyplnění dotazníku stačila jedna vyučovací hodina s případným několikaminutovým přesahem. Po vypracování a odevzdání úloh proběhla s žáky debata o vytvořených úlohách, případných nejasnostech, připomínkách či dalších otázkách.

8 Analýza vytvořených úloh

V rámci této kapitoly byla provedena analýza jednotlivých učebních úloh. U každé úlohy byla uvedena její charakteristika, tzn. typ úlohy, odpovídající taxonomické zařazení dle Maňáka a Švece (2003) vycházející z taxonomie dle D. Tollingerové a dominantní rozvíjené oblasti přírodovědné gramotnosti. K úlohám bylo doplněno ukázkové řešení, které bylo znázorněno zelenou barvou. Dále byl popsán způsob hodnocení jednotlivých úloh.

Pro snadnější orientaci v rozboru úloh byly jednotlivé úlohy označeny číselnými symboly oddělenými tečkou. První číslo označovalo sadu úloh a druhé číslo vyjadřovalo pořadí úlohy v rámci této sady. Např. úloha 2.1 je první úloha z druhé sady vytvořených úloh.

Kompletní sada úloh i s uvedenými použitými zdroji informací je k dispozici v **Příloze 4**. V **kapitolách 8.1.1–8.1.4** jsou rozebrány sady učebních úloh ve verzi, která byla použita v rámci pilotáže. Dosažené úspěšnosti žáků v jednotlivých úlohách jsou podrobně uvedeny a rozebrány v **kapitole 10.2**.

8.1.1 Sada č. 1 – ledňáček říční

1. RYCHLOVLAK SHINKANSEN INSPIROVANÝ LEDŇÁČKEM ŘÍČNÍM

Japonské rychlovlaky jsou známé po celém světě. Při prvním uvedení Shinkansenu do provozu se inženýři museli vypořádat s problémem, jenž vlak způsoboval. Vlivem vysoké rychlosti vlaku se před vlakem tvořila tlaková vlna, která při výjezdu z tunelů způsobovala nepříjemný hluk a rušila okolní obyvatele.

Japonský inženýr Eiji Nakatsu, který pracoval na vylepšení vlastností rychlovlaku, si všiml skvělých protiodporových vlastností zobáku ledňáčka říčního. Inženýři následně přepracovali přední část vlaku tak, aby napodobovala tvar zobáku ledňáčka. Výsledkem bylo nejen snížení hluku, ale vlak jel dokonce o 10 % rychleji a spotřeboval o 15 % méně energie. Takto přepracovaný vlak byl uveden do provozu v roce 1997. Dnes japonský Shinkansen (též známý jako „bullet train“) jezdí rychlostí až 320 km h^{-1} a přepravuje každoročně miliony cestujících.



1. 1 Inženýři se snaží navrhovat a vyrábět vlaky tak, aby byl odpor prostředí co nejmenší. *Odpor prostředí je soubor všech sil, kterými plyn nebo kapalina působí proti pohybu těles v nich. Uveď dva argumenty, proč je nízký odpor u vlaků důležitý.*

- a) Nízký odpor vede ke zvýšení rychlosti vlaku.
- b) Nízký odpor vede k nižší spotřebě paliva.

Příklady dalších odpovědí: Nízký odpor vlaku způsobuje nižší hluk vlaku vyjíždějícího z tunelu. Nízký odpor vede ke spotřebě menšího množství energie.

Žákům byly uznány i takové odpovědi, jejichž formulace se nevyskytovaly přímo v textu, ale vycházely z žákovských zkušeností. Pokud žáci vymysleli vlastní a vhodnou odpověď, byla jim tato odpověď uznána jako správná (např. dochází ke zvýšení efektivity vlaku, dochází k menšímu tření, pro snížení emisí).

Charakteristika úlohy 1.1

Typ úlohy: otevřená úloha se stručnou odpovědí (produkční)

Taxonomie dle Maňáka a Švece (2003): úloha vyžadující pamětní reprodukci poznatků

Rozvíjené oblasti přírodovědné gramotnosti: porozumění informacím z textu a jejich interpretace, vyvozování závěrů na základě analýzy údajů a dat, schopnost využívat mezioborové přesahy (matematické prostředky, poznatky z jiných oborů, průřezových témat i běžného života)

Způsob hodnocení úlohy 1.1

Kód 2: úplná odpověď (tj. uvedení dvou vhodných argumentů, viz vzorové řešení)

Kód 1: částečná odpověď (tj. uvedení pouze jednoho vhodného argumentu, druhý argument chybí či je nevhodný)

Příklady formulací nevhodných argumentů – rychlost, hluk, čas...

Kód 0: chybná odpověď (tj. uvedení nevhodných či nedostatečných argumentů)

Kód 9: chybějící odpověď (tj. absence jakékoliv odpovědi)

1.2 Představ si, že by byl Shinkansen i v České republice. Za jak dlouho by dojel rychlovlak z Prahy do Brna, kdyby jel svojí maximální rychlostí? Délka této trasy je 240 km. Uveď postup řešení a zapiš výsledek v minutách. (Pozn.: Předpokládej, že vlak jede z výchozí do cílové stanice konstantní rychlostí bez zastavení.)

Maximální rychlost.....320 km/hod

↑ 320 km.....60 min ↑
| 240 km.....x min |

$$\frac{x}{60} = \frac{240}{320}$$

$$x = \frac{240}{320} * 60$$

$$x = \frac{1440}{320}$$

$$x = 45 \text{ min}$$

Odpověď: *Vlak Shinkansen by dojel z Prahy do Brna za 45 minut.*

Žáci nemuseli postupovat stejným způsobem jako zde ve vzorovém řešení. Žákům byl uznán i stručnější či zcela jiný postup řešení (např. s využitím vzorce $t = \frac{s}{v}$). Bylo ale nutné, aby se z uvedeného postupu daly vyčíst jednotlivé kroky a myšlenkové pochody, kterými se žák dobral k výsledku.

Charakteristika úlohy 1.2

Typ úlohy: otevřená úloha se širokou odpovědí

Taxonomie dle Maňáka a Švece (2003): úloha vyžadující jednoduché myšlenkové operace s poznatky

Rozvíjené oblasti přírodovědné gramotnosti: porozumění informacím z textu a jejich interpretace, schopnost využívat mezioborové přesahy (matematické prostředky, poznatky z jiných oborů, průřezových témat i běžného života)

Způsob hodnocení úlohy 1.2

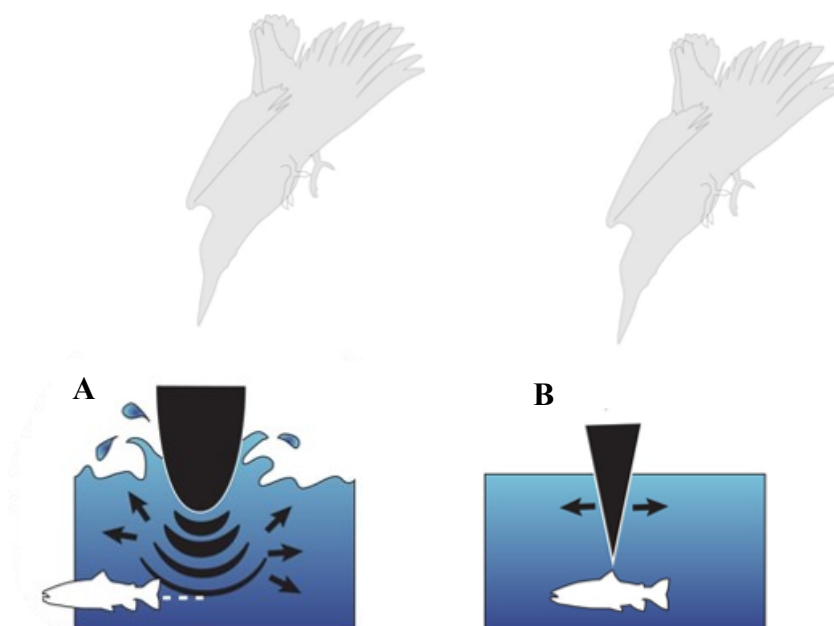
Kód 2: úplná odpověď (tj. uvedení správného postupu řešení i správného výsledku)

Kód 1: částečná odpověď (tj. uvedení pouze správného postupu řešení s chybným výsledkem či uvedení pouze správného výsledku bez postupu řešení)

Kód 0: chybná odpověď (tj. uvedení špatného postupu řešení bez výsledku či uvedení špatného výsledku bez postupu řešení či uvedení špatného postupu řešení i špatného výsledku)

Kód 9: chybějící odpověď (tj. absence jakékoliv odpovědi)

1.3 Rozhodni o každém z následujících tvrzení, zda je vzhledem k uvedenému obrázku pravdivé (ANO), či nepravdivé (NE) a zdůvodni svoji odpověď.



- a) Pták s tvarem zobáku A je pravděpodobně úspěšnějším lovcem ryb než pták s tvarem zobáku B.

NE

Zdůvodnění:

Příklady odpovědí: Pták s tvarem zobáku A má větší odpor. Pták s tvarem zobáku A díky tvaru svého zobáku dělá vlny, cáká a tím vyplaší ryby.

- b) Pták s tvarem zobáku B musí při pronikání do vody překonat nižší odpor prostředí než pták s tvarem zobáku A.

ANO

(Pozn.: Definice odporu prostředí je uvedena v zadání úlohy 1.)

Zdůvodnění:

Příklady odpovědí: Pták s tvarem zobáku B při pronikání do vody necáká a nedělá vlny, proto ryby nevyplaší. Pták s tvarem zobáku B má menší odpor. Pták s tvarem zobáku B vykazuje nižší odpor prostředí, protože má špičatý zobák.

Charakteristika úlohy 1.3

Typ úlohy: první část – uzavřená úloha dichotomická, druhá část – otevřená úloha se širokou odpovědí

Taxonomie dle Maňáka a Švece (2003): úlohy vyžadující složitější myšlenkové operace s poznatky

Rozvíjené oblasti přírodovědné gramotnosti: porozumění informacím z textu a jejich interpretace, orientace v různých způsobech vyjádření a záznamů používaných v přírodních vědách (např. v podobě tabulek, schémat, grafů, mikroskopických obrázků...), vyvozování závěrů na základě analýzy údajů a dat, schopnost využívat mezioborové přesahy (matematické prostředky, poznatky z jiných oborů, průřezových témat i běžného života)

Způsob hodnocení úlohy 1.3

Kód 2: úplná odpověď (tj. uvedení správného rozhodnutí ohledně pravdivosti výroků u obou výroků a uvedení dvou vhodných zdůvodnění)

Kód 1: částečná odpověď (tj. uvedení správného rozhodnutí ohledně pravdivosti výroků pouze u jednoho výroku a uvedení vhodného zdůvodnění k tomuto výroku)

Kód 0: chybná odpověď (tj. ani jedna odpověď (zadání a, zadání b) není kompletní, tzn. není uvedeno správné rozhodnutí ohledně pravdivosti výroku současně s jeho správným zdůvodněním)

Varianty odpovědí pro kód 0: uvedení správného rozhodnutí ohledně pravdivosti výroku, ale chybné nebo chybějící zdůvodnění k tomuto výroku či chybné nebo chybějící rozhodnutí ohledně pravdivosti výroku a správné zdůvodnění tohoto výroku či chybné nebo chybějící rozhodnutí ohledně pravdivosti výroku a chybné nebo chybějící zdůvodnění tohoto výroku

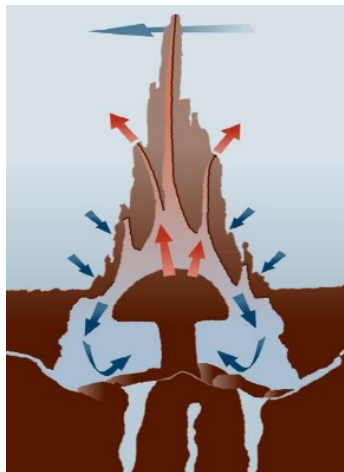
Kód 9: chybějící odpověď (tj. absence jakékoliv odpovědi)

8.1.2 Sada č. 2 – termity

2. OBCHODNÍ CENTRUM INSPIROVANÉ TERMITIŠTĚM

Termity jsou organismy, které dokážou regulovat teplotu svých hnízd (tzv. termišť). Termišť je komplex vzájemně propojených chodeb, tunelů a komůrek. Termity staví až několikametrové vertikální komíny, kterými ventilují teplý vzduch. V termišťích je poměrně stálá teplota, a to díky tepelným vlastnostem půdy, která funguje jako izolační bariéra, a rovněž díky vnitřním proudům teplého a studeného vzduchu v termišti (viz obr. 1).

Na základě poznatků o termišťích a jejich systému ventilace byl postaven v Zimbabwe nákupní a kancelářský komplex. Tato obrovská budova funguje na principu pasivní ventilace (tzn. bez topení a klimatizací), kterou využívají termity ve svých termišťích. Ačkoli se venkovní teplota během dne rapidně mění, uvnitř budovy je teplota poměrně konstantní. Součástí budovy jsou vertikální komíny, kterými teplý vzduch stoupá směrem vzhůru mimo budovu. Stěny budovy tvoří beton, který se každý večer vlivem venkovního chladného vzduchu ochlazuje. Postavení budovy vedlo k ušetření 90 % energie za chod budovy a zároveň ke snížení emisí skleníkových plynů.



2.1 Rozhodni, který z následujících výroků o teplém vzduchu je pravdivý.

- a) Teplý vzduch má vyšší hustotu než studený vzduch, a proto stoupá vzhůru.
- b) Teplý vzduch má nižší hustotu než studený vzduch, a proto stoupá vzhůru.**
- c) Teplý vzduch má vyšší hustotu než studený vzduch, a proto klesá dolů.
- d) Teplý vzduch má nižší hustotu než studený vzduch, a proto klesá dolů.

Charakteristika úlohy 2.1

Typ úlohy: uzavřená úloha s výběrem odpovědi

Taxonomie dle Maňáka a Švece (2003): úloha vyžadující jednoduché myšlenkové operace s poznatky

Rozvíjené oblasti přírodovědné gramotnosti: porozumění informacím z textu a jejich interpretace, orientace v různých způsobech vyjádření a záznamů používaných v přírodních vědách (např. v podobě tabulek, schémat, grafů, mikroskopických obrázků...), vyvozování

závěrů na základě analýzy údajů a dat, schopnost využívat mezioborové přesahy (matematické prostředky, poznatky z jiných oborů, průřezových témat i běžného života)

Způsob hodnocení úlohy 2.1

Kód 2: úplná odpověď (tj. označení pouze správné varianty odpovědi)

Kód 0: chybná odpověď (tj. označení více variant odpovědí či označení nesprávné varianty odpovědi)

Kód 9: chybějící odpověď (tj. absence jakékoliv odpovědi)

Úvodní text k úloze 2.2

Představ si, že pracuješ ve stavební firmě, která se zaměřuje na výstavbu kancelářských budov. Tvým úkolem je zjistit, kolik kanceláří se vejde do budovy v Zimbabwe. K výstavbě kanceláří je k dispozici plocha o velikosti 26 000 m². Dle požadavků klientů mají být všechny kanceláře stejně velké. Požadované rozměry jedné místnosti jsou 5 m x 4 m.

2.2 Vypočítej, kolik kanceláří lze na dané ploše maximálně postavit. Uveď postup řešení. (Pozn.: Chodby, toalety a další místnosti mimo kanceláře neber při výpočtu v potaz – na ně je vyhrazena další plocha.)

Obsah plochy jedné kanceláře = $5 * 4 = 20 \text{ m}^2$

Celková plocha = 26 000 m²

$$\frac{26\,000}{20} = 1300$$

Odpověď: Na dané ploše lze postavit 1300 kanceláří.

Žáci nemuseli mít podrobný postup řešení jako je uveden zde ve vzorovém řešení. Byl uznán i stručnější postup řešení. Bylo ale nutné, aby se z daného postupu daly vyčíst jednotlivé kroky a myšlenkové pochody, kterými se žák dobral k výsledku.

Charakteristika úlohy 2.2

Typ úlohy: otevřená úloha se širokou odpovědí

Taxonomie dle Maňáka a Švece (2003): úloha vyžadující jednoduché myšlenkové operace s poznatky

Rozvíjené oblasti přírodovědné gramotnosti: porozumění informacím z textu a jejich interpretace, schopnost využívat mezioborové přesahy (matematické prostředky, poznatky z jiných oborů, průřezových témat i běžného života)

Způsob hodnocení úlohy 2.2

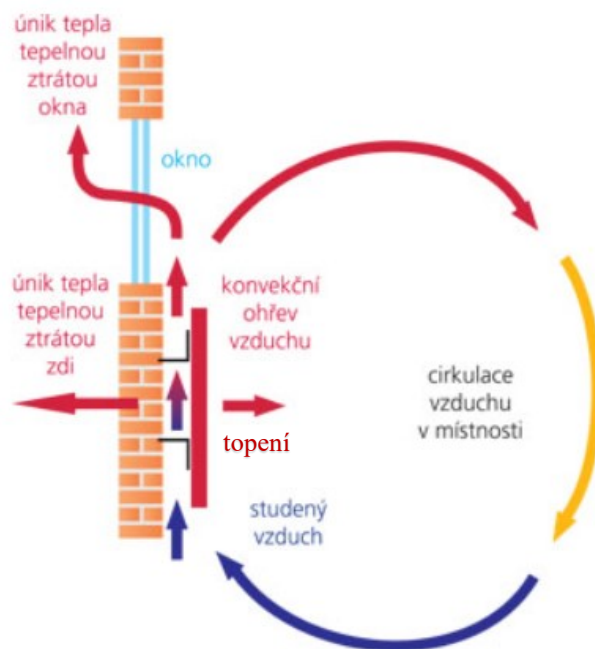
Kód 2: úplná odpověď (tj. uvedení správného postupu řešení i správného výsledku)

Kód 1: částečná odpověď (tj. uvedení pouze správného postupu řešení s chybným výsledkem či uvedení pouze správného výsledku bez postupu řešení)

Kód 0: chybná odpověď (tj. uvedení špatného postupu řešení bez výsledku či uvedení špatného výsledku bez postupu řešení či uvedení špatného postupu řešení i špatného výsledku)

Kód 9: chybějící odpověď (tj. absence jakékoliv odpovědi)

2.3 Na obrázku je zobrazena cirkulace vzduchu v místnosti. Rozhodni o každém z následujících tvrzení, zda je vzhledem k uvedenému obrázku pravdivé (ANO), či nepravdivé (NE).



- a) Veškeré tepelné ztráty v místnosti jsou způsobeny únikem skrz okna. (Tepelné ztráty jsou způsobeny také únikem skrz zeď.)
- b) Cirkulací vzduchu místností dochází k jeho opakovanému ohřátí a zchlazení.
- c) Pokud by se cirkulace vzduchu zastavila, teplý vzduch by se držel ve spodní části místnosti. (Dle obrázku je zřejmé, že teplý vzduch uniká směrem vzhůru a během své cirkulace místností se ochlazuje a klesá dolů.)

NE

ANO

NE

Charakteristika úlohy 2.3

Typ úlohy: uzavřená úloha dichotomická

Taxonomie dle Maňáka a Švece (2003): úlohy vyžadující jednoduché myšlenkové operace s poznatky

Rozvíjené oblasti přírodovědné gramotnosti: orientace v různých způsobech vyjádření a záznamů používaných v přírodních vědách (např. v podobě tabulek, schémat, grafů, mikroskopických obrázků...), vyvozování závěrů na základě analýzy údajů a dat, schopnost využívat mezioborové přesahy (matematické prostředky, poznatky z jiných oborů, průřezových témat i běžného života)

Způsob hodnocení úlohy 2.3

Kód 2: úplná odpověď (tj. uvedení správného rozhodnutí ohledně pravdivosti výroků u všech tří výroků)

Kód 1: částečná odpověď (tj. uvedení správného rozhodnutí ohledně pravdivosti výroků u dvou výroků, tzn. odpověď u třetího výroku je chybná či zcela chybí)

Kód 0: chybná odpověď (tj. uvedení správného rozhodnutí ohledně pravdivosti výroků pouze u jednoho výroku, tzn. odpovědi u zbylých dvou výroků jsou chybné či zcela chybí)

Kód 9: chybějící odpověď (tj. absence jakékoliv odpovědi)

8.1.3 Sada č. 3 – cikády

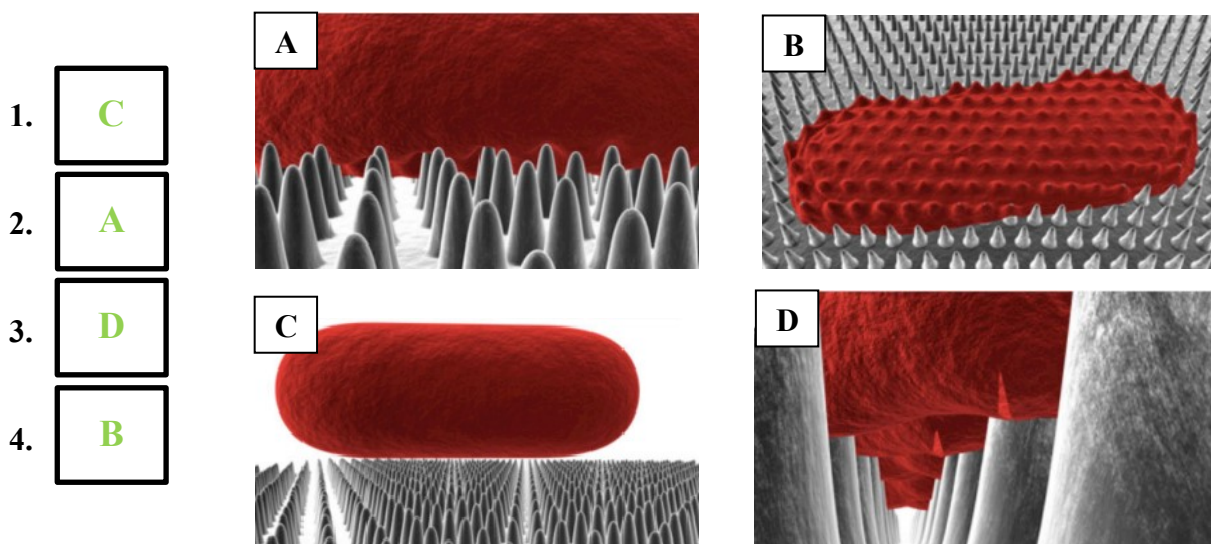
3. ANTIBAKTERIÁLNÍ POVRCHY INSPIROVANÉ KŘÍDLY CIKÁDY

Cikády jsou organismy známé pro své hlasité cvrkání. Vědci tvrdí, že cikády mohou být lidstvu mnohem prospěšnější, než se zdá. V roce 2012 bylo zjištěno, že křídla cikád vykazují antibakteriální účinky. Křídla jsou pokryta nanohrbolky ve tvaru kuželů. Když se bakterie dostane do kontaktu s křídlem cikády, tak se bakteriální stěna přichytí k nanohrbolkům a stěna se začne natahovat. Postupné natahování vede nakonec k jejímu prasknutí, což pro bakterii znamená buněčnou smrt. Tento mechanismus usmrcení bakterií funguje na gramnegativní bakterie.

Vzhledem k narůstající resistenci (tzn. odolnosti) bakterií vůči antibiotikům je potřeba hledat jiné způsoby, jak se proti bakteriím bránit. Řešením by mohl být antibakteriální materiál inspirovaný povrchem křídel cikád, který by pokrýval např. chirurgické nástroje či kliky u dveří a zahubil by bakterie dříve, než by stihly někoho napadnout.



3.1 Seřad' následující obrázky (A-D) do správného pořadí, které odpovídá mechanismu buněčné smrti bakterie na křídlech cikády. (Pozn. 1. odpovídá prvotní/počáteční fázi.)



Na obrázku C je možné pozorovat bakterii, která se dostává do prvotního kontaktu s povrchem křídla cikády. Obrázek A znázorňuje postupné přiléhání membrány bakterie k jednotlivým nanohrbolkům. Na obrázku D dochází vlivem natahování bakteriální membrány k jejímu natržení. Obrázek B znázorňuje již „splasklou“ bakterii vlivem vytečení jejího obsahu.

Charakteristika úlohy 3.1

Typ úlohy: uzavřená úloha uspořádací

Taxonomie dle Maňáka a Švece (2003): úlohy vyžadující jednoduché myšlenkové operace s poznatky

Rozvíjené oblasti přírodovědné gramotnosti: porozumění informacím z textu a jejich interpretace, orientace v různých způsobech vyjádření a záznamů používaných v přírodních vědách (např. v podobě tabulek, schémat, grafů, mikroskopických obrázků...), vyvozování závěrů na základě analýzy údajů a dat, schopnost využívat mezioborové přesahy (matematické prostředky, poznatky z jiných oborů, průřezových témat i běžného života)

Způsob hodnocení úlohy 3.1

Kód 2: úplná odpověď (tj. určení správného pořadí u všech čtyř obrázků)

Kód 1: částečná odpověď (tj. určení správného pořadí pouze u dvou obrázků, tzn. dvě písmena jsou prohozena)

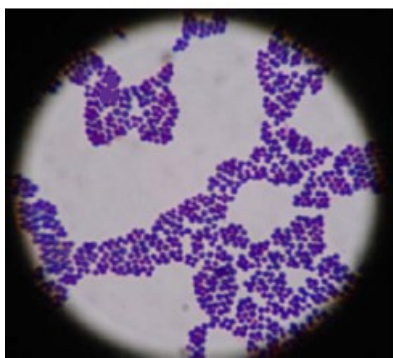
Kód 0: chybná odpověď (tj. určení správného pořadí pouze u jednoho či žádného obrázku, tzn. tři nebo čtyři písmena jsou prohozena)

Kód 9: chybějící odpověď (tj. absence jakékoliv odpovědi)

Úvodní text k úloze 3.2

Bakterie lze rozdělit podle stavby buněčné stěny na grampozitivní a gramnegativní. V laboratoři se typ bakterie může určit na základě barvy, kterou bakterie získá po reakci se speciálními barvivy. Grampozitivní bakterie se po obarvení jeví **fialově** a gramnegativní bakterie získávají **růžové** zbarvení.

Představ si, že jsi zdravotní laborant a pod mikroskopem pozoruješ následující vzorek bakterií rodu *Staphylococcus*:



3.2 Je možné tento druh bakterií usmrtit pomocí mechanismu, jenž uplatňují cikády na svých křídlech? Zakroužkuj odpověď a vysvětli, proč ses tak rozhodl/a.

ANO

NE

Vysvětlení:

Příklad odpovědi: Bakterie na obrázku jsou grampozitivní, protože mají fialovou barvu. Z úvodního textu víme, že mechanismus buněčné smrti na křídlech cikád platí pouze na gramnegativní bakterie.

Charakteristika úlohy 3.2

Typ úlohy: první část – uzavřená úloha dichotomická, druhá část – otevřená úloha se širokou odpovědí

Taxonomie dle Maňáka a Švece (2003): úloha vyžadující složitější myšlenkové operace s poznatky

Rozvíjené oblasti přírodovědné gramotnosti: porozumění informacím z textu a jejich interpretace, orientace v různých způsobech vyjádření a záznamů používaných v přírodních vědách (např. v podobě tabulek, schémat, grafů, mikroskopických obrázků...), vyvozování závěrů na základě analýzy údajů a dat, schopnost využívat mezioborové přesahy (matematické prostředky, poznatky z jiných oborů, průřezových témat i běžného života)

Způsob hodnocení úlohy 3.2

Kód 2: úplná odpověď (tj. uvedení správného rozhodnutí ohledně pravdivosti výroku a uvedení vhodného vysvětlení)

Kód 0: chybná odpověď (tj. uvedení správného rozhodnutí ohledně pravdivosti výroku bez vhodného vysvětlení či uvedení vhodného vysvětlení bez správného rozhodnutí ohledně pravdivosti výroku)

Kód 9: chybějící odpověď (tj. absence jakékoliv odpovědi)

Úvodní text k úloze 3.3

Přemýšleli jste někdy nad tím, na jakém předmětu v letadle je nejvíce bakterií? Na sedátku na záchodě? Na odpadkovém koši? Na sponě bezpečnostního pásu? Omyl. Dle odborné studie je nejvíce bakterií na plastovém sklápěcím stolku u každého sedadla, který slouží k podávání jídla a pití. Odborníci provedli mikrobiologické rozbory vždy na 6,4516 cm² dané plochy. Na uvedené ploše sklápěcího stolku bylo objeveno přibližně 2100 bakterií tvořících kolonie. Pokud by se stoly pokryly tenkou vrstvou materiálu inspirovaného povrchem křídel cikád, mohlo by se snížit množství bakterií na tomto povrchu.

3.3 Vypočítej, jaké množství bakterií by odborníci našli na totožné ploše plastového stolku, pokud by byl stolek pokryt materiálem inspirovaným povrchem křídel cikád, který vykazuje 70% účinnost v hubení bakterií. Uveď postup řešení.

Celkové množství objevených bakterií.....2100

Účinnost v hubení bakterií70 % (30 % bakterií zůstane, 70 % se zahubí)

↑ 100 % 2100 bakterií ↑
↑ 30 %x bakterií ↑

$$\frac{x}{2100} = \frac{30}{100}$$

$$x = \frac{30}{100} * 2100$$

$$x = \frac{63000}{100}$$

$$x = 630$$

Odpověď: Na totožné ploše plastového stolku by se našlo 630 bakterií.

Žáci nemuseli postupovat stejným způsobem jako zde ve vzorovém řešení. Žákům byl uznán i stručnější či zcela jiný postup řešení (např. přes jedno procento). Bylo ale nutné, aby se z daného řešení daly vyčíst jednotlivé kroky a myšlenkové pochody, kterými se žák dobral k výsledku.

Charakteristika úlohy 3.3

Typ úlohy: otevřená úloha se širokou odpovědí

Taxonomie dle Maňáka a Švece (2003): úloha vyžadující jednoduché myšlenkové operace s poznatky

Rozvíjené oblasti přírodovědné gramotnosti: porozumění informacím z textu a jejich interpretace, schopnost využívat mezioborové přesahy (matematické prostředky, poznatky z jiných oborů, průřezových témat i běžného života)

Způsob hodnocení úlohy 3.3

Kód 2: úplná odpověď (tj. uvedení správného postupu řešení i správného výsledku)

Kód 1: částečná odpověď (tj. uvedení pouze správného postupu řešení s chybným výsledkem či uvedení pouze správného výsledku bez postupu řešení)

Kód 0: chybná odpověď (tj. uvedení špatného postupu řešení bez výsledku či uvedení špatného výsledku bez postupu řešení či uvedení špatného postupu řešení i špatného výsledku)

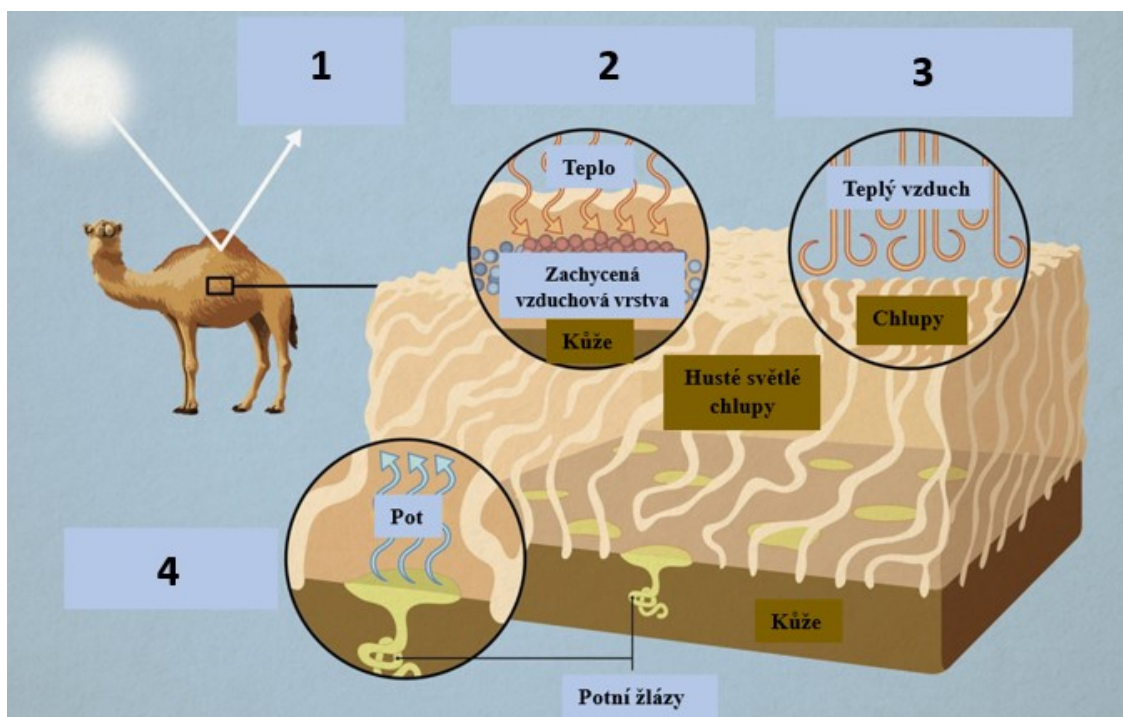
Kód 9: chybějící odpověď (tj. absence jakékoliv odpovědi)

8.1.4 Sada č. 4 – velbloud

4. IZOLAČNÍ SYSTÉMY INSPIROVANÉ VELBLOUDEM

Velbloud jednohrbý žijící na Saharě se během evoluce skvěle přizpůsobil nepříznivým podmínkám vyprahlé pouště. Velbloudi dokážou být aktivní i při vysokých teplotách a zároveň spotřebovávají minimální množství vody. Jak se velbloudi chrání před vysokými teplotami? Principem je účinná izolace a zabránění přístupu tepla z okolí. Mechanismus řízení teploty velblouda se stal inspirací pro izolační systémy využívané od technologií až po textilní průmysl.

4.1 Na schématu jsou znázorněny čtyři principy (1-4), kterými velbloud reguluje svoji tělesnou teplotu. Spoj čarou čísla (1-4) označující daný princip se správným popisem tohoto principu (a-f). (Pozn.: Každý princip a každý popis lze použít pouze jednou. Dva popisy v nabídce (a-f) nebudou využity.)



1	a) Světlá barva srsti odráží teplo ze slunečního světla
2	b) Řídká srst brání proniknutí teplého vzduchu ke kůži
3	c) Tmavá barva srsti odráží teplo ze slunečního světla
4	d) Zachycený vzduch izoluje kůži od okolního tepla
	e) Odpařování potu chladí kůži
	f) Hustá srst brání proniknutí teplého vzduchu ke kůži

Charakteristika úlohy 4.1

Typ úlohy: uzavřená úloha přiřazovací

Taxonomie dle Maňáka a Švece (2003): úlohy vyžadující jednoduché myšlenkové operace

Rozvíjené oblasti přírodovědné gramotnosti: orientace v různých způsobech vyjádření a záznamů používaných v přírodních vědách (např. v podobě tabulek, schémat, grafů, mikroskopických obrázků...), vyvozování závěrů na základě analýzy údajů a dat, schopnost využívat mezioborové přesahy (matematické prostředky, poznatky z jiných oborů, průřezových témat i běžného života)

Způsob hodnocení úlohy 4.1

Kód 2: úplná odpověď (tj. správné přiřazení popisů ke všem čtyřem odpovídajícím principům, tzn. vytvoření všech čtyř správných dvojic)

Kód 1: částečná odpověď (tj. správné přiřazení popisů ke třem odpovídajícím principům, tzn. vytvoření tří správných dvojic)

Kód 0: chybná odpověď (tj. správné přiřazení popisů ke dvěma odpovídajícím principům, tzn. vytvoření dvou správných dvojic či správné přiřazení popisu k jednomu odpovídajícímu principu, tzn. vytvoření jedné správné dvojice či žádné správné přiřazení popisu k odpovídajícím principům, tzn. nevytvoření žádné správné dvojice)

Kód 9: chybějící odpověď (tj. absence jakékoliv odpovědi)

Úvodní text a tabulka k úlohám 4.2 a 4.3

Noci jsou v pouštích velmi chladné. Velbloud během noci nasává nosními průduchy chladný vzduch a díky tomu se nosní struktury ochlazují. Vzduch se v těle velblouda zahřeje na jeho tělesnou teplotu a plně se nasytí vodou. Při výdechu teplý vzduch prochází chladnými nosními strukturami. Tím se vzduch obsahující vodní páru ochladí, což vede k jejímu zkapalnění a vzniká voda. Velbloud dokáže vzniklou vodu absorbovat (tj. vstřebat) zpět do těla.

V následující tabulce jsou uvedeny hodnoty absolutní vlhkosti vzduchu při dané teplotě za atmosférického tlaku. Absolutní vlhkost vzduchu udává maximální obsah vodní páry ve vzduchu (tj. maximálně kolik vodní páry je v daném množství vzduchu).

Teplota vzduchu [°C]	Absolutní vlhkost vzduchu [g m ⁻³]
0	4,8
5	6,8
10	9,4
15	12,8
20	17,3

25	23
30	30,4
35	39,6
40	51,1

4.2. Rozhodni o každém z následujících tvrzení, zda je vzhledem k informacím v tabulce pravdivé (ANO), či nepravdivé (NE).

a) Absolutní vlhkost vzduchu uvádí, maximálně kolik gramů vodní páry je v jednom krychlovém metru vzduchu za konkrétní teploty.

ANO

b) Se vzrůstající teplotou vzduchu roste obsah vodní páry ve vzduchu.

ANO

c) V 1 m³ absolutně vlhkého vzduchu o teplotě 25 °C je přesně o 16,3 g méně vodní páry než v 1 m³ absolutně vlhkého vzduchu o teplotě 35 °C.

NE

(Dle údajů v tabulce je v 1 m³ absolutně vlhkého vzduchu o teplotě 25 °C 23 g vodní páry a v totožném objemu absolutně vlhkého vzduchu o teplotě 35 °C je 39,6 g vodní páry. Rozdíl hodnot 39,6 a 23 činí 16,6. Přesný rozdíl je tedy 16,6 g.)

Charakteristika úlohy 4.2

Typ úlohy: uzavřená úloha dichotomická

Taxonomie dle Maňáka a Švece (2003): úloha vyžadující jednoduché myšlenkové operace s poznatky

Rozvíjené oblasti přírodovědné gramotnosti: porozumění informacím z textu a jejich interpretace, orientace v různých způsobech vyjádření a záznamů používaných v přírodních vědách (např. v podobě tabulek, schémat, grafů, mikroskopických obrázků...), vyvozování závěrů na základě analýzy údajů a dat, schopnost využívat mezioborové přesahy (matematické prostředky, poznatky z jiných oborů, průřezových témat i běžného života)

Způsob hodnocení úlohy 4.2

Kód 2: úplná odpověď (tj. uvedení správného rozhodnutí ohledně pravdivosti výroků u všech tří výroků)

Kód 1: částečná odpověď (tj. uvedení správného rozhodnutí ohledně pravdivosti výroků u dvou výroků, tzn. odpověď u třetího výroku je chybná či zcela chybí)

Kód 0: chybná odpověď (tj. uvedení správného rozhodnutí ohledně pravdivosti výroků pouze u jednoho výroku, tzn. odpovědi u ostatních výroků jsou chybné či zcela chybí)

Kód 9: chybějící odpověď (tj. absence jakékoliv odpovědi)

4.3 Vypočítej, jaký maximální objem vody [v ml] lze získat z 5 m³ absolutně vlhkého vzduchu při teplotě 25 °C. Hustota vody je 1 g cm⁻³. Uveď postup řešení. (Pozn.: Předpokládej, že vzduch je maximálně nasycen vodní parou.)

Absolutní vlhkost vzduchu při 25 °C = 23 g/m³

Z 1 m³ lze získat 23 g vody.

↑ 1 m ³	23 g vody ↑
↑ 5 m ³	x g vody ↑

$$\frac{x}{23} = \frac{5}{1}$$

$$x = \frac{5}{1} * 23$$

$$x = \frac{115}{1}$$

$$x = 115 \text{ g}$$

1 g vody = 1 ml, tedy 115 g vody = 115 ml vody

Odpověď: Z 5 m³ absolutně vlhkého vzduchu lze získat až **115 ml vody**.

Žáci nemuseli postupovat stejným způsobem jako zde ve vzorovém řešení. Žákům byl uznán i stručnější či zcela jiný postup řešení. Bylo ale nutné, aby se z daného postupu daly vyčíst jednotlivé kroky a myšlenkové pochody, kterými se žák dobral k výsledku.

Charakteristika úlohy 4.3

Typ úlohy: otevřená úloha se širokou odpovědí

Taxonomie dle Maňáka a Švece (2003): úloha vyžadující jednoduché myšlenkové operace s poznatky

Rozvíjené oblasti přírodovědné gramotnosti: porozumění informacím z textu a jejich interpretace, schopnost využívat mezioborové přesahy (matematické prostředky, poznatky z jiných oborů, průřezových témat i běžného života)

Způsob hodnocení úlohy 4.3

Kód 2: úplná odpověď (tj. uvedení správného postupu řešení i správného výsledku)

Kód 1: částečná odpověď (tj. uvedení pouze správného postupu řešení s chybným výsledkem či uvedení pouze správného výsledku bez postupu řešení)

Kód 0: chybná odpověď (tj. uvedení špatného postupu řešení bez výsledku či uvedení špatného výsledku bez postupu řešení či uvedení špatného postupu řešení i špatného výsledku)

Kód 9: chybějící odpověď (tj. absence jakékoliv odpovědi)

9 Vyhodnocování výsledků pilotáže

K nalezení odpovědí na výzkumné otázky bylo nutné odpovědi žáků na učební úlohy i na položky v dotaznících zanalyzovat a vyhodnotit. Veškerá papírově získaná data od respondentů byla vložena do počítačového programu Microsoft Excel 2016. Následně byla data v tomto programu elektronicky zpracovávána.

Odpovědi z pilotáže byly vyhodnocovány nezávisle na pohlaví žáků, a to ze dvou důvodů. Prvním důvodem bylo nedostatečné množství respondentů ke generalizaci výsledků v závislosti na pohlaví. Druhým důvodem byla skutečnost, že někteří respondenti se rozhodli neuvádět pohlaví, z čehož vyplývá, že by při statistickém zpracování nemohla být jejich data započítána a snížil by se výzkumný vzorek.

9.1.1 Obecný postup vyhodnocování výsledků

Počátečním krokem při zpracovávání výsledků žáků bylo stanovení kritérií a strategie hodnocení. Nejprve byly vyhodnoceny odpovědi žáků na jednotlivé úlohy v rámci sad úloh dle autorského řešení (viz **kapitola 8.1.1–8.1.4**) a dle postupu uvedeného v **kapitole 9.1.2**. Poté bylo možné stanovit úspěšnost žáků v jednotlivých sadách úloh (způsob hodnocení viz **kapitola 9.1.2**). Převedení získaných kódů na bodové hodnoty (viz **kapitola 9.1.2**) bylo využito k výpočtu úspěšnosti žáků v dané úloze P_i dle **rovnice (3)**. Na základě získaných výsledků byl proveden rozbor možných příčin nízké či vysoké úspěšnosti ve vybraných (tzn. hodnotou úspěšnosti vymykajících se) úlohách (viz **kapitola 10.2**). Po vyhodnocení učebních úloh jako takových bylo přistoupeno k vyhodnocování dotazníků. Odpovědi žáků z dotazníkových šetření byly zaznamenány, zanalyzovány a následně převedeny do podoby grafů v programu Microsoft Excel 2016.

V rámci vyhodnocování žákovských odpovědí z pilotního ověření byly využity kvantitativní i kvalitativní metody výzkumu. Kvantitativní postupy byly použity při vyhodnocování odpovědí žáků na jednotlivé úlohy, při stanovování úspěšnosti žáků v rámci jednotlivých sad, při výpočtu úspěšnosti žáků v rámci jednotlivých úloh a při zpracování odpovědí z dotazníkového šetření (konkrétní způsob hodnocení viz **kapitola 9.1.2**). Byly využity statistické metody zpracování dat, konkr. aritmetický průměr, relativní četnost a úspěšnost. Kvalitativních postupů (konkr. metody induktivní analýzy písemných dat získaných od respondentů) bylo využito při rozboru a komentování zjištěných výsledků (např. při analýze a popisu možných příčin úspěšnosti či neúspěšnosti žáků ve vybraných úlohách, dále při popisu vhodnosti či nevhodnosti zařazení určitých sad úloh do výuky na základě úspěšnosti žáků

v těchto sadách či během rozboru písemných komentářů a připomínek respondentů v rámci dotazníku) (viz kapitoly 10.1, 10.2, 10.4). Při kvalitativním zpracování získaných dat byla provedena detailní analýza odpovědí, poté jejich zobecnění a následné vztažení k již známým (tzn. publikovaným) výsledkům od vybraných autorů.

9.1.2 Konkrétní způsoby vyhodnocování výsledků

V této kapitole je popsána vytvořená strategie k vyhodnocování jednotlivých učebních úloh, celých sad a dotazníků.

Způsob hodnocení jednotlivých úloh

Vzhledem k tomu, že vytvořené úlohy neměly zcela jednotnou strukturu a byly svým zadáním i způsobem řešení odlišné, bylo potřeba vytvořit univerzální způsob hodnocení úloh. Inspirace byla nalezena v kódovém způsobu vyhodnocování testových úloh v šetření PISA (viz kapitola 6.4.3). Odpovědi žáků u jednotlivých úloh byly označeny jako úplné, částečné, chybné či chybějící. Jednotlivým variantám možných odpovědí byl přidělen kód (viz Tabulka 2). Úplnou odpovědí bylo označeno takové řešení, které neobsahovalo žádnou chybu a bylo kompletní. Částečná odpověď označovala řešení, ve kterém se žák dopustil některých chyb, ale alespoň polovina zadání byla vyřešena správně. V případě, že se žák pokusil vyřešit úlohu, ale jeho odpověď nebyla správná, nebo bylo z odpovědi zřejmé, že žák neporozuměl zadání úlohy, byla odpověď označena jako chybná. Pokud se žák o odpověď ani nepokusil, bylo řešení označeno jako chybějící. Hodnota kódů odpovědí byla shodná pro všechny úlohy, tzn. že úplná odpověď byla vždy označena kódem 2.

Tabulka 2: Kódové označení pro jednotlivé varianty žakovských odpovědí

Varianta odpovědi	Kód odpovědi
Úplná odpověď	Kód 2
Částečná odpověď	Kód 1
Chybná odpověď	Kód 0
Chybějící odpověď	Kód 9

Způsob hodnocení pro jednotlivé úlohy je podrobněji uveden v kapitolách 8.1.1–8.1.4. Kvantitativní shrnutí žakovských odpovědí včetně úspěšnosti žáků v jednotlivých úlohách jsou uvedeny v Tabulce 6. Úspěšnost žáků v dané úloze byla vypočtena dle vztahu z rovnice (3).

Způsob hodnocení sad úloh

K vyhodnocení úspěšnosti žáků v jednotlivých sadách úloh bylo zapotřebí vytvořit vhodný systém hodnocení. Žákům byl za každou jednotlivou úlohu přidělen kód dle kvality jejich odpovědi (viz Tabulka 2). Aby bylo možné vyhodnotit úspěšnost žáků v celé sadě úloh, byla

jednotlivým kódům sloužícím k hodnocení odpovědí přiřazena konkrétní bodová hodnota (viz **Tabulka 3**).

Tabulka 3: Příslušné bodové hodnoty jednotlivých kódů odpovědí

Kód odpovědi	Bodová hodnota
Kód 2	2
Kód 1	1
Kód 0	0
Kód 9	0

Všechny vytvořené sady úloh se skládaly ze tří úloh. V rámci jedné sady byly žákům přiděleny tři kódy za jejich odpovědi. Těmto kódům byla přiřazena příslušná bodová hodnota (viz **Tabulka 3**). Maximální počet bodů, které žák mohl získat za celou sadu úloh, byl šest. Naopak nejnižším bodovým ziskem za celou sadu úloh byla nula. Žáci byli dle svého bodového zisku rozděleni do čtyř kategorií úspěšnosti – plně úspěšní, částečně úspěšní, neúspěšní a zcela neúspěšní (viz **Tabulka 4**).

Tabulka 4: Příslušné kombinace kódů a bodové hodnocení určující úspěšnost žáka v jednotlivých sadách úloh

Úspěšnost žáka	Varianty kombinací kódů	Bodové hodnocení
Plně úspěšný	2-2-2	6
Částečně úspěšný	2-2-1, 2-2-0, 2-2-9, 2-1-1, 2-1-0, 2-1-9, 1-1-1, 1-1-0, 1-1-9	3–5
Neúspěšný	2-0-0, 2-0-9, 2-9-9, 1-0-0, 1-0-9, 1-9-9	1–2
Zcela neúspěšný	0-0-0, 0-0-9, 0-9-9, 9-9-9	0

Výsledky úspěšnosti žáků v jednotlivých sadách úloh a jejich vzájemné porovnání je uvedeno v **kapitole 10.1**.

Způsob vyhodnocování dotazníků

Odpovědi žáků z dotazníkového šetření byly přepsány do Microsoft Excelu 2016. Následně bylo zjištěno početní zastoupení odpovědí žáků v jednotlivých kategoriích. Kvantitativní způsob zpracování výsledků byl následně doplněn o komentáře dovysvětlující či shrnující hlavní zjištění.

10 Výsledky pilotáže úloh a diskuse

V této kapitole je uveden rozbor vytvořených sad komplexních učebních úloh. Analýza byla provedena na úrovni celých sad (viz **kapitola 10.1**) i na úrovni jednotlivých učebních úloh (viz **kapitola 10.2**). Konkrétní příklady žákovských řešení jednotlivých úloh jsou uvedeny v **Příloze 6**. Po vypracování učebních úloh se žáci prostřednictvím dotazníku vyjadřovali k vytvořeným sadám úloh. Analýza tohoto žákovského hodnocení je uvedena v **kapitole 10.3** a **10.4**.

Vzhledem k potřebě zadávání názvů jednotlivých sad úloh do grafů bylo přistoupeno ke zkrácení názvů jednotlivých sad úloh (viz **Tabulka 5**).

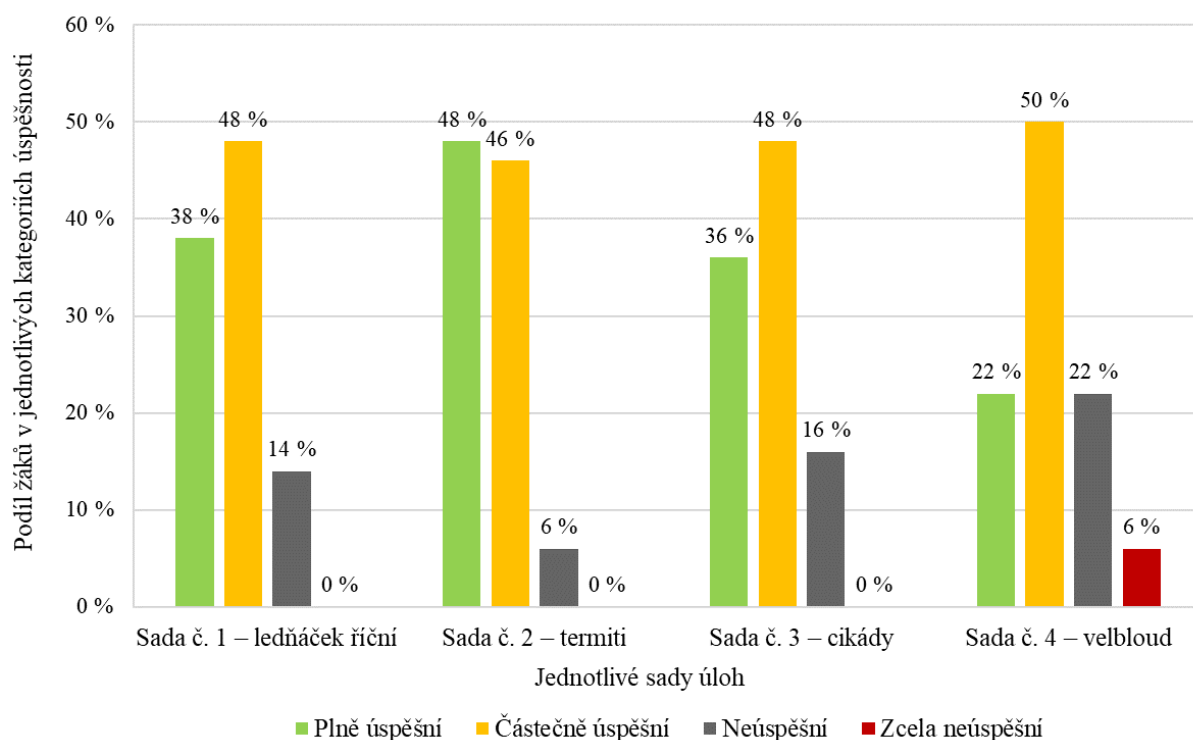
Tabulka 5: Zkrácení názvů jednotlivých sad úloh

Původní názvy sad úloh	Zkrácené názvy sad úloh
Rychlovlak Shinkansen inspirovaný ledňáčkem říčním	Sada č. 1 – ledňáček říční
Obchodní centrum inspirované termitištěm	Sada č. 2 – termiti
Antibakteriální povrchy inspirované křídly cikád	Sada č. 3 – cikády
Izolační systémy inspirované velbloudem	Sada č. 4 – velbloud

10.1 Úspěšnost žáků v jednotlivých sadách úloh

Úspěšnost žáků v řešení jednotlivých sad úloh je znázorněna v **Grafu 1**. V tomto grafu je uvedeno procentuální zastoupení žáků v jednotlivých kategoriích pro každou sadu vytvořených úloh.

Zastoupení žáků v jednotlivých kategoriích úspěšnosti v rámci všech sad úloh



Graf 1: Porovnání procentuálního zastoupení žáků v jednotlivých kategoriích úspěšnosti mezi všemi sadami úloh. Nejvyšší úspěšnosti žáci dosáhli při řešení druhé sady úloh zabývající se termity. 94 % řešitelů bylo plně a částečně úspěšných. Pouze v této sadě úloh počet plně úspěšných žáků převýšil všechny zbývající kategorie úspěšnosti žáků. Neúspěšných žáků bylo v rámci této sady nejméně ze všech řešených sad. Žádný žák nebyl zcela neúspěšný. Lze tedy konstatovat, že tato vytvořená sada úloh žákům nečinila výrazné obtíže při jejím řešení. Z tohoto důvodu by bylo vhodné při zavádění komplexních učebních úloh tohoto typu začít právě se sadou úloh č. 2. Vzhledem k úspěšnosti žáků v této sadě je sada č. 2 pro prvotní seznámení žáků s takovými typy úloh ideální.

Čtvrtou sadu úloh lze na základě výsledků úspěšnosti žáků prohlásit za nejnáročnější. 72 % žáků bylo plně či částečně úspěšnými řešiteli. Zajímavým zjištěním je, že v rámci této sady učebních úloh byl počet žáků plně úspěšných roven počtu žáků neúspěšných. Ze všech sad úloh bylo nejvíce neúspěšných řešitelů právě ve čtvrté sadě úloh, a to konkrétně 22 %. Pouze ve čtvrté sadě úloh lze pozorovat zastoupení žáků také v kategorii zcela neúspěšných žáků, což dokazuje zvýšenou obtížnost této sady pro žáky. Čtvrtá sada tedy není vhodná k aplikaci ve výuce na samém počátku zavádění podobných typů úloh do výukového procesu. Tuto sadu by bylo vhodné zařadit do výuky až po dostatečném seznámení žáků s těmito typy úloh pomocí jednodušších sad, např. pomocí sady č. 2.

Úspěšnost žáků v sadě č. 1 a v sadě č. 3 byla srovnatelná. Procentuální součet žáků plně a částečně úspěšných se pohyboval v obou sadách úloh kolem 85 %. V těchto sadách byla přibližně jedna šestina žáků neúspěšných. Žádný žák nebyl zcela neúspěšný. Výsledky dosažené úspěšnosti žáků potvrzují nižší obtížnost úloh pro žáky, čímž se tyto sady úloh stávají vhodnými k zařazení do výuky v rámci počáteční fáze zavádění podobných typů úloh do výuky. Detailnější analýza výsledků jednotlivých úloh je uvedena v **kapitole 10.2**.

10.2 Úspěšnost žáků v jednotlivých úlohách

Výpočet úspěšnosti žáků v úloze P_i byl proveden dle **rovnice (3)** uvedené v **kapitole 6.2.4**. Aby bylo možné dosadit konkrétní číselné hodnoty do tohoto vzorce, byly získané kódy žáků převedeny na body dle pravidel v **Tabulce 3**.

Tabulka 6: Kompletní souhrn absolutních četností žakovských odpovědí a úspěšnosti žáků v jednotlivých úlohách

Úlohy	Početní zastoupení jednotlivých kódů odpovědí žáků				Procentuální úspěšnost žáků
	Kód 2	Kód 1	Kód 0	Kód 9	
Úloha 1.1	33	13	4	0	79 %
Úloha 1.2	36	5	8	1	77 %
Úloha 1.3	31	12	7	0	74 %
Úloha 2.1	32	0	18	0	64 %
Úloha 2.2	43	4	2	1	90 %
Úloha 2.3	38	8	4	0	84 %
Úloha 3.1	36	13	1	0	85 %
Úloha 3.2	33	0	16	1	66 %
Úloha 3.3	31	4	9	6	66 %
Úloha 4.1	31	6	13	0	68 %
Úloha 4.2	35	8	7	0	78 %
Úloha 4.3	17	5	15	13	39 %

V **Tabulce 6** jsou uvedeny procentuální úspěšnosti žáků v jednotlivých učebních úlohách. Jednotlivé učební úlohy nebylo vhodné v plné míře porovnávat mezi sebou, protože všechny úlohy nebyly stejně charakterizovány a klasifikovány. Dle výsledků úspěšností žáků v jednotlivých úlohách lze identifikovat takové úlohy, které se svojí hodnotou úspěšnosti vymykají hodnotám úspěšností v ostatních úlohách.

Žáci dosáhli nejvyšší úspěšnosti v úloze 2.2. V této úloze bylo nejvíce žáků, kteří uvedli úplnou odpověď. Nadměrně vysoká dosažená hodnota procentuální úspěšnosti žáků v této úloze může být způsobena poměrně klasicky formulovaným zadáním matematické učební úlohy. Ačkoliv žáci řešili úlohu v novém kontextu, postup řešení úlohy byl ryze matematický a nebylo třeba výrazné propojování s jinými předměty. Dalším faktorem dosažené vysoké úspěšnosti žáků

v úloze 2.2 může být skutečnost, že k vyřešení této výpočetní úlohy žákům stačilo méně kroků v porovnání s ostatními výpočetními úlohami (tj. s úlohami 1.1, 3.3 a 4.3). Johnstone (2010) tvrdí, že vyšší počet myšlenkových operací zvyšuje náročnost úlohy. Žáci v této úloze nemuseli vyhledávat žádné informace navíc (tzn. měli je uvedené v krátkém textu v zadání) a k vyřešení jim stačilo nižší množství myšlenkových kroků.

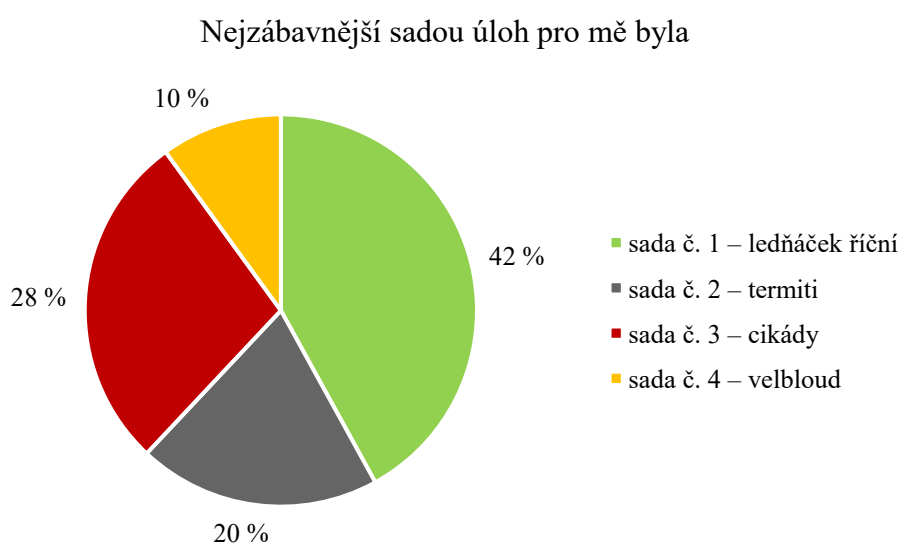
Nejnižší úspěšnosti žáci dosáhli v poslední učební úloze čtvrté sady úloh (tzn. v úloze 4.3). Dosažená hodnota úspěšnosti žáků byla pouhých 0,39. Nízká úspěšnost žáků v této úloze vypovídala o tom, že úloha byla pro žáky příliš obtížná. Toto tvrzení bylo potvrzeno skutečností, že úlohu 4.3 se vůbec nepokusilo vyplnit 26 % respondentů. Stejně tak lze uvést, že v porovnání s ostatními úlohami bylo v této učební úloze nejméně žáků, kteří uvedli úplnou odpověď. Tato úloha výpočetního charakteru byla pro žáky nadměrně obtížná pravděpodobně z toho důvodu, že byla silně interdisciplinárně laděna a k jejímu vyřešení bylo nutné udělat více kroků. Aby žák mohl vyřešit danou úlohu, bylo zapotřebí brát v potaz nejen počet pojmů v pracovní paměti, ale také počet myšlenkových operací, které žák musel udělat, aby úlohu vyřešil. Větší počet jednotlivých kroků při řešení úlohy mohl vést k přetížení žáků z hlediska kognice (Johnstone, 2010). V dosažené nízké úspěšnosti žáků mohla svoji roli sehrát také pozice úlohy v rámci celé pilotáže. Tato úloha byla úplně poslední úlohou testování. Lidská pozornost se na počátku provozované aktivity zvyšuje, ale poté začne postupně klesat. Po 30 minutách učení pozornost klesá o 40 % a po 45 minutách je pozornost dokonce o 60 % nižší než na počátku (Lingo, 2024). Další příčiny neúspěšnosti žáků v této úloze a návrhy řešení jsou detailněji rozebrány v **kapitole 11**.

Nejvíce žáků, kteří se neúspěšně pokusili odpovědět na učební úlohu, bylo v úloze 2.1, a to 36 %. Toto vysoké procentuální zastoupení žáků v dané kategorii bylo třeba okomentovat a zdůvodnit. V rámci této učební úlohy žáci kroužkovali jednu správnou variantu ze čtyř nabízených možností. Vzhledem k typu úlohy bylo možné odpovědět pouze úplně, chybně či vůbec neodpovědět, z čehož vyplývá, že respondenti nemohli obdržet kód 1 (tzn. částečnou odpověď). Žáci v této úloze získali v přepočtu na body buď plný počet bodů (tzn. 2 body), nebo žádný (tzn. 0 bodů). Vzhledem k absenci varianty částečné odpovědi nebyla úspěšnost této úlohy vhodná k porovnávání s hodnotami úspěšnosti ostatních úloh. Bylo možné těmito skutečnostmi vysvětlit, proč úspěšnost žáků v řešení této úlohy dosahovala nižších hodnot.

Jeřábek a Bílek (2010) uvádí, že čím je hodnota úspěšnosti vyšší, tím více daná úloha působí spíše jako motivační prvek výuky. Dle dosažených hodnot úspěšností žáků v jednotlivých úlohách (s výjimkou hodnoty úspěšnosti v úloze 4.3) lze konstatovat, že vytvořené úlohy nebyly pro žáky výrazně obtížné a vykazovaly motivační potenciál.

10.3 Výsledky žakovského hodnocení zábavnosti a obtížnosti sad úloh

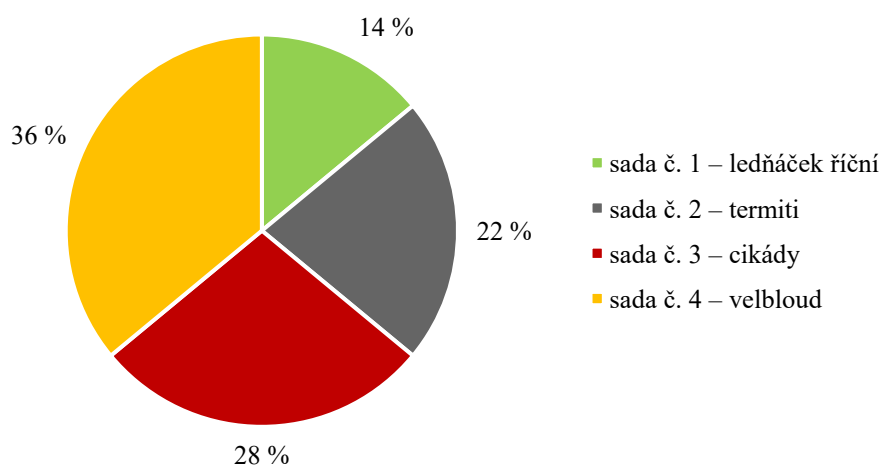
Po vypracování všech sad úloh měli žáci prostor pro vyjádření se k zábavnosti a obtížnosti jednotlivých sad. Nejzábavnější sadou úloh (viz **Graf 2**) byla dle téměř poloviny žáků sada č. 1, která se zabývala ledňáčkem říčním. Druhou pro žáky nejzábavnější sadou úloh byla sada č. 3 týkající se cikád.



Graf 2: Žakovské hodnocení nejzábavnější sady úloh

Naopak nejméně zábavnou sadou úloh (viz **Graf 3**) byla dle žáků sada č. 4, která se zabývala velbloudem. Jako druhou nejméně zábavnou sadu úloh žáci označili sadu č. 3 – cikády, která byla žáky zároveň zvolena jako druhá nejzábavnější sada úloh (viz **Graf 2**). V oblasti zábavnosti tudíž nelze sadu č. 3 zcela jasně klasifikovat.

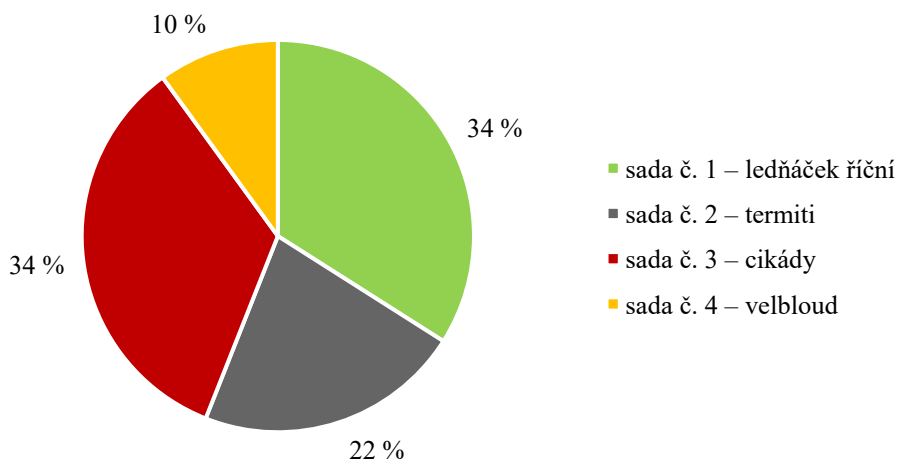
Nejméně zábavnou sadou úloh pro mě byla



Graf 3: Žákovské hodnocení nejméně zábavné sady úloh

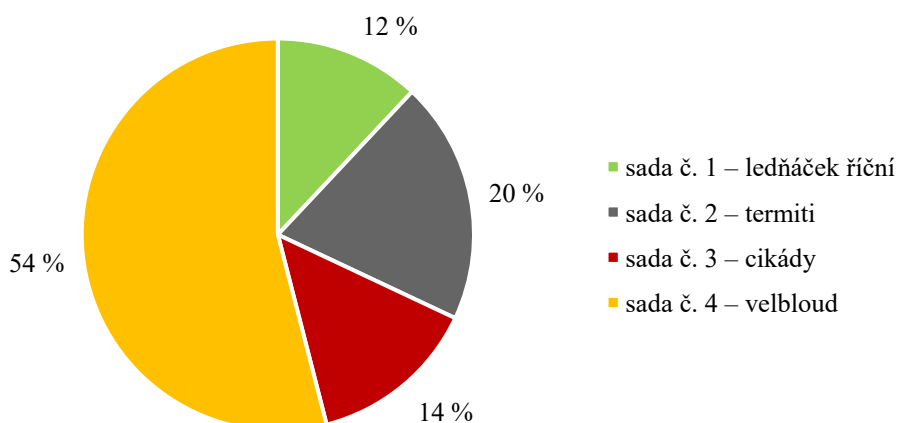
Nejsnadnějšími sadami úloh (viz **Graf 4**) byly dle žáků sada č. 1 – ledňáček říční a sada č. 3 – cikády. 68 % žáků rozdělilo rovnoměrně své hlasy mezi tyto dvě sady úloh.

Nejsnadnější sadou úloh pro mě byla



Graf 4: Žákovské hodnocení nejsnadnější sady úloh

Nejobtížnější sadou úloh pro mě byla



Graf 5: Žákovské hodnocení nejobtížnější sady úloh

Z **Grafu 5** je zřejmé, že více než polovina žáků vnímala jako nejobtížnější sadu úloh sadu č. 4 – velblouda. Jako druhou nejobtížnější sadu úloh žáci označili sadu č. 2 – termity.

10.3.1 Shrnutí hlavních zjištění

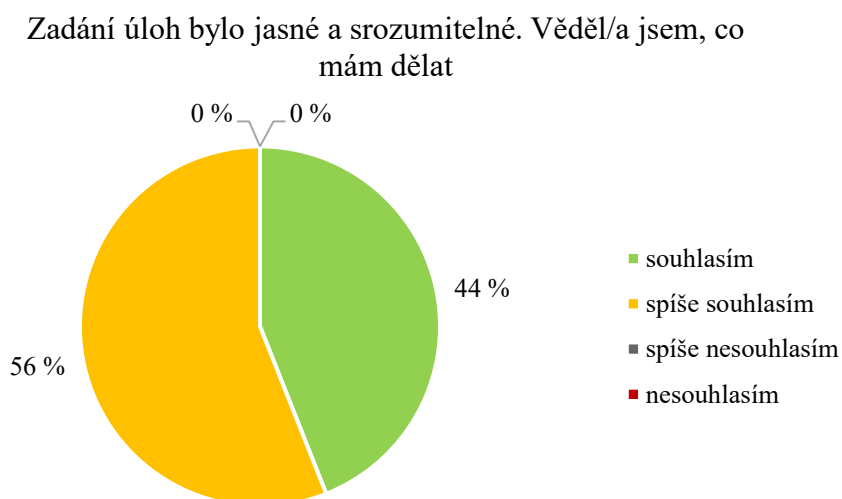
Dle výsledků uvedených v **Grafu 2** a **Grafu 4** je zřejmé, že žáci zvolili pro ně nejsnadnější sady úloh jako nejvíce zábavné. Nejsnadnější a nejvíce zábavnou sadou úloh byla dle žáků sada č. 1 – ledňáček říční. Vzhledem k žakovskému vnímání a hodnocení této sady úloh by bylo vhodné touto sadou úloh ve výuce případně začít. Tato sada má v porovnání s ostatními největší motivační potenciál a mohla by v žácích probudit touhu po dalším poznání.

Naopak jako nejméně zábavné sady žáci označili takové sady úloh, které jim připadaly obtížné (viz **Graf 3** a **Graf 5**). Nejobtížnější a nejméně zábavnou sadou úloh byla pro žáky jednoznačně sada č. 4 – velbloud. Tato sada úloh není vhodná jako úvodní sada úloh k zavedení problematiky biomimetiky do výuky. Vzhledem ke zvýšené vnímané obtížnosti této sady by bylo nejlepším řešením dát žákům úlohu k vypracování až po jejich předchozí zkušenosti se snadnějšími sadami úloh. Dle Jeřábka a Bílka (2010) a Schindlera (2006) je obtížnost úloh jedním z aspektů, který ovlivňuje motivaci žáků k učení. Pokud žák vnímá úlohu jako příliš obtížnou, nebudou jeho postoje k dané úloze příliš pozitivní a žák bude spíše demotivovaný. Výsledky žakovského hodnocení zábavnosti a obtížnosti úloh jsou tedy v souladu s těmito tvrzeními.

10.4 Výsledky postojového žákovského hodnocení všech úloh

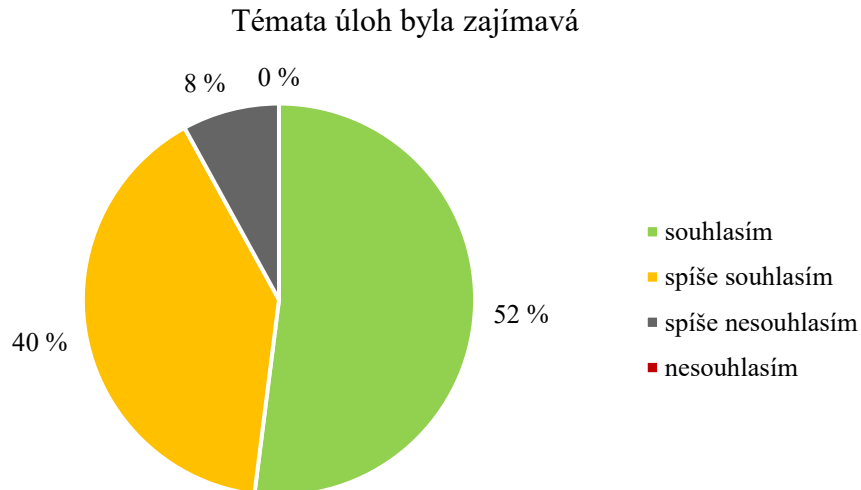
Ihned po vypracování všech sad úloh měli žáci možnost vyjádřit se též ke kvalitě navržených úloh jako celku. Žáci vyjadřovali svoji míru souhlasu s osmi tvrzeními. Žáci vždy volili jednu odpověď ze škály „souhlasím, spíše souhlasím, spíše nesouhlasím a nesouhlasím“ (viz Příloha 3).

Všichni žáci se pozitivně vyjádřili k jasnosti a srozumitelnosti zadání úloh (viz Graf 6). Žáci svým pozitivním hodnocením dali najevo, že věděli, co mají v jednotlivých úlohách dělat. Dle Jeřábka a Bílka (2010) i Schindlera (2006) je jasná formulace zadání jedním z nejdůležitějších aspektů správné úlohy. Dle vyjádření žáků byla tato podmínka v rámci vytvořených úloh dodržena.



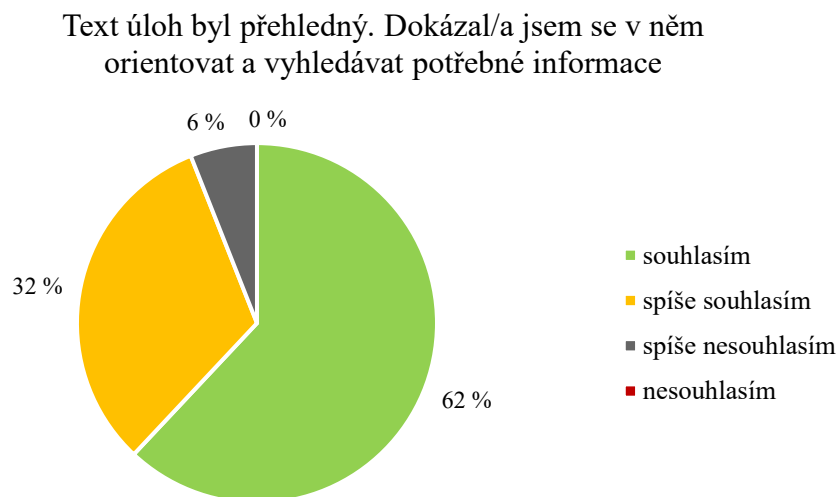
Graf 6: Žákovské hodnocení sad úloh v oblasti jasnosti a srozumitelnosti zadání

92 % dotázaných žáků hodnotilo témata úloh jako zajímavá (viz Graf 7). Pozitivní ohlasy žáků na biomimetická témata podporují myšlenku využití těchto typů úloh jako motivačních prvků výuky. Sjøberg & Schreiner (2010) tvrdí, že vhodně zvolené téma je klíčové k získání pozornosti žáků. Jakmile téma žáky zaujme, žáci jsou více motivovaní k učení. Na základě získaných výsledků lze prohlásit, že vytvořené úlohy mají potenciál podněcovat k učení a probouzet v žácích touhu po dalším poznání.



Graf 7: Žákovské hodnocení sad úloh v oblasti zajímavosti témat

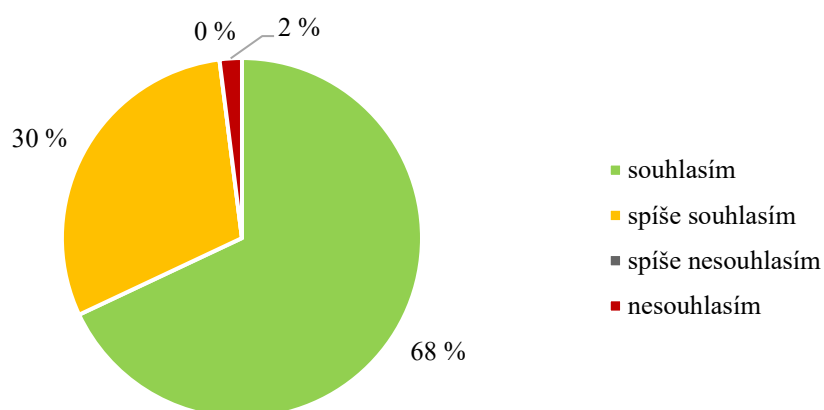
94 % respondentů se pozitivně vyjádřilo k přehlednosti textů v rámci úloh (viz **Graf 8**). Text byl dle žáků dostatečně přehledný. Dle Jeřábka a Bílka (2010) a Schindlera (2006) je dostatečná přehlednost textu velmi důležitým aspektem každé úlohy. Na základě výsledků žákovských odpovědí lze usoudit, že se žákům v textu dobře orientovalo a dokázali v něm vyhledávat potřebné informace k vyřešení daných úloh.



Graf 8: Žákovské hodnocení sad úloh v oblasti přehlednosti textu

Téměř všichni dotázaní žáci se vyjádřili pozitivně k velikosti a přehlednosti použitých mimotextových komponent (viz **Graf 9**). Obrázky, tabulky a schémata byly dle respondentů dostatečně velké a přehledné.

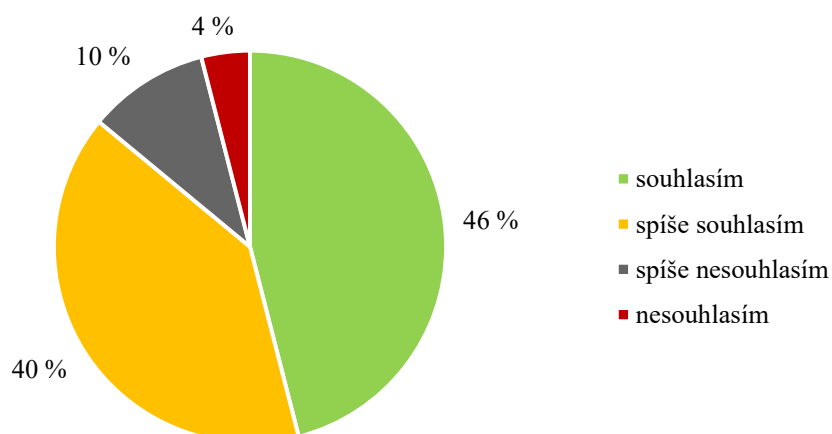
Obrázky, tabulky a schémata byly dostatečně velké a přehledné



Graf 9: Žákovské hodnocení sad úloh v oblasti vhodnosti obrázků, tabulek a schémat

Výsledky hodnocení úloh z hlediska novosti nabývaly významných hodnot (viz **Graf 10**). Celkem 86 % žáků souhlasilo či spíše souhlasilo s tvrzením, že s předloženými typy úloh se ve škole běžně nesetkávají. Tento typ úloh byl žáky vnímán jako nový. Dle Starého (2008) je faktor novosti pro proces učení podstatný, protože může v žácích probudit vyšší zájem o poznávání a zvýšit celkovou motivaci k výuce (např. přírodovědných předmětů).

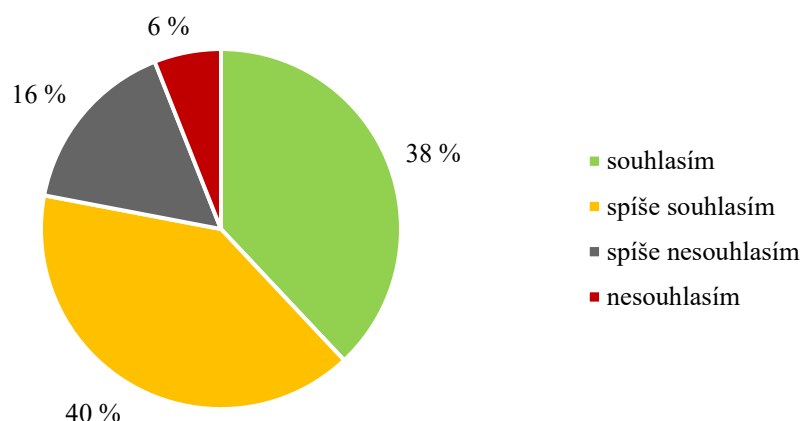
S takovými úlohami se ve škole běžně nesetkávám



Graf 10: Žákovské hodnocení sad úloh v oblasti novosti

78 % dotázaných respondentů uvedlo, že by uvítalo častější zařazování takovýchto typů úloh do běžné výuky (viz **Graf 11**). Vysoké procento žáků, kteří by chtěli pracovat na těchto typech úloh, by mohlo souviset s efektem novosti vytvořených úloh (viz **Graf 10**).

Chtěl/a bych, aby takové typy úloh byly zařazovány do výuky častěji



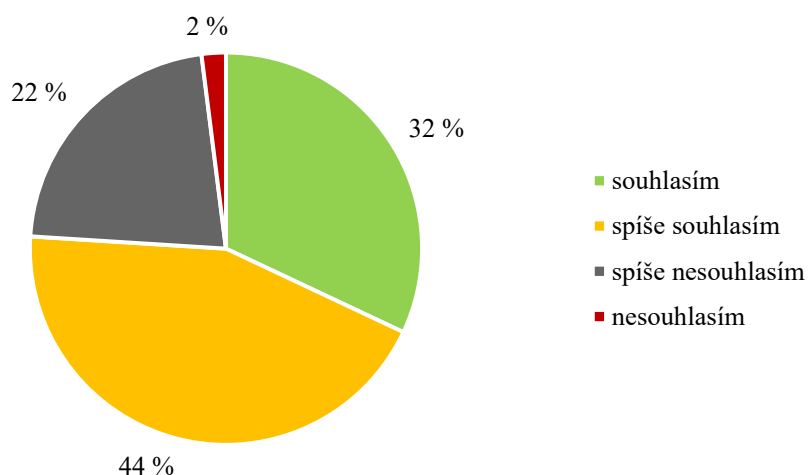
Graf 11: Žákovské hodnocení sad úloh v oblasti zájmu o častější zařazování do výuky

Výrazná většina žáků, konkrétně 76 % žáků, uvedla, že vypracovávání úloh vnímala jako zábavné (viz **Graf 12**). Starý (2008) říká, že zábavnost a vhodně zvolená obtížnost úloh motivuje žáky k učení. Zjištěné výsledky znázorněné v **Grafu 12** a **13** jsou tedy dalším důkazem motivačního potenciálu vytvořených sad úloh.

Zároveň je třeba upozornit na přibližně pětinu žáků, kteří se vyjádřili ohledně zábavnosti úloh spíše negativně. Z výsledků v **Grafu 12** a **Grafu 13** lze vyvodit, že žáci, kteří by nechtěli zařazovat takovéto typy úloh do výuky častěji než doposud, pravděpodobně vyjádřili svůj negativní postoj i k zábavnosti úloh. Tyto postoje mohly být způsobeny tím, že žáci nebyli na dané typy úloh (tzn. na integrované pojetí úloh) zvyklí, a tím pádem jim připadaly obtížnější. Škoda a Doulík (2009) upozorňují na to, že se do přírodovědného vzdělávání v budoucnu nepochybně začlení poznatky i z jiných vědních disciplín (např. nanotechnologie, inženýrství...) a je třeba tyto mezioborové vztahy rozvíjet. Biomimetické téma se k tomuto záměru vzhledem ke svému interdisciplinárnímu charakteru přímo nabízí.

V souvislosti s danými výsledky je samozřejmě potřeba uvažovat i nad tou variantou, že žáci neměli a nemají pozitivní vztah k přírodním vědám a matematice obecně, na což se odkazuje mnoho autorů (např. Bieliková, 2020; Chonkaew et al., 2016 či Speck & Speck, 2021).

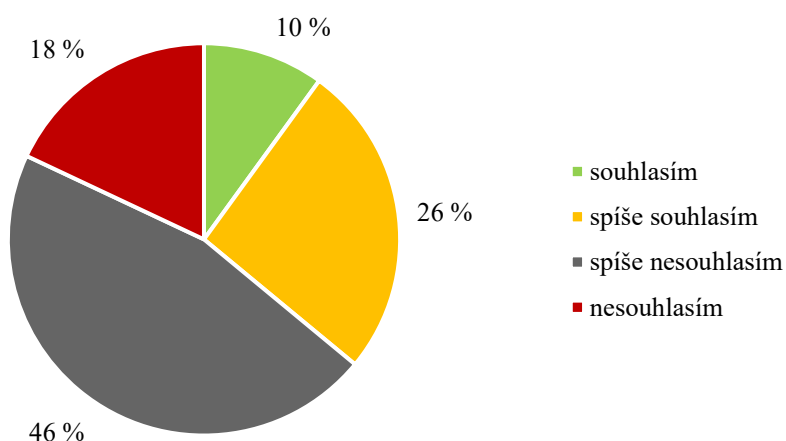
Vypracovávání úloh mě bavilo



Graf 12: Žákovské hodnocení sad úloh v oblasti zábavnosti

36 % dotázaných žáků souhlasilo či spíše souhlasilo s tím, že řešit předložené sady úloh pro ně bylo obtížné (viz **Graf 13**). Zbylým 64 % respondentů úlohy obtížné nepřipadaly či spíše nepřipadaly. Výsledky žákovského hodnocení celkové obtížnosti úloh poukazují na to, že úlohy nebyly vnímány jako příliš snadné, ani příliš obtížné. Dle vyjádření žáků lze prohlásit, žáci vnímali úlohy jako středně obtížné, což zajišťuje vhodnou míru motivace pro žáky. Dle Jeřábka a Bílka (2010) a Schindlera (2006) je vhodná (tzn. střední) obtížnost velmi důležitým aspektem každé úlohy. Pokud by úlohy byly žáky vnímány jako příliš obtížné či příliš snadné, žáci by byli spíše demotivováni.

Řešit tento typ úloh pro mě bylo obtížné



Graf 13: Žákovské hodnocení sad úloh v oblasti obtížnosti

10.4.1 Dobrovolné komentáře žáků k vytvořeným úlohám

Žáci měli možnost v rámci závěrečného dotazníku vyjádřit své další postřehy a připomínky k vytvořeným úlohám. Vyjádřilo se celkem osm žáků. Dva žáci sdělili své připomínky týkající se zadání jedné úlohy. Tato problematika je diskutována v **kapitole 11**.

Jeden žák se prostřednictvím této volné odpovědi vyjádřil následovně: „*Nebyl jsem momentálně schopen vyplnit odpovědi z početních úloh.*“ Další žák uvedl: „*Moc se spojovaly témata jako např. cikády + matika (fyzika).*“ Reakce žáků vypovídaly o tom, že žáci nebyli zvyklí propojovat poznatky z různých věd či školních předmětů. Toto tvrzení je podpořeno výsledky žakovského hodnocení úloh v oblasti novosti (viz **Graf 10**). Vzhledem k narůstající globalizace a potřebě propojovat poznatky z různých vědních disciplín je třeba zapojovat do výuky více interdisciplinárně laděných úloh. Žáci by měli být připraveni prostřednictvím poskytovaného vzdělávání čelit složitým a multidisciplinárním problémům, které v budoucnu jistě nastanou (Moore & Tank, 2014).

Zbývající čtyři odpovědi žáků vyjadřovaly postoje a hodnocení k vytvořeným úlohám jako celku. Žáci se vyjádřili následovně:

„*Celý test byl veliký akorát – nebylo toho málo a ani zároveň moc, abych se začala nudit. Úlohy byly zajímavé a v člancích jsem se toho mnoho dozvěděla.*“

„*Řešení jsem si velice užila a děkuji za něj.*“

„*Tento typ úloh mě velmi bavil. Je to zábavnější než klasické testy, které dostáváme od kantorů. Není to pouze o vědomostech, ale i o rozumu a schopnosti vyhledat si v textu potřebné informace. Úlohy podobného typu bych velmi rád do výuky zavedl.*“ Dle výpovědi žáka je zřejmé, že si žáci uvědomovali rozdíl mezi pouhými vědomostmi a dovednostmi a je pravděpodobné (i dle zjištění v **Grafu 10**), že se s úlohami na rozvoj dovedností příliš často nesetkávají. Pro rozvoj dovedností by bylo vhodné zařazovat do výuky zveřejněné úlohy z šetření PISA či úlohy jimi inspirované. Tento typ úloh nehodnotí jen znalosti, ale hodnotí především to, jak žáci dokážou s poznatky pracovat, zda dávají informace do souvislostí a zda je propojují. Zdá se, že téma biomimetiky je pro rozvoj těchto kompetencí jako stvořené (Speck & Speck, 2021).

Další žákyně se vyjádřila následovně: „*Tento dotazník/test mě bavil. Byly tam nové a zajímavé informace o věcech, na které bych jinak nenarazila. I jsem se dozvěděla o dalším zajímavém vědním oboru, který by mě i bavilo třeba studovat.*“ Černocký et al. (2011) uvádí, že pro zvýšení motivace žáků k učení a ovlivnění jejich vztahu k přírodním a technickým vědám je potřeba,

aby řešili pro ně zajímavé úlohy. Trnová (2012) upozorňuje na to, že je potřeba žákům ve výuce ukázat vztah přírodovědného učiva a běžného života. To umožní žákům pracovat s realistickým a zároveň multidisciplinárním kontextem souvisejícím s aktuálními problémy světa (Moore & Tank, 2014). Příklady témat z běžného života jsou pro žáky silně motivující. Dle výpovědí žáků a výsledků dotazníkového šetření (viz **Graf 7, 11 a 12**) vyplývá, že téma biomimetiky žáky zaujalo a mohlo by sloužit ke zlepšení vztahu k přírodním a technickým vědám a motivovat žáky k jejich případnému studiu.

10.4.2 Shrnutí hlavních zjištění

Žáci se v rámci hodnocení úloh velmi pozitivně vyjadřovali k vhodnosti použitých textových (viz **Graf 6 a 8**) i mimotextových komponent (viz **Graf 9**).

Žáci se dále vyjadřovali k dalším aspektům úloh. Z výsledků hodnocení žakovského vnímání úloh je zřejmé, že žáky vytvořené sady úloh zaujaly. Ze zjištění vyplývá, že by vytvořené sady úloh mohly posloužit učitelům k rozvoji konkrétních žakovských kompetencí, na které je materiál zaměřen (viz **kapitola 7.1.1**) a kterým ve škole pravděpodobně není věnována dostatečná pozornost (vzhledem k výsledkům v **Grafu 10**). Tuto myšlenku podporují nejen výsledky žakovského hodnocení úloh v oblasti novosti v **Grafu 10**, ale také velmi pozitivní výsledky žakovského vnímání zajímavosti biomimetických témat (viz **Graf 7**) a zábavnosti úloh (viz **Graf 12**). Velká část respondentů (viz **Graf 11**) projevila zájem o častější zařazování takovýchto typů úloh do běžné výuky. Dle zjištěných výsledků lze konstatovat, že vytvořená sada úloh má vysoký potenciál pro praktické využití ve výuce a pro žáky je motivační. Toto tvrzení je podpořeno výsledky žakovského vnímání úloh jako méně až středně obtížných (viz **Graf 13**).

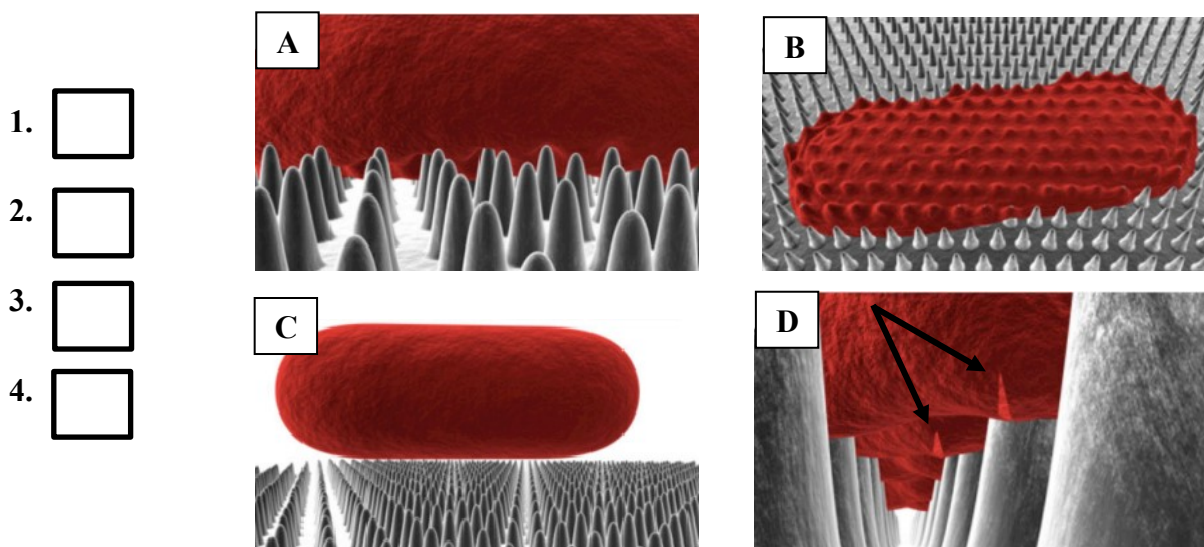
Vytvořená sada komplexních úloh na biomimetické téma byla žáky pozitivně přijata. Zařazení biomimetiky do výuky umožňuje žákům pracovat s realistickým a zároveň multidisciplinárním kontextem souvisejícím s aktuálními problémy světa (Moore & Tank, 2014). Kontext je k získání pozornosti a zájmu žáků klíčový (Sjøberg & Schreiner, 2010). Žáci naznačili, že řešení úloh na biomimetické téma jim rozšířilo obzory o pro ně neznámý a zajímavý obor, o kterém by se rádi dozvěděli více. Tento potenciál, který řešení biomimetických úloh přináší, může vést k projevení zájmu žáků o technické a přírodní vědy (Speck & Speck, 2021).

Žáci prostřednictvím svých odpovědí projevili zájem o rozvoj nejen vědomostní domény, ale také o rozvoj dovedností, kterému pravděpodobně není věnována ve výuce taková pozornost (viz **Graf 10**).

11 Úpravy úloh po pilotáži

Žáci měli možnost vyjádřit se k vytvořeným úlohám formou závěrečného dotazníku (viz **Příloha 3**). Na konci dotazníku žáci dostali prostor pro sdělení osobních postřehů. Dva žáci se zmínili o nejednoznačnosti seřazování obrázků v první úloze třetí sady úloh, která se zabývala antibakteriálním povrchem křídel cikád. Někteří další žáci vyjádřili svoji nejistotu ohledně řešení této úlohy slovně vzápětí po odevzdání vyplněného zadání. Následně vyšlo najevo, že si žáci nevšimli „trhající se“ buňky na obrázku D. Žáci uvedli, že pokud by si tohoto detailu všimli, úlohu by vyřešili mnohem snáze a dle jejich slov „bez problému“. Žáci sdělili, že jim nepřipadala dostatečně výrazně odlišena barva natrhnuté části buňky a celé neporušené buňky. Ačkoliv v této úloze žáci dosáhli 85% úspěšnosti, bylo k připomínkám žáků přihlédnuto. Úloha byla upravena přidáním šipek upozorňujících na trhající se buňku do následující podoby:

1. Seřad' následující obrázky (A-D) do správného pořadí, které odpovídá mechanismu buněčné smrti bakterie na křídlech cikády. (Pozn. 1. odpovídá prvotní/počáteční fázi.)



Po provedené analýze úspěšnosti žáků v jednotlivých úlohách bylo zjištěno, že žáci dosáhli výrazně nižší úspěšnosti v porovnání s ostatními úlohami ve třetí úloze v sadě č. 4, která se zabývala velbloudem. Úspěšnost žáků v této úloze byla nejnižší ze všech úloh, a to pouhých 39 % (viz **kapitola 8.1.4 a 10.2**). Někteří žáci vyjádřili svoji nejistotu ohledně správného postupu této úlohy již po dokončení pilotního ověřování úloh. Po diskusi s žáky bylo zjištěno, že někteří žáci byli zmateni uvedenou hodnotou hustoty vody a nevěděli, jak ji mají použít. Ačkoliv bylo záměrem autorky učebních úloh žákům uvedením této hodnoty pomoci

a poskytnout oporu pro správné vyřešení, na některé žáky naopak uvedená hodnota hustoty vody působila spíše negativně. Vzhledem k těmto zjištěním byla třetí úloha ze čtvrté sady upravena přidáním komentáře k hustotě vody do následující podoby:

Úvodní text a tabulka k úlohám 2 a 3

Noci jsou v pouštích velmi chladné. Velbloud během noci nasává nosními průduchy chladný vzduch a díky tomu se nosní struktury ochlazují. Vzduch se v těle velblouda zahřeje na jeho tělesnou teplotu a plně se nasytí vodou. Při výdechu teplý vzduch prochází chladnými nosními strukturami. Tím se vzduch obsahující vodní páru ochladí, což vede k jejímu zkapalnění a vzniká voda. Velbloud dokáže vzniklou vodu absorbovat (tj. vstřebat) zpět do těla.

V následující tabulce jsou uvedeny hodnoty absolutní vlhkosti vzduchu při dané teplotě za atmosférického tlaku. Absolutní vlhkost vzduchu udává maximální obsah vodní páry ve vzduchu (tj. maximálně kolik vodní páry je v daném množství vzduchu).

Teplota vzduchu [°C]	Absolutní vlhkost vzduchu [g m ⁻³]
0	4,8
5	6,8
10	9,4
15	12,8
20	17,3
25	23
30	30,4
35	39,6
40	51,1

3. Vypočítej, jaký maximální objem vody [v ml] lze získat z 5 m³ absolutně vlhkého vzduchu při teplotě 25 °C. Hustota vody je 1 g/cm³ (tzn. že 1 g vody je roven 1 cm³ vody). Uveď postup řešení. (Pozn.: Předpokládej, že vzduch je maximálně nasycen vodní parou.)

Odpověď: Z 5 m³ absolutně vlhkého vzduchu lze získat až ml vody.

Během pilotního ověřování úloh bylo zjištěno, že si někteří žáci nevěděli rady se čtením zápisu jednotek v součinném tvaru s negativní mocninou (tj. např. g cm^{-3}) a bylo nutné žákům vysvětlit, co tento zápis znamená. Ve dvou ze tří pilotních skupin žáků se našlo několik žáků, kteří se na tuto skutečnost dotazovali. Bylo tedy přistoupeno ke změně zápisu jednotek ze součinného tvaru na tvar podílový.

Poslední úprava, která byla provedena, se týkala popisu obrázků. Pro detailnější a konkrétnější názornost byly k obrázkům v úvodních textech přidány jejich popisky. K obrázkům v rámci zadání úloh popisky záměrně nebyly použity, aby žákům nenapovídaly při řešení dané úlohy.

Kompletní sada úloh po zapracování všech úprav je uvedena v **Příloze 7**.

12 Závěr

Diplomová práce se zabývala tvorbou a praktickým ověřením sad komplexních učebních úloh pro žáky druhých ročníků SŠ zaměřených na téma biomimetiky. Učební úlohy byly vytvořeny tak, aby vedly k rozvoji přírodovědné gramotnosti s důrazem na čtyři konkrétní dovednosti.

Byla stanovena klíčová témata podstatná pro vlastní tvorbu úloh. V první části práce byla provedena teoretická rešerše tématu biomimetiky, konceptů integrované výuky, přírodovědné gramotnosti a učebních úloh. Na základě provedené rešerše byly vytvořeny čtyři sady komplexních úloh obsahující vždy tři jednotlivé úlohy. Celkem bylo vytvořeno 12 učebních úloh na čtyři různá biomimetická témata. Úlohy jsou zaměřeny na ledňáčka říčního, termity, cikády a velblouda. Ke komplexním úlohám byly vytvořeny dva dotazníky. První dotazník se zaměřuje na hodnocení sad úloh z hlediska obtížnosti a zábavnosti. Druhý dotazník slouží k zjištění postojů žáků k vytvořeným úlohám jako celku.

Vytvořené sady učebních úloh i s dotazníky byly opilotovány ve třech třídách na dvou gymnáziích. Cílem pilotního ověření bylo zjistit, jaká je úspěšnost žáků v sadách úloh i v jednotlivých úlohách a jaké jsou postoje žáků k vytvořeným úlohám. Výsledky pilotního šetření byly zpracovány kvantitativními i kvalitativními metodami. Pro kvantitativní zpracování dat byly použity statistické metody, konkr. aritmetický průměr, relativní četnost a úspěšnost. V rámci kvalitativního zpracování dat byla provedena induktivní analýza písemných dat získaných od respondentů (tzn. získaných výsledků a dobrovolných písemných komentářů k vytvořeným úlohám).

Bylo zjištěno, že žáci dosáhli poměrně vysokých hodnot úspěšnosti v jednotlivých úlohách, díky čemuž se vytvořené učební úlohy stávají potenciálními motivačními prvky výuky. Pokud se některé hodnoty úspěšnosti žáků v úlohách výrazněji odlišovaly, byly tyto úlohy kvalitativně analyzovány. Žáci dosáhli nejnižší úspěšnosti ve třetí úloze čtvrté sady úloh zaměřené na téma velblouda. Úspěšnost žáků ve čtvrté sadě úloh byla nejnižší v porovnání s ostatními sadami úloh. Nejvyšší úspěšnosti žáci dosáhli ve druhé úloze druhé sady úloh, jež se zabývala tématem termitů. Dle výsledků žáci dosáhli nejvyšší úspěšnosti na úrovni sad právě v druhé sadě úloh.

Nejzábavnější a zároveň nejméně obtížnou sadou úloh byla dle žáků sada č. 1, která se zabývala tématem ledňáčka říčního. Jako nejméně zábavnou a zároveň nejvíce obtížnou žáci označili sadu úloh č. 4. Bylo zjištěno, že žáci označují snadnější úlohy za zábavnější, a naopak obtížnější sady úloh hodnotí jako méně zábavné.

Respondenti hodnotili celkovou strukturu úloh i jednotlivé komponenty (např. obrázky a grafy) pozitivně. Učební úlohy na téma biomimetiky žáci označili jako velmi zajímavé a vyjádřili svůj zájem o častější zařazování takovýchto úloh do běžné výuky. Bylo zjištěno, že žáci se s podobnými typy úloh ve výuce běžně nesetkávají. Pozitivním zjištěním je, že žákům úlohy nepřipadaly příliš obtížné, díky čemuž lze usuzovat, že vytvořené úlohy vykazují motivační potenciál pro žáky.

Interdisciplinární myšlení se vzhledem k rozmanitosti a složitosti světa stává nevyhnutelné. Je třeba žáky na multidisciplinární problematiku připravit (např. prostřednictvím zařazení integrované výuky do výukového procesu). Praktická aplikace integrované výuky je poměrně problematická. Učitelům v České republice není k dispozici dostatečné množství učebních materiálů ani učebnic do výuky. Je tedy nutné vytvářet nové materiály. Příprava materiálů pro integrované pojetí výuky je velmi náročná.

Kromě nedostatku materiálů je další komplikací nedostatek témat vhodných k integrované výuce. Vzhledem k multidisciplinárnímu charakteru biomimetiky je biomimetika ideální k využití v integrované výuce (např. ve výukovém konceptu STEM). Biomimetika může pedagogům rozšířit repertoár o mnoho zajímavých interdisciplinárních témat. Hlavním přínosem této práce je vytvoření 12 učebních úloh na čtyři různá biomimetická témata, které mohou být využity v praktické výuce. Vytvořené úlohy byly žáky přijaty velmi pozitivně. Zařazování takovýchto typů úloh by mohlo zvýšit zájem žáků o přírodní a technické vědy. Dále by mohlo vést k rozvoji přírodovědné gramotnosti a zlepšit mezioborové myšlení žáků.

Praktické a motivační biomimetické téma může být využito pro prvotní seznámení žáků s integrovanými principy výuky. Stejně tak může být biomimetika zařazena do výukového procesu jako oživující a zajímavý prvek výuky, prostřednictvím kterého pedagogové mohou zdůraznit a uplatnit mezipředmětové vztahy na příkladech z běžného života.

13 Seznam použitých informačních zdrojů

- AskNature. (2006). Bird-Friendly Glass Inspired by Spider Webs. *Innovation: Industry*.
<https://asknature.org/innovation/bird-friendly-glass-inspired-by-spider-webs/>
- AskNature. (2017). Nasal Surfaces Remove Water Vapor. *Biological strategy*.
<https://asknature.org/strategy/nasal-surfaces-remove-water-vapor/>
- AskNature. (2020). Mound Facilitates Gas Exchange. *Biological strategy*.
<https://asknature.org/strategy/mound-facilitates-gas-exchange/#.VB52Ry5dUa0>
- AskNature. (2023a). High Speed Train Inspired by the Kingfisher. *Innovation: Industry*.
<https://asknature.org/innovation/high-speed-train-inspired-by-the-kingfisher/>
- AskNature. (2023b). Passive Cooling System Inspired by Camels. *Innovation: Academia*.
<https://asknature.org/innovation/passive-cooling-system-inspired-by-camels/>
- Astalini, A., Darmaji, D., Dwi Agus, K., Jaya, H., & Sri Muslimatul, H. (2022). Analysis of Teacher Responses to the Use of Web-based Assessment to Assess Students' Attitudes towards Science Subjects. *Integrated Science Education Journal*, 3(3), 66–71.
<https://doi.org/10.37251/isej.v3i3.282>
- Badarnah, L., & Kadri, U. (2015). A methodology for the generation of biomimetic design concepts. *Architectural Science Review*, 58(2), 120–133.
<https://doi.org/10.1080/00038628.2014.922458>
- Bar-Cohen, Y. (2006). Biomimetics—using nature to inspire human innovation. *Bioinspiration & Biomimetics*, 1(1), P1. <https://doi.org/10.1088/1748-3182/1/1/P01>
- Barber, O., Somogyi, E., McBride, A. E., & Proops, L. (2021). Children's Evaluations of a Therapy Dog and Biomimetic Robot: Influences of Animistic Beliefs and Social Interaction. *International Journal of Social Robotics*, 13(6), 1411–1425.
<https://doi.org/10.1007/s12369-020-00722-0>
- Bieliková, M. (2020). Realizácia STEM aktivít v školských výchovno-vzdelávacích zariadeniach. *Pedagogika*, 70(3). <https://doi.org/10.14712/23362189.2020.1667>
- Biomimicry, I. (2023, 12.09.2023). *Janine Benyus*. <https://biomimicry.org/janine-benyus/>
- Blažek, R., & Příhodová, S. (2016). Mezinárodní šetření PISA 2015. *Národní zpráva. Přírodovědná gramotnost. ČŠI, Praha*.
https://www.csicr.cz/Csicr/media/Prilohy/PDF_el._publikace/Mezin%C3%A1rodn%C3%ADAD%20%C5%A1et%C5%99en%C3%AD/NZ_PISA_2015.pdf
- Carstens, A. (2016). Web Decorations Warn Birds. *Biological strategy*.
<https://asknature.org/strategy/web-decorations-warn-birds/>
- Carstens, A. (2021). How Cicada Wings Kill Bacteria. *Biological strategy*.
<https://asknature.org/strategy/how-cicada-wings-kill-bacteria/>
- Černocký, B., Hedvábná, H., Herink, J., Janoušková, S., Kubištová, I., Maršák, J., Pumpr, V., & Svobodová, J. (2011). Přírodovědná gramotnost ve výuce. Příručka pro učitele se souborem úloh. *Praha: NÚV*. http://www.vuppraha.rvp.cz/wp-content/uploads/2012/01/Prirodovedna_gramotnost.pdf
- Dixit, S., & Stefańska, A. (2023). Bio-logic, a review on the biomimetic application in architectural and structural design. *Ain Shams Engineering Journal*, 14(1), 101822.
<https://doi.org/10.1016/j.asej.2022.101822>
- Domen, J., Stringfellow, W., Camarillo, M., & Gulati, S. (2013). Fog water as an alternative and sustainable water resource. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 16.
<https://doi.org/10.1007/s10098-013-0645-z>
- Dostál, J. (2013). Badatelsky orientovaná výuka jako trend soudobého vzdělávání. *e-Pedagogium*, 13(3), 81–93. <https://epedagogium.upol.cz/pdfs/epd/2013/03/07.pdf>

- Du, A., Zhou, B., Zhang, Z., & Shen, J. (2013). A Special Material or a New State of Matter: A Review and Reconsideration of the Aerogel. *Materials*, 6(3), 941–968. <https://www.mdpi.com/1996-1944/6/3/941>
- Ensikat, H., Ditsche, P., Neinhuis, C., & Barthlott, W. (2011). Superhydrophobicity in perfection: The outstanding properties of the lotus leaf. *Beilstein Journal of Nanotechnology*, 2, 152–161. <https://doi.org/10.3762/bjnano.2.19>
- Ezell, D., Cale, C., Panesar-Aguilar, S., & McCraney, M. (2020). Using Digital Art to Influence Students' Attitudes in High School Science Classrooms. *Journal of Instructional Pedagogies*, 24. <https://files.eric.ed.gov/fulltext/EJ1263987.pdf>
- Gangadoo, S., Chandra, S., Power, A., Hellio, C., Watson, G. S., Watson, J. A., Green, D. W., & Chapman, J. (2016). Biomimetics for early stage biofouling prevention: templates from insect cuticles [10.1039/C6TB01642A]. *Journal of Materials Chemistry B*, 4(34), 5747–5754. <https://doi.org/10.1039/C6TB01642A>
- Gao, X., Li, P., Shen, J., & Sun, H. (2020). Reviewing assessment of student learning in interdisciplinary STEM education. *International Journal of STEM Education*, 7(1), 24. <https://doi.org/10.1186/s40594-020-00225-4>
- Gao, Z., Shi, Q., Fukuda, T., Li, C., & Huang, Q. (2019). An overview of biomimetic robots with animal behaviors. *Neurocomputing*, 332, 339–350. <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2018.12.071>
- Hasanah, U. (2020). Key definitions of STEM education: Literature review. *Interdisciplinary Journal of Environmental and Science Education*, 16(3), e2217. <https://doi.org/10.29333/ijese/8336>
- Havlová, M., Janoušková, S., & Pumpr, V. (2010). Využití komplexních úloh ve výuce chemie. *Metodický portál: Články*. <https://clanky.rvp.cz/clanek/c/z/7893/VYUZITI-KOMPLEXNICH-ULOZH-VE-VYUCE-CHEMIE.html>
- Hudecová, D. (2004). Revize Bloomovy taxonomie edukačních cílů. *Pedagogika*, 54(3), 274–283. https://pages.pdf.cuni.cz/pedagogika/?attachment_id=1811&edmc=1811
- Huri, N. H. D., & Karpudewan, M. (2019). Evaluating the effectiveness of Integrated STEM-lab activities in improving secondary school students' understanding of electrolysis. *Chemistry education research and practice*, 20(3), 495–508. <https://doi.org/10.1039/C9RP00021F>
- Chen, Y. (2017). Fish Resources of the Gulf of Mexico. In (pp. 869–1038). https://doi.org/10.1007/978-1-4939-3456-0_1
- Chmielewská, E. (2016). Biomimetika–synergia fyziologických procesov z prírody a súčasného biomolekulárneho inžinierstva pri vývoji proenvironmentálnych adsorbentov. *Chemické listy*, 110(8), 563–569. <http://www.chemicke-listy.cz/ojs3/index.php/chemicke-listy/article/view/171/171>
- Chonkaew, P., Sukhummek, B., & Faikhamta, C. (2016). Development of analytical thinking ability and attitudes towards science learning of grade-11 students through science technology engineering and mathematics (STEM education) in the study of stoichiometry. *Chemistry education research and practice*, 17(4), 842–861. <https://doi.org/10.1039/C6RP00074F>
- Chvál, M., Procházková, I., & Straková, J. (2015). Hodnocení výsledků vzdělávání didaktickými testy. *Praha: ČŠI*. Dostupné z <http://www.csicr.cz/cz/Aktuality/Hodnoceni-vysledku-vzdelavani-didaktickymi-testy>.
- Imani, N., & Vale, B. (2020). A framework for finding inspiration in nature: Biomimetic energy efficient building design. *Energy and Buildings*, 225, 110296. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110296>
- Jeřábek, O., & Bílek, M. (2010). *Teorie a praxe tvorby didaktických testů*. Univerzita Palackého v Olomouci. http://zvyp.upol.cz/publikace/bilek_jerabek.pdf

- Johnstone, A. H. (2010). You can't get there from here. *Journal of Chemical Education*, 87(1), 22–29. <https://doi.org/10.1021/ed800026d>
- Kalhous, Z., & Obst, O. (2002). *Školní didaktika*. Praha: Portál.
- Koldová, H., Rokos, L., & Hašková, T. (2022). O příkladu zavádění integrované výuky. *Pedagogika*, 72(2). <https://doi.org/10.14712/23362189.2021.2062>
- Krise, K. M. (2022). Investigate a Nature-inspired Invention: Hook-and-Loop Tape. <https://www.acs.org/content/dam/acsorg/education/outreach/celebrating-chemistry/2022-ncw/activity-hook-and-loop-tape.pdf>
- Kumari, P., Ginzburg, N., Sayas, T., Saphier, S., Bucki, P., Miyara, S. B., Caldwell, D. L., Iyer-Pascuzzi, A. S., & Kleiman, M. (2020). A biomimetic platform for studying root-environment interaction. *Plant and Soil*, 447(1), 157–168. <https://doi.org/10.1007/s11104-019-04390-6>
- Lee, M.-H., Chai, C. S., & Hong, H.-Y. (2019). STEM Education in Asia Pacific: Challenges and Development. *The Asia-Pacific Education Researcher*, 28(1), 1–4. <https://doi.org/10.1007/s40299-018-0424-z>
- Lim, J. (2020). Feet Are Super Sticky but Don't Get Dirty. *Biological strategy*. <https://asknature.org/strategy/feet-self-clean-2/>
- Lingo, E. (2024, 03.03.2024). Jak se díky správné práci se soustředěností naučit 2x více za stejný čas. <https://easylingo.com/cs/blog/jak-se-diky-spravne-praci-se-soustredenosti-naucit-2x-vice-za-stejny-cas/>
- Lodson, J., & Jahromi, F. S. (2017). Sustainable innovative materials for interior architecture using biomimicry. *Sustainable Structure and Materials*, 1(1), 1–11. https://www.researchgate.net/profile/Faraneh-Sahraian/publication/323454475_Sustainable_Innovative_Materials_for_Interior_Architecture_Using_Biomimicry/links/5ecb827c92851c11a8880027/Sustainable-Innovative-Materials-for-Interior-Architecture-Using-Biomimicry.pdf
- Maass, K., Geiger, V., Ariza, M. R., & Goos, M. (2019). The Role of Mathematics in interdisciplinary STEM education. *ZDM*, 51(6), 869–884. <https://doi.org/10.1007/s11858-019-01100-5>
- Maňák, J., & Švec, V. (2003). *Výukové metody*. Paido.
- Martín-Páez, T., Aguilera, D., Perales-Palacios, F. J., & Vílchez-González, J. M. (2019). What are we talking about when we talk about STEM education? A review of literature. *Science education*, 103(4), 799–822. <https://doi.org/10.1002/sce.21522>
- Martynenko, O. O., Pashanova, O. V., Korzhuev, A. V., Prokopyev, A. I., Sokolova, N. L., & Sokolova, E. G. (2023). Exploring attitudes towards STEM education: A global analysis of university, middle school, and elementary school perspectives. *EURASIA Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 19(3), em2234. <https://doi.org/10.29333/ejmste/12968>
- Mengnan, Q., Jinmei, H., & Junyan, Z. (2010). Superhydrophobicity, Learn from the Lotus Leaf. In M. Amitava (Ed.), *Biomimetics* (pp. Ch. 16). IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/8789>
- Moore, T. J., & Tank, K. M. (2014). Nature-inspired design: A PictureSTEM curriculum for elementary STEM learning. Annual Meeting of the Association of Science Teacher Educators, San Antonio, TX. <https://picturestem.org/wp-content/uploads/2014/12/ASTE-2014-PictureSTEM-Paper.pdf>
- MŠMT. (2009). White Wolf Consulting: Důvod nezájmu žáků o přírodovědné a technické obory. <https://docplayer.cz/8871854-Duvody-nezajmu-zaku-o-prirodovedne-a-technicke-obory.html>
- Odcházelová, T. (2014). Role multimédií ve výuce přírodních věd. *Scientia in educatione*, 5(2), 2–12. <https://doi.org/10.14712/18047106.93>

- Okeke, F., & Okekeogbu, C. (2017). Biomimicry and Sustainable Architecture: A Review of Existing Literature. *8*, 11–24. https://www.researchgate.net/publication/331207896_Biomimicry_and_Sustainable_Architecture_A_Review_of_Existing_Literature
- Palečková, J., & Mandíková, D. (2003). *Netradiční přírodovědné úlohy*. Ústav pro informace ve vzdělávání-Divize nakladatelství Tauris. https://kdf.mff.cuni.cz/materialy/timssapisa/netradicni_prirodovedne_ulohy.pdf
- Pauls, S. (2017). Biomimicry a "Natural Lesson" in STEAM. *STEAM Journal*, 3(1). <https://doi.org/10.5642/steam.20170301.33>
- Peclínová, S. (2021). Rovnice v úlohách mezinárodního šetření TIMSS a jejich využití. *Učitel matematiky*, 29(4), 203–211. <https://ojs.cuni.cz/ucitel/article/view/1851>
- Pogodin, S., Hasan, J., Baulin, V. A., Webb, H. K., Truong, V. K., Boshkovikj, V., Fluke, C. J., Watson, G. S., Watson, J. A., & Crawford, R. J. (2013). Biophysical model of bacterial cell interactions with nanopatterned cicada wing surfaces. *Biophysical journal*, 104(4), 835–840. <https://doi.org/10.1016/j.bpj.2012.12.046>
- Restrepo, V., Hosseini, M. S., Gallant, C., Weymouth, B., & Zavattieri, P. (2021). A two-scale strategy for the modeling of hook and loop fasteners. *Journal of the Mechanics and Physics of Solids*, 156, 104600. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jmps.2021.104600>
- Salta, M., Wharton, J. A., Stoodley, P., Dennington, S. P., Goodes, L. R., Werwinski, S., Mart, U., Wood, R. J., & Stokes, K. R. (2010). Designing biomimetic antifouling surfaces. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 368(1929), 4729–4754. <https://doi.org/10.1098/rsta.2010.0195>
- Santulli, C., & Langella, C. (2011). Introducing students to bio-inspiration and biomimetic design: a workshop experience. *International Journal of Technology and Design Education*, 21(4), 471–485. <https://doi.org/10.1007/s10798-010-9132-6>
- Shimomura, M. (2010). *New trends in next generation biomimetic material technology: learning from biodiversity* (1349–3663). <https://core.ac.uk/download/pdf/236667592.pdf>
- Schindler, R. (2006). *Rukověť autora testových úloh*. Centrum pro zjišťování výsledků vzdělávání.
- Sjøberg, S., & Schreiner, C. (2010). The ROSE project. *An overview and key findings*, 31. <https://www.uv.uio.no/ils/english/research/projects/rose/publications/the-rose-project.pdf>
- Skalková, J. (2007). *Obecná didaktika-2., rozšířené a aktualizované vydání*. Grada Publishing as.
- Slavík, J., Dyrtová, K., & Fulková, M. (2010). Konceptová analýza tvořivých úloh jako nástroj učitelské reflexe. *Pedagogika*, 60(3–4), 223–241. https://pages.pedf.cuni.cz/pedagogika/files/2013/12/P_2010_3_4_04_Konceptov%C3%A1_27_46.pdf
- Smirnoff, D. (2019). Skin Reduces Biofouling. *Biological strategy*. <https://asknature.org/strategy/skin-reduces-biofouling/>
- Speck, O., Speck, D., Horn, R., Gantner, J., & Sedlbauer, K. P. (2017). Biomimetic bio-inspired biomorph sustainable? An attempt to classify and clarify biology-derived technical developments. *Bioinspiration & Biomimetics*, 12(1), 011004. <https://doi.org/10.1088/1748-3190/12/1/011004>
- Speck, O., & Speck, T. (2021). Biomimetics and Education in Europe: Challenges, Opportunities, and Variety. *Biomimetics*, 6(3), 49. <https://www.mdpi.com/2313-7673/6/3/49>

- Starý, K. (2008) Učitelé učitelů: náměty na vzdělávání vlastního učitelského sboru. Praha: Portál.
- Stier, S. (2020). The Beak That Inspired a Bullet Train. *Biological strategy*. <https://asknature.org/strategy/beak-provides-streamlining/>
- Stier, S. (2021). How a Camel's Fur Coat Keeps It Cool. *Biological strategy*. <https://asknature.org/strategy/how-a-camels-fur-coat-keeps-it-cool/>
- Suresh Kumar, N., Padma Suvarna, R., Chandra Babu Naidu, K., Banerjee, P., Ratnamala, A., & Manjunatha, H. (2020). A review on biological and biomimetic materials and their applications. *Applied Physics A*, 126(6), 445. <https://doi.org/10.1007/s00339-020-03633-z>
- Škoda, J., & Doulík, P. (2009). Vývoj paradigmat přírodovědného vzdělávání. *Pedagogická orientace*, 19(3), 24–44. https://www.researchgate.net/publication/228600442_Vyvoj_paradigmat_prirodovedneho_vzdelavani
- Tian, L., Yin, Y., Bing, W., & Jin, E. (2021). Antifouling Technology Trends in Marine Environmental Protection. *Journal of Bionic Engineering*, 18, 239–263. <https://doi.org/10.1007/s42235-021-0017-z>
- Tirpák, J., & Slavík, M. (2019). Rozvíjení přírodovědné gramotnosti u žáků základních škol v kontextu mezinárodních výzkumů jako prostředek zvýšení zájmu o studium přírodovědných oborů. https://www.researchgate.net/publication/369749554_Rozvijeni_prirodovedne_gramotnosti_u_zaku_zakladnich_skol_v_kontextu_mezinarodnich_vyzkumu_jako_prostredk_zvyseni_zajmu_o_studium_prirodovednych_oboru
- Trnová, E. (2012). Teacher development in IBSE. *Badania w dydaktyce chemii*, 181–184. <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=00a7a7488076b2969abad4dcf9505b7ee775b141#page=181>
- Vojtíš, K., Holec, J., & Rusek, M. (2017). Přírodopisné a chemické úlohy pro základní vzdělávání a jejich metodické komentáře. https://www.researchgate.net/publication/319321821_Prirodopisne_a_chemicke_ulohy_pro_zakladni_vzdelavani_a_jejich_metodicke_komentare
- Wang, D., Bădăraș, A. S., Swamy, M. K., Shaw, S., Maggi, F., da Silva, L. E., López, V., Yeung, A. W. K., Mocan, A., & Atanasov, A. G. (2019). Arctium Species Secondary Metabolites Chemodiversity and Bioactivities [Review]. *Frontiers in Plant Science*, 10. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00834>
- Weidner, B., Nagel, J., & Weber, H.-J. (2018). Facilitation method for the translation of biological systems to technical design solutions. *International Journal of Design Creativity and Innovation*, 6, 1–24. <https://doi.org/10.1080/21650349.2018.1428689>
- Yu, Z., Fu, J., Ji, Y., Zhao, B., & Ji, A. (2022). Design of a Variable Stiffness Gecko-Inspired Foot and Adhesion Performance Test on Flexible Surface. *Biomimetics*, 7(3), 125. <https://www.mdpi.com/2313-7673/7/3/125>
- Yurtkuran, S., Kirli, G., & Taneli, Y. (2013). Learning from Nature: Biomimetic Design in Architectural Education. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 89, 633–639. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.08.907>
- Zari, M. P. (2007). *Biomimetic approaches to architectural design for increased sustainability* Sustainable Building Conference, Auckland, New Zealand. <http://hdl.handle.net/1/1127>
- Zhu, H., Guo, Z., & Liu, W. (2016). Biomimetic water-collecting materials inspired by nature. *Chemical Communications*, 52(20), 3863–3879. <https://doi.org/10.1039/C5CC09867J>

Seznam zkratek

aj.	a jiné
angl.	anglicky
cca	cirka, přibližně
č.	číslo
ČR	Česká republika
CH2	obecní dům 2 (angl. Council House 2)
konkr.	konkrétně, konkrétní
MIT	Massachusettský technologický institut (angl. Massachusetts Institute of Technology)
MŠMT	Ministerstvo školství, mládeže a tělovýchovy České republiky
např.	například
NASA	Národní úřad pro letectví a vesmír (angl. The National Aeronautics and Space Administration)
NFC	Národní vědecká nadace (angl. The National Science Foundation)
PCK	pedagogická znalost obsahu (angl. Pedagogical Content Knowledge)
PISA	Projekt PISA (angl. Programme for International Student Assessment)
resp.	respektive
SEM	rastrovací elektronový mikroskop (angl. scanning electron microscope)
SMET	koncept SMET – science, matematika, inženýrství, technologie (angl. Science, Mathematics, Engineering, Technology)
SŠ	střední škola
STEAM	koncept STEAM – science, technologie, inženýrství, umění, matematika (angl. Science, Technology, Engineering, Arts, Mathematics)
STEM	koncept STEM – science, technologie, inženýrství, matematika (angl. Science, Technology, Engineering, Mathematics)
TIMSS	šetření TIMSS (angl. Trends in International Mathematics and Science Study)
tzn.	to znamená
tzv.	takzvaný
USA	Spojené státy americké (angl. United States of America)
UV	ultrafialové záření (angl. ultraviolet)
vs.	versus

Seznam příloh

Příloha 1: Klíčové aspekty přírodovědné gramotnosti a její komplexní vymezení. Převzato z práce Černockého et al. (2011).

Příloha 2: Taxonomie učebních úloh dle D. Tollingerové s příklady formulací. Převzato z práce Maňáka a Švece (2003).

Příloha 3: Dotazníky žákovského hodnocení úloh.

Příloha 4: Kompletní sady vytvořených učebních úloh včetně použitých zdrojů.

Příloha 5: Zdroje informací k vytvořeným sadám úloh použité během pilotáže.

Příloha 6: Příklady autentických odpovědí žáků na jednotlivé úlohy v rámci vytvořených sad úloh.

Příloha 7: Upravená verze kompletních sad vytvořených učebních úloh určená pro žáky (tzn. bez uvedených zdrojů informací).

Seznam obrázků

Obrázek 1: Plody lopuchu. Převzato a upraveno z práce Wang et al. (2019).	15
Obrázek 2: A: Suchý zip. B: Pozorování háčků a smyček během procesu rozepínání. Převzato a upraveno z práce Restrepo et al. (2021).	16
Obrázek 3: Lotosový květ. Převzato z práce Zari (2007).	17
Obrázek 4: Povrch lotosového listu ze SEM. Převzato z práce Ensikat et al. (2011).	17
Obrázek 5: Princip samočištění lotosového listu. Převzato z práce Zari (2007).	18
Obrázek 6: Model kapky vody na povrchu lotosového listu se znázorněním kontaktního úhlu θ . Převzato z práce Ensikat et al. (2011).	18
Obrázek 7: A: Brouk <i>Stenocara</i> sp. (velikost měřítka: 10 mm). B: Povrchová struktura pouštního brouka <i>Stenocara</i> sp. ze SEM (velikost měřítka: 100 μ m). Převzato z práce Zhu et al. (2016).	19
Obrázek 8: Chování pouštního brouka při sběru vody z mlhy. A: Závěrečná fáze sběru vody – voda u ústního ústrojí. B: Postupné stékání vody směrem dolů. Převzato z práce Domen et al. (2013).	20
Obrázek 9: Cikáda <i>Psaltoda claripennis</i> . Převzato z práce Gangadoo et al. (2016).	20
Obrázek 10: Modelace smrtícího mechanismu na křídlech cikád. A: Bakteriální buňka přichází do kontaktu s křídlem cikády. B: Počáteční fáze přichycení bakteriální membrány k nanokuželům. C: Fáze prasknutí bakteriální buňky. D: Buněčná smrt. Převzato z práce Pogodin et al. (2013).	21
Obrázek 11: Přetrhnutí bakteriální membrány vlivem jejího natahování. Převzato z práce Carstens (2021).	21
Obrázek 12: Ukázka nepravidelného stabilimenta. Převzato z práce Carstens (2016).	22
Obrázek 13: Sklo ORNILUX. A: Jak vidí sklo ORNILUX ptáci. B: Jak vidí sklo ORNILUX lidé. Převzato z práce Lodson a Jahromi (2017).	23
Obrázek 14: Ukázka nadzemní části termiště. Převzato z práce AskNature (2020).	24
Obrázek 15: Znázornění principu pasivní ventilace termiště. Převzato z práce Okeke a Okekeogbu (2017).	24
Obrázek 16: Eastgate Center v Harare. Převzato z práce Okeke a Okekeogbu (2017).	25
Obrázek 17: Detail chodidla gekona obrovského. Převzato z práce Lim (2020).	26
Obrázek 18: Princip samočištění s využitím hyperextenze prstů. Převzato a upraveno z práce Lim (2020).	27
Obrázek 19: Stočené prsty gekona. Převzato z práce (Yu et al., 2022).	27

Obrázek 20: A: Ledňáček říční. B: Zobák ledňáčka říčního narážející na vodní hladinu. Převzato z práce Stier (2020).	28
Obrázek 21: A: Náraz kulatého ptačího zobáku na vodní hladinu. B: Náraz ostrého zobáku ledňáčka na vodní hladinu. Převzato z práce Stier (2020).	29
Obrázek 22: Japonský rychlovlak. Převzato z práce Weidner et al. (2018).	29
Obrázek 23: Znázornění principů řízení teploty velblouda. Převzato a upraveno z práce Stier (2021).	30
Obrázek 24: Fotografie žraloka bílého (<i>Carcharodon carcharias</i>). Převzato z práce Chen (2017).	32
Obrázek 25: A: Skutečná žraločí kůže ze SEM. B: Biomimetická imitace žraločí kůže ze SEM. Převzato z práce Tian et al. (2021).	33
Obrázek 26: Rostoucí náročnost učebních úloh. Převzato z práce Maňáka a Švece (2003). .	44
Obrázek 27: Revidovaná Bloomova taxonomie. Převzato z práce Hudecové (2004).	45
Obrázek 28: Vhodnost typů úloh pro měření kognitivních procesů. Převzato z práce Chvála et al. (2015).	50

Seznam tabulek

Tabulka 1: Školy a počty žáků účastnících se pilotáže.....	58
Tabulka 2: Kódové označení pro jednotlivé varianty žákovských odpovědí.....	77
Tabulka 3: Příslušné bodové hodnoty jednotlivých kódů odpovědí.....	78
Tabulka 4: Příslušné kombinace kódů a bodové hodnocení určující úspěšnost žáka v jednotlivých sadách úloh.....	78
Tabulka 5: Zkrácení názvů jednotlivých sad úloh.....	79
Tabulka 6: Kompletní souhrn absolutních četností žákovských odpovědí a úspěšností žáků v jednotlivých úlohách.....	81

Seznam grafů

Graf 1: Porovnání procentuálního zastoupení žáků v jednotlivých kategoriích úspěšnosti mezi všemi sadami úloh.....	80
Graf 2: Žákovské hodnocení nejzábavnější sady úloh.....	83
Graf 3: Žákovské hodnocení nejméně zábavné sady úloh.....	84
Graf 4: Žákovské hodnocení nejsnadnější sady úloh.....	84
Graf 5: Žákovské hodnocení nejobtížnější sady úloh.....	85
Graf 6: Žákovské hodnocení sad úloh v oblasti jasnosti a srozumitelnosti zadání.....	86
Graf 7: Žákovské hodnocení sad úloh v oblasti zajímavosti témat.....	87
Graf 8: Žákovské hodnocení sad úloh v oblasti přehlednosti textu.....	87
Graf 9: Žákovské hodnocení sad úloh v oblasti vhodnosti obrázků, tabulek a schémat.....	88
Graf 10: Žákovské hodnocení sad úloh v oblasti novosti.....	88
Graf 11: Žákovské hodnocení sad úloh v oblasti zájmu o častější zařazování do výuky.....	89
Graf 12: Žákovské hodnocení sad úloh v oblasti zábavnosti.....	90
Graf 13: Žákovské hodnocení sad úloh v oblasti obtížnosti.....	90