

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA PEDAGOGICKÁ
KATEDRA MATEMATIKY, FYZIKY A TECHNICKÉ VÝCHOVY

ZDÁNLIVÁ PORUŠENÍ ZÁKONA ZACHOVÁNÍ ENERGIE
BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Vojtěch Mašinda

Přírodovědná studia, obor Fyzika se zaměřením na vzdělávání

Vedoucí práce: doc. Mgr. Jiří Kohout, Ph.D.

Plzeň 2022

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně
s použitím uvedené literatury a zdrojů informací.

V Plzni, 30. června 2022

.....
vlastnoruční podpis

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěl poděkovat doc. Mgr. Jiřímu Kohoutovi, Ph.D. za vedení bakalářské práce a odborné rady.

OBSAH

SEZNAM ZKRATEK	2
ÚVOD	3
1 HISTORICKÉ POZADÍ.....	4
1.1 STAROVĚCÍ FILOZOFOVÉ	4
1.2 OBDOBÍ 17. STOLETÍ	4
1.3 OBDOBÍ 18. A 19. STOLETÍ.....	6
1.4 MECHANICKÝ EKVIVALENT TEPLA	8
1.5 ZACHOVÁNÍ ENERGIE V MODERNÍ FYZICE	9
1.6 ZACHOVÁNÍ ENERGIE V BETA ROZPADU	10
2 ZDÁNlivÁ PORUŠENÍ ZÁKONA ZACHOVÁNÍ ENERGIE	11
2.1 SEZNÁMENÍ S TÉMATEM.....	11
2.2 LZE HMOTU PŘEMĚNIT NA ENERGIÍ?.....	11
2.3 PORUŠENÍ ZACHOVÁNÍ ENERGIE?.....	12
2.4 FUNGUJÍCÍ PERPETUUM MOBILE NA PRINCIPU OSMOTICKÉHO TLAKU?.....	12
2.5 ZTRATÍ SE ENERGIE KDYŽ SE SPOJÍ DVA KONDENZÁTORY?	14
2.6 INTERFERENCE A ZÁKON ZACHOVÁNÍ ENERGIE	17
3 ENERGIE VE ŠKOLSKÉ FYZICE.....	18
3.1 ENERGIE JIŽ NA ZÁKLADNÍ ŠKOLE	18
3.2 ENERGIE NA STŘEDNÍ ŠKOLE.....	19
3.3 ENERGIE JAKO PRŮŘEZOVÝ KONCEPT, JEJÍ CHÁPÁNÍ ŽÁKY.....	20
4 PŘÍKLADY DIDAKTICKY RELEVANTNÍ NA ÚROVNI STŘEDNÍ ŠKOLY	21
4.1 DOTAZNÍK – PŘÍKLADY A ZJIŠTĚNÍ PROBLÉMU	21
4.2 HOD MÍČEM SVISLE VZHŮRU	21
4.3 SRÁŽKA AUTOMOBILŮ.....	22
4.4 VZDALOVÁNÍ DESEK DESKOVÉHO KONDENZÁTORU	23
4.5 DVĚ KULIČKY A PRUŽINA.....	24
5 VÝZKUM, FORMULACE DOTAZNÍKU	26
6 VÝSLEDKY DOTAZNÍKU	27
6.1 ÚVODNÍ OTÁZKY	27
6.2 HOD MÍČEM SVISLE VZHŮRU – VÝSLEDKY	29
6.3 SRÁŽKA AUTOMOBILŮ – VÝSLEDKY	30
6.4 VZDALOVÁNÍ DESEK DESKOVÉHO KONDENZÁTORU – VÝSLEDKY	32
6.5 DVĚ KULIČKY A PRUŽINA – VÝSLEDKY	33
6.6 ZÁVĚR Z VÝSLEDKŮ DOTAZNÍKU	34
6.7 POROVNÁNÍ VÝSLEDKŮ S JINOU STUDIÍ	35
ZÁVĚR.....	37
RESUMÉ.....	39
SEZNAM LITERATURY	40
SEZNAM OBRÁZKŮ, TABULEK, GRAFŮ A DIAGRAMŮ	42
PŘÍLOHY	I

SEZNAM ZKRATEK

E – Energie

m – hmotnost

c – rychlost světla ve vakuu

v – rychlost

E_k – kinetická energie

E_p – potenciální energie

Π – osmotický tlak

U – elektrické napětí

C – elektrická kapacita

g – tíhové zrychlení

h – výška, či hloubka

k – tuhost

l – vzdálenost

C – koeficient proporcionality

A – amplituda

Úvod

Zákon zachování energie je jedním ze základních a nejčastěji používaných fyzikálních zákonů. Tento zákon konstatuje, že energii nelze vyrobit ani zničit, dá se pouze přeměnit na jiný druh energie. I když se jedná o fundamentální zákon fyziky, věřím, že spousta žáků středních škol nemusí tento zákon chápat správně.

Tato práce se zabývá zdánlivými poruchami zákona zachování energie. Jejím prvním cílem je popsat příklady, kdy zdánlivě dochází k porušení zákona zachování energie. Proto se nejdříve v úvodní části zaměřuji na historii zákona zachování energie, kdo ho poprvé konstatoval a jakými pokusy byl v historii ověřen. V další kapitole budou popsány právě ty příklady, kdy k zdánlivé poruše zákona zachování energie dochází

Dalším cílem je vybrat z uvedených příkladů ty, jež mohou být relevantní na didaktické úrovni střední školy a formulovat na základě tohoto vhodné učební úlohy využitelné v praxi. Proto jsem se nejdříve ve třetí kapitole věnoval tomu, jak je zákon zachování energie vyučován v České republice pomocí RVP. Čtvrtá kapitola obsahuje vybrané příklady, jež jsou následně použity pro šetření v třetí části.

Třetím zásadou pro vypracování této práce je, realizovat pomocí učebních úloh výzkumné šetření, dle bodu dva, na chápání zákona zachování energie a jeho případné narušení žáky středních škol. K tomuto byl vypracován dotazník přes aplikaci Google Forms, který byl následně poslán žákům na dvou vybraných středních školách. Příklady z dotazníku jsou uvedeny ve čtvrté kapitole a v páté kapitole se nachází informace o formulaci dotazníku.

Posledním cílem této práce je, shrnout získané poznatky a na jejich základě formulovat doporučení pro výuku fyziky v praxi a náměty na případný další výzkum v této oblasti. Tomuto je věnována šestá kapitola. V šesté kapitole je uvedena statistika odpovědí žáků, dále jsou uvedeny anonymní odpovědi některých žáků. Zde se věnuji informacím získaných z šetření a dále je analyzuji.

1 HISTORICKÉ POZADÍ

1.1 STAROVĚCÍ FILOZOFOVÉ

Nejdříve se pojdme podívat na to jaké myšlenky ohledně zákona zachování energie měli starověcí Řekové. Prvním z nich byl Thalés z Milétu, který žil 550 let před naším letopočtem a měl jisté tušení o zachování jakési základní substance ze které je vše vytvořeno. Pro Thalése touto substancí byla voda. Empedoklés, který žil v letech 490 a 430 před naším letopočtem, napsal, že jeho univerzální systém se skládá ze čtyř základních kořenů a to země, vzduchu, vody a ohně. Empedoklés tvrdil, že nic nevznikne ani nezanikne, místo toho tyto elementy trpí neustálou proměnou. Epikúros, který žil 350 let před naším letopočtem, věřil, že vše ve vesmíru se skládá z malých neviditelných částic hmoty, jakýsi starověký předchůdce atomu. Také uvažoval ve svých textech o nutnosti zachování a to takové, že součet věcí byl vždy takový, jaký je nyní a takový navždy zůstane.

1.2 OBDOBÍ 17. STOLETÍ

Velké množství informací o historii zákona zachování energie lze nalézt v online dostupné knize slavného fyzika Ernsta Macha z roku 1911 nazvané *History and root of the principle of the conservation of energy*. Z této knihy a dalších časopiseckých článků budeme vycházet při zpracování této a následující podkapitoly. Z Machovy knihy pocházejí rovněž anglické překlady některých (v originále latinsky psaných) ideí, které jsou níže uvedeny v poznámkách od čarou k ilustraci významných milníků v historickém vývoji v této oblasti.

V roce 1605 byl Simone Stevin schopen vyřešit řadu problémů, ve statice, na základě principu že perpetuum mobile je nemožné (což demostroval na příkladu náhrdelníku s kuličkami umístěného na nakloněnou rovinu). Na základě toho dokázal formulovat podmínky rovnováhy na nakloněné rovině (Mach, 1911, s. 21-22). Z nemožnosti existence perpetua mobile dokázal Stevin odvodit i principy hydrostatiky).

V roce 1639 Galileo Galilei publikoval analýzu několika situací, včetně slavného "přerušovaného kyvadla", které lze (dnešním pohledem) popsat jako konzervativní přeměnu potenciální energie na energii kinetickou a zpět. V podstatě poukázal na to, že výška, do které pohybující se těleso vystoupá po nakloněné rovině při dané rychlosti, se rovná výšce, ze které se musí pohybovat dolů, aby dosáhlo stejné rychlosti. Toto pozorování použil k vyvození myšlenky setrvačnosti. Pozoruhodným aspektem tohoto

pozorování je, že výška, do které těleso pohybující se danou rychlostí vystoupá na povrchu bez tření nezávisí na tvaru povrchu¹.

V roce 1669 Christian Huygens zveřejnil své zákony pro srážky. Mezi veličinami, které uvedl jako neměnné, před a po srážce těles, byl součet jejich hybností a také součet jejich kinetických energií. Rozdíl mezi elastickou a nepružnou srážkou však v té době ještě nebyl znám. To vedlo ke sporu mezi pozdějšími badateli, která z těchto zachovávaných se veličin byla zásadnější². Ve svém *Horologium Oscillatorium* podal mnohem jasnější prohlášení o výšce vzestupu pohybujícího se tělesa a spojil v tuto myšlenku s nemožností věčného pohybu. Huygensova studie dynamiky pohybu kyvadla byla založena na jediném principu, to že těžiště těžkého předmětu se nemůže samo zvednout³.

Byl to Leibniz v letech 1676–1689, kdo se poprvé pokusil o matematickou formulaci druhu energie, která je spojena s pohybem (kinetická energie). S pomocí Huygensovy práce o srážkách si Leibniz všiml, že v mnoha mechanických systémech (o několika hmotnostech m_i , každá s rychlostí v_i) byla zachována veličina $\sum m_i v_i^2$ tak dlouho, dokud nedošlo ke kolizi. Tuto veličinu nazval *vis viva*, neboli živá síla systému. Princip představuje přesné vyjádření přibližného zachování kinetické energie v situacích, kdy nedochází ke tření. Mnoho fyziků v té době jako například Isaac Newton zastávalo názor, že zachování hybnosti, které platí v systémech s třením, jak je definováno hybností: $\sum_i m_i v_i$, bylo právě toto popsání *vis viva*. Tento problém mající počátek už v úvahách Reného Descartese z roku 1644 je v literatuře nazýván jako tzv. *vis viva kontroverze* a je velmi podrobně diskutován v textu Iltis (1971). Později se zásluhou osobností jako Roger Boscovich a Jean d'Alembert ukázalo, že obě veličiny jsou zachovány současně při splnění odpovídajících podmínek jako je pružná srážka.

¹ Galilei ve svém spise *Dialogo terzo* k tomuto přímo uvádí: „I take it for granted that the velocities acquired by a body in descent down planes of different inclinations are equal if the heights of those planes are equal” (Mach, 1911, s. 24).

² Newprávné užívání zákona zachování mechanické energie při nepružné srážce je ostatně velmi častá chyba žáků při řešení úloh. Opět se tak potvrzuje princip, na který upozorňuje například filozof Ladislav Kvasz (2020), že miskoncepce žáků často odpovídají problémům, s nimiž se daný obor potýkal během svého historického vývoje.

³ Konkrétně Huygens uvedl: „If a pendulum, composed of several weights, set in motion from rest, complete any part of its full oscillation, and from that point onwards, the individual weights, with their common connexions dissolved, change their acquired velocities upwards and ascend as far as they can, the common centre of gravity of all will be carried up to the same altitude with that which it occupied before the beginning of the oscillation” (Mach, 1911, s. 29).

V roce 1687 vydal Isaac Newton své Principia (Matematické principy přírodní filozofie), které bylo postaveno kolem konceptu síly a hybnosti. Vědci však rychle poznali, že principy uvedené v knize, i když jsou pro hmotné body v pořádku, nepostačují k tomu, aby se vypořádali s pohyby tuhých a tekutých těles.

Výše uvedený Leibnizův zákon zachování *vis viva* byl prosazován dvojicí otec a syn Johann a Daniel Bernoulliových. První jmenovaný v roce 1715 formuloval princip virtuální práce, užívaný ve staticce, v jeho plné obecnosti. Druhý poté napsal knihu *Hydrodynamica*, publikovanou v roce 1738, vycházející právě z principu zachování *vis viva*. Danielovo studium ztráty *vis viva* proudící vody ho přivedlo k formulaci slavné Bernoulliho rovnice dávající do souvislosti rychlost a tlak proudící kapaliny, který tvrdí, že ztráta je úměrná změně hydrodynamického tlaku. Kolem principu virtuální práce poté dokázal Lagrange vystavět celou teoretickou mechaniku popsanou v jeho slavné práci *Mécanique analytique* z roku 1789. Zásadní význam teoretické mechaniky je v tom, že dává (na rozdíl od klasického newtonovského pojetí založeného na silách a hybnostech) do popředí právě energii.

Francouzská fyzička Émilie du Châtelet (1706–1749) navrhla a otestovala hypotézu zachování celkové energie na rozdíl od hybnosti. Inspirována teoriemi Gottfrieda Leibnize zopakovala a zveřejnila experiment, původně navržený Willemem Gravesandem v roce 1722, ve kterém byly míče shazovány z různých výšek do měkké hlíny. Ukázalo se, že kinetická energie každé koule, jak ukazuje množství vytlačeného materiálu, je úměrná druhé mocnině rychlosti. Bylo zjištěno, že deformace hlíny, je přímo úměrná výšce, ze které byly koule shozeny a rovna počáteční potenciální energii. Vědci jako Newtona a Voltaire přitom věřili, že energie není v zásadě odlišná od hybnosti, a proto je úměrná rychlosti. Podle tohoto chápání měla být deformace hlíny úměrná druhé odmocnině výšky ze které byly koule shozeny. V klasické fyzice je správný vzorec: $E_k = \frac{1}{2}mv^2$, kde E_k je kinetická energie předmětu, m je hmotnost a v je rychlost. Na základě tohoto du Châtelet navrhla, že energie musí mít vždy stejné rozměry v jakékoliv formě, což je nutné k tomu, abychom ji mohli uvažovat v různých formách (kinetická, potenciální, tepelná atd.).

1.3 OBDOBÍ 18. A 19. STOLETÍ

Inženýři jako John Smeaton, Peter Ewart, Carl Holtzmann a Marc Seguin uznali, že zachování hybnosti samo o sobě není pro praktický výpočet dostačující a využili Leibnizův princip.

Tento princip byl také prosazován některými chemiky jako je William Hyde Wollaston. Akademici jako John Playfair rychle poukázali na to, že kinetická energie zjevně není v mnoha prakticky významných případech zachována. To je v souladu s moderním pohledem založeným na termodynamických zákonech, avšak v 18. století byl osud ztracené energie stále neznámý.

Postupně sílilo podezření, že teplo, které nevyhnutelně vzniká při pohybu při tření, je další formou *vis viva*. V roce 1783 Antoine Lavoisier a Pierre-Simon Laplace zhodnotili dvě konkurenční teorie, a to *vis viva* a kalorickou teorii. Tu vyvinul právě Lavoisier a další vědci, přičemž její podstata zjednodušeně řečeno spočívala v tom, že teplo je reprezentováno tekutinou tekoucí od teplejších ke studenějším tělesům. Podrobnější výklad kalorické teorie je nad rámec tohoto textu, detailně je problematika řešena v článku Schuberta (2019). Pozorování hraběte Rumforda z roku 1798 o generování tepla během vrtání děl přidalo na váze názoru, že mechanický pohyb lze přeměnit na teplo a, že přeměna byla kvantitativní a mohla být předvídána (umožňující univerzální konverzní konstantu mezi kinetickou energií a teplem). Podrobněji jsou Rumfordovy závěry diskutovány v článku Schuberta (2019). Pojem energie byl poprvé použit Thomas Youngem v roce 1807, přičemž etymologicky energie pochází ze staré řečtiny, kde označovala aktivitu. Historicky se přitom jednalo o dosti obecný kvalitativní filozofický koncept zahrnující v například štěstí či potěšení.

Vztah pro energii byl později pozměněn na: $\frac{1}{2} \sum_i m_i v_i^2$, což úzce souviselo s propojením energie a vykonané práce. To bylo z velké části výsledkem prací Gaspard-Gustava Coriolise a Jeana-Victora Ponceleta v období 1819–1839. Nejdříve byla pojmenována příslušná kvantita *quantité de travail* (množství práce), a později *travail mécanique* (mechanická práce), oba termíny byly prosazovány v mechanických výpočtech.

V článku *Über die Natur der Wärme* (O povaze tepla), publikovaném v *Zeitschrift für Physik* v roce 1837, podal Karl Friedrich Mohr jedno z prvních dostatečně obecných prohlášení o principu zachování energie: „*Kromě 54 známých chemických prvků existuje ve fyzickém světě pouze jeden činitel, který se nazývá Kraft [energie nebo práce]. Může se podle okolností jevit jako pohyb, chemická afinita, koheze, elektřina, světlo a magnetismus; a z kterékoli z těchto forem se může přeměnit na kteroukoli z ostatních.*”

1.4 MECHANICKÝ EKVIVALENT TEPLA

Klíčovou etapou ve vývoji moderního principu konzervace energie byla demonstrace mechanického ekvivalentu tepla. Kalorická teorie tvrdila, že teplo nemůže být vytvořeno ani zničeno, zatímco zachování energie znamená opačný princip, že teplo a mechanická práce jsou zaměnitelné. Již v polovině 18. století Michail Lomonosov, ruský vědec, postuloval svou korpuskulo-kinetickou teorii tepla, která odmítá myšlenku kalorií. Prostřednictvím výsledků empirických studií došel Lomonosov k závěru, že teplo se přes částice kalorické tekutiny nepřenáší. Jak již bylo uvedeno výše, v roce 1798 provedl hrabě Rumford (Benjamin Thompson) měření třecího tepla generovaného v dělech a vyvinul myšlenku, že teplo je formou kinetické energie. Jeho měření ve své podstatě vyvrátila kalorickou teorii, ale nebyla dostatečně přesná, aby nechala prostor pro pochybnosti.

Princip mechanické ekvivalence poprvé ve své moderní podobě vyslovil německý chirurg Julius Robert von Mayer v roce 1842. Mayer dospěl ke svému závěru na cestě do Nizozemské východní Indie, kde zjistil, že krev jeho pacientů byla sytější červená, protože spotřebovávají méně kyslíku, a tedy méně energie, aby si udrželi tělesnou teplotu v teplejším klimatu. Zjistil, že teplo a mechanická práce jsou dvě formy energie a v roce 1845, po zlepšení svých znalostí fyziky, publikoval monografii, která uvedla kvantitativní vztah mezi nimi.

Mezitím, v roce 1843 James Prescott Joule nezávisle objevil mechanický ekvivalent tepla v sérii experimentů. V nejslavnějším, nyní nazývaném obvykle *Jouleův pokus*, klesající závaží připojené k provázku způsobilo otáčení pádla ponořeného do vody. Ukázalo se, že tíhová potenciální energie ztracená závažím při sestupu se rovná s dostatečnou přesností vnitřní energii získané vodou třením o pádlo. Je zajímavé, že historicky byl 1. termodynamický zákon nazýván v české fyzikální literatuře na počest obou uvedených autorů (Felber, 1909) zákon Mayer-Jouleův a byl formulován jednoduše tak, že mechanická práce a teplo jsou ekvivalentní.

Jak Joule, tak Mayerova práce byla ovlivněna zanedbáním některých relevantních faktorů, ale byla to Jouleova, která nakonec přitáhla širší uznání.

V roce 1844 William Robert Grove postuloval vztah mezi mechanikou, teplem, světlem, elektřinou a magnetismem tím, že je všechny považoval za projevy jediné „síly“ (moderně

řečeno energie). V roce 1846 Grove publikoval své teorie ve své knize *The Correlation of Physical Forces*. Hermann von Helmholtz dospěl v roce 1847 na základě dřívějších prací Joulea, Sadi Carnot a Émile Clapeyrona k podobným závěrům jako Grove a publikoval své teorie ve své knize *Über die Erhaltung der Kraft* (O zachování síly, 1847). Z této publikace vyplývá všeobecné moderní přijetí tohoto principu.

Konečně v roce 1850 fyzik William Rankine poprvé použil slovní spojení zákon zachování energie.

1.5 ZACHOVÁNÍ ENERGIE V MODERNÍ FYZICE

Nový vhled na problematiku zachování energie vnáší moderní fyzika zahrnující kvantovou teorii a teorii reaktivity. Hmota se skládá z atomů a toho, co atomy tvoří. Hmota má určitou klidovou hmotnost. V omezeném rozsahu uznávaných zkušeností z devatenáctého století bylo zjištěno, že taková klidová hmota je zachována. Einstein ve své teorii speciální relativity z roku 1905 ukázala, že klidová hmotnost odpovídá ekvivalentnímu množství klidové energie. Tato souvislost je vyjádřena známým vztahem $E = m \cdot c^2$. To znamená, že klidová hmota může být přeměněna na nebo z ekvivalentních množství (nehmotných) forem energie, například kinetické energie, potenciální energie a elektromagnetické zářivé energie. Všechny formy energie přispívají k celkové hmotnosti a celkové energii. Například elektron a pozitron mají každý klidovou hmotnost. Mohou společně anihilovat a přeměnit svou kombinovanou klidovou energii na fotony, které mají elektromagnetickou zářivou energii, ale žádnou klidovou hmotnost. Pokud k tomu dojde v rámci izolovaného systému, který neuvolňuje fotony ani jejich energii do vnějšího okolí, nezmění se ani celková hmotnost, ani celková energie systému. Produkovaná elektromagnetická zářivá energie přispívá k setrvačnosti systému právě tak, jako zbytek hmotnosti elektronu a pozitronu před jejich zánikem. Stejně tak nehmotné formy energie mohou zaniknout do hmoty, která má klidovou hmotnost.

Zachování energie (celkové, včetně hmotné nebo klidové energie) a zachování hmoty (celkové, nejen klidové) jsou tedy jeden (ekvivalentní) zákon. V 18. století se tyto zákony objevily jako dva zdánlivě odlišné zákony.

1.6 ZACHOVÁNÍ ENERGIE V BETA ROZPADU

V souvislosti s rozvojem moderní fyziky začalo docházet k situacím, které se zdáli být v rozporu se zákonem zachování energie. Patřil k nim např. objev z roku 1911, že elektrony emitované při beta rozpadu mají spíše spojité než diskrétní spektrum. To vedlo za tehdejšího předpokladu, že beta rozpad je jednoduchá emise elektronu z jádra, k rozporu. Tento problém nakonec vyřešil v roce 1933 Enrico Fermi, který navrhl správný popis rozpadu beta jako emise jak elektronu a antineutrína, které odnáší zjevně chybějící energii. Neutrína předpovězená teoreticky již Paulim v roce 1930 pak byla skutečně objevena v roce 1956. Přehled některých zdánlivých porušení zákona zachování energie jak v klasické, tak i v moderní fyzice, bude uveden v další kapitole této práce.

2 ZDÁNlivÁ PORUŠENÍ ZÁKONA ZACHOVÁNÍ ENERGIE

2.1 SEZNÁMENÍ S TÉMATEM

V první kapitole jsme si řekli, jak dlouho trvalo, než se lidé dostali k závěru, že zákon zachování energie platí neustále, pořád a v každém případě. Tento fyzikální zákon vypadá jednoduše, konstatuje že energii nelze vyrobit ani zničit, ale pouze přeměnit na jiný druh energie. Je to opravdu tak jednoduché, jak to vypadá? Nyní si pojdme ukázat několik příkladů, kde to tak zřejmé není a zajisté by při jejich uvedení v školské fyzice mohlo být mnoho žáků středních škol zmateno a mohli by pochybovat o tom, zda tedy zde zákon zachování energie platí, či nikoli.

2.2 LZE HMOTU PŘEMĚNIT NA ENERGIÍ?

Začneme jedním příkladem z moderní fyziky převzatým z článku Bartella (2001) z časopisu *Journal of Chemical Education*. Předpokládejme, že by se dal zkonstruovat takový kalorimetr, že kdyby v něm vybuchla atomová bomba, navenek by nešla pozorovat jakákoliv změna. Žádné částice radiace ani zvuk by neunikl. Snížila by se po výbuchu hmotnost kalorimetru plus obsahu, zvětšila nebo by zůstala stejná?

Tato otázka vzbuzovala spory ještě krátce po 2. světové válce. Spousta knih byla napsána špatně a tvrdila, že při výbuchu atomové bomby zmizí hmota, protože se přemění na energii. Hmotnost kalorimetru a jeho obsahu se nemění výbuchem. Podle Einsteinovy slavné rovnice $E = mc^2$ jsou hmotnost a energie ekvivalentní. Je pravda, že klidová hmotnost obsahu kalorimetru po výbuchu neodpovídá klidové hmotnosti před výbuchem. Část zbývající hmoty výbušniny se přemění na radioaktivní záření a na kinetickou energii atomů v kalorimetru, ale tyto alternativní projevy energie mají definovatelnou hmotnost E/c^2 . Hmota se přeměňuje z jedné formy do druhé a energie se také přeměňuje z jedné formy (latentní) do druhé tak, aby se celková hmotnost procesem nezměnila. Toto přiřazení hmotnosti k záření v kalorimetru není v rozporu se současným zvykem, kdy uvažujeme nulovou klidovou hmotnost fotonu. Fotony nemají žádnou klidovou hmotu (a nejedná se o foton, když se nachází v klidovém stavu), ale když narážejí do stěn nádoby, která je pohlcuje, nebo když jsou absorbovány, tak objektu předávají hmotnost. Nezapomeňme, že fotony jsou přitahovány gravitačním polem a tím vyvíjejí větší tlak záření na spodek nádoby než na vršek nádoby.

2.3 PORUŠENÍ ZACHOVÁNÍ ENERGIE?

Další problém týkající se moderní fyziky je také převzat z článku Bartella (2001). Vychází z předpokladu, že N fotonů o frekvenci ν je emitováno laserem zaměřeným na nehybné absolutně černé těleso. Černé těleso absorbuje energii $Nh\nu$ a přeměňuje ji na termální energii (teplo). Porovnejme tento údaj to s absorbovanou energií $Nh\nu'$, pokud se černé těleso pohybuje směrem od zdroje. Dopplerovým efektem je způsobeno, že je ν' menší než ν a následně absorbér vidí a pohlcuje fotony s nižší energií, než je emitovaná laserem. Otázka zní, kam se poděla naše nadbytečná energie?

Odpověď je založena na tlaku záření emitovaných fotonů. Aplikací prvního termodynamického zákona je docela snadné ukázat, že tento tlak je právě energetická hustota E/V záření. S tím souvisí zajímavá možnost provozovat Carnotův tepelný stroj za použití „fotonového plynu“ k vyvíjení tlaku na píst. Z účinnosti tohoto Carnotova tepelného stroje vychází Stefanův-Boltzmanův radiční zákon. Jedná se pouze o malý skok od konceptu tlaku záření k ilustraci oblíbeného Einsteinova způsobu, jak demonstrovat to, že $E = mc^2$. Je však třeba uvážit, že v této situaci nehraje roli pouze Dopplerův jev, ale projevují se i nedopplerovské efekty. Detailně je tato otázka řešena v textu Horsleyho et al. (2012) nazvaném příznačně *Radiation pressure on a moving body: beyond the Doppler effect*. Na střední škole ve tlak záření obvykle neřeší, žáci posledního ročníku by však měli znát Dopplerův jev a vztah pro energii fotonu, takže by jim tento zdánlivý paradox neměl být úplně vzdálený.

2.4 FUNGUJÍCÍ PERPETUUM MOBILE NA PRINCIPU OSMOTICKÉHO TLAKU?

V této podkapitole se dotkneme klasického tématu řešeného již výše v historickém přehledu. Předtím, než si podrobněji rozebereme výše položenou otázku, si rychle řekneme, co to perpetuum mobile je. Perpetuum mobile je klasicky chápáno jako pohyb těles, který pokračuje navždy v nerušeném systému. Perpetuum mobile je hypotetický stroj, který může pracovat donekonečna bez vnějšího zdroje energie. Tento druh stroje je nemožný, protože by porušil buď první nebo druhý termodynamický zákon, nebo oba. Podle toho rozlišujeme typicky perpetuum mobile 1. druhu (koná práci bez dodávání energie) a 2. druhu (veškerou dodanou energii dokážeme přeměnit na práci). První případ je v rozporu s 1. termodynamickým zákonem, druhý pak s 2. termodynamickým zákonem při uvážení 3. termodynamického zákona.

Z obsáhle nabídky myšlenkových experimentů týkajících se perpetua mobile zde zmíníme poněkud atypický příklad týkající se osmotického tlaku⁴ převzatý z článku Bartella (2001). Nejprve je třeba stručně zmínit podstatu osmotického tlaku. Je třeba připomenout, že osmotický tlak Π je tlak v rovnováze s působící roztokem na semipermeabilní membránu oddělující roztok oddělený od čistého rozpouštědla. Pokud na roztok působí tlak přesahující Π , rozpouštědlo v roztoku je protlačeno přes membránu a zanechává po sobě solutu. Takový jev se nazývá reverzní osmóza (jde o jeden způsob odsolování mořské vody za cenu tlačení pístu, který stlačuje rozpouštědlo [čistou vodu] přes membránu.) Zdá se, že je stačí jednoduše aplikovat reverzní osmózu, abyste vymysleli perpetuum mobile druhého druhu (porušující druhý zákon termodynamiky). Umístěte polopropustnou membránu navrženou tak, že propouští pouze vodu a ne sůl, na konec dlouhé trubice a ponořte trubici tak, že membrána bude ponořena jako první do oceánu. Předpokládejme, že se trubice nejdříve naplní k hladině oceánu sladkou vodou (není to podstatné k našemu problému, ale pomáhá to představit si, co bude následovat). Díky rozdílu v hustotě mezi sladkou vodou a mořskou vodou bude odlišný hydrostatický tlak na vnější straně trubice a tlak sladké vody, která vyplňuje vnitřek trubice. Tento rozdíl tlaku bude určen hloubkou ponoru trubice. Pokud je tento tlakový rozdíl tak velký, že podstatně překročí osmotický tlak, pak sladká voda uvnitř trubice bude nucena reverzní osmózou vytékat ven z trubice nad hladinu oceánu a filtrovat tak sůl z mořské vody bez potřeby spotřebovávat energii (jakmile proces začne). Dokonce, jak voda vytéká nad hladinu, dokázala by roztáčet lopatkové kolo a konat práci.

Co je na tomto nápadu špatného?

To, co činí toto perpetuum mobile nefunkčním za rovnovážných podmínek, je sedimentační rovnovážný zákon, znám biologům, kteří rozdělují roztoky. Jednotlivé solutové částice v roztoku mají efektivní "hustotu" (molekulární objem/částičný molární objem) větší než voda. Takže gravitační pole zvyšuje koncentraci soli s rostoucí hloubkou a tato zvyšující se koncentrace soli následně vyrovnává rozdíl hydrostatického tlaku a zabraňuje překročení osmotického tlaku bez ohledu na to, jak je trubice hluboko ponořena. Nejjednodušší odvození zákona sedimentační rovnováhy je založeno na stanovení koncentračního gradientu tak, aby stroj popsané perpetuum mobile nemohlo fungovat. Tento sedimentační

⁴ Mnohé klasické příklady perpetua mobile i s vysvětlením toho, proč nemohou fungovat, jsou uvedeny například v učebnici fyziky z Nakladatelství Fraus (Randa et al. 2018).

zákon umožnil Perrinovi určit Avogadrovu konstantu v roce 1909. Z praktického hlediska je však třeba zmínit, že tento stroj by v praxi pravděpodobně fungovat mohl, protože oceán není v rovnováze, např. v důsledku pohybu mořských živočichů, mořských proudů, slapových jevů způsobujících rozvíření soli. Stroj by tedy pravděpodobně fungoval (ale velmi neefektivně) z principiálně stejných důvodů jako fungují (celkem efektivně) větrné mlýny.

2.5 ZTRATÍ SE ENERGIE KDYŽ SE SPOJÍ DVA KONDENZÁTORY?

Zde představíme velmi známý a pozoruhodný paradox dvou kondenzátorů, mezi kterými je spínač. Když je spínač v poloze zapojeno, kondenzátory se nabijí, každý na jiné napětí. Tato počáteční uložená energie je spočítána a zaznamenána. Spínač se poté sepne, čímž se napětí na kondenzátorech vyrovná. K určení tohoto nového společného napětí se používá zachování náboje a vypočte se konečná energie. Tato konečná uložená energie je vždy menší než počáteční uložená energie a množství "ztracené" energie se může pohybovat od 0 do 100 % počáteční uložené energie, přičemž nabývá hodnoty 50 % v klasickém případě, kdy oba kondenzátory mají stejnou kapacitu, jeden je nabitý na napětí U a druhý nenabitý. V takovém případě je totiž počáteční uložená energie rovna $\frac{1}{2} CU^2$. Po sepnutí spínače je náboj sdílený, společné napětí je $\frac{1}{2} U$ a konečná energie je $2 * \left[\frac{1}{2} C \left(\frac{U}{2} \right)^2 \right]$ nebo $\frac{1}{4} CU^2$. To znamená, že se během procesu ztratí přesně polovina energie. Pokud jsou opět kondenzátory stejné, ale počáteční napětí jsou opačná a stejná, ztráta energie je 100 %.

Řešení tohoto zdánlivého paradoxu je předmětem hned několika různých textů založených na různých úvahách a způsobech kvantifikace. Klasicky lze dokázat, že Jouleovo teplo uvolněné ve vodiči spojujícím oba kondenzátory je (v případě dvou stejných kondenzátorů, z nichž jen jeden je nabit) rovno právě $\frac{1}{4} CU^2$, což přesně odpovídá rozdílu energií elektrického pole kondenzátoru před a po propojení. Zákon zachování energie je tak z tohoto pohledu zachráněn. Důkaz uvedeného tvrzení převzatý z textu Kohouta a Masopusta (2020) si nyní provedeme:

Po připojení nenabitého kondenzátoru na něj začne z nabitého kondenzátoru přecházet náboj. Proto bude spojovacím vodičem procházet proud. Tento proud bude zjevně časově proměnný, a proto budeme muset pro teplo uvolněné v tomto vodiči v souladu s Joule-

Lenzovým zákonem použít vztah $W = \int_0^{\infty} R \cdot I^2(t) dt$ (integrační meze jsou dány faktem, že

proud bude procházet vodičem až do chvíle, kdy se náboje na obou kondenzátorech zcela vyrovnají, což bude v podstatě trvat nekonečně dlouho). Abychom mohli uvedený vztah použít, musíme tedy určit závislost proudu na čase. Toho docílíme pomocí 2. Kirchhoffova zákona. Podle něho musí proud tekoucí vodičem splňovat vztah

$$R \cdot I = U_1 - U_2 \rightarrow I = \frac{U_1 - U_2}{R},$$

kde U_1 a U_2 jsou napětí na jednotlivých kondenzátorech. Užitím známého vztahu mezi nábojem, kapacitou a napětím můžeme tento vzorec s využitím faktu, že proud tekoucí vodičem je časová změna náboje na prvním kondenzátoru, přepsat do tvaru

$$-\frac{dQ_1}{dt} = \frac{Q_1 - Q_2}{C \cdot R}.$$

Součet nábojů na obou kondenzátorech musí být v každém okamžiku stejný jako počáteční náboj 1. kondenzátoru Q_0 . Píšeme $Q_1 + Q_2 = Q_0 \rightarrow Q_2 = Q_0 - Q_1$. Po dosazení získáváme diferenciální rovnici, kterou vyřešíme metodou separace proměnných

$$-\frac{dQ_1}{dt} = \frac{2 \cdot Q_1 - Q_0}{C \cdot R} \rightarrow \int \frac{dQ_1}{2 \cdot Q_1 - Q_0} = -\int \frac{dt}{C \cdot R} \rightarrow$$

$$\frac{1}{2} \cdot \ln(2 \cdot Q_1 - Q_0) = -\frac{t}{C \cdot R} + c \rightarrow 2 \cdot Q_1 - Q_0 = k \cdot e^{-\frac{2t}{C \cdot R}} \rightarrow$$

$$Q_1 = \frac{1}{2} \cdot k \cdot e^{-\frac{2t}{C \cdot R}} + \frac{1}{2} \cdot Q_0.$$

Konstantu k musíme určit z počátečních podmínek. Protože v čase $t = 0$ s je náboj na prvním kondenzátoru roven Q_0 , získáváme $k = Q_0$.

Závislost proudu na čase je pak zjevně dána vztahem

$$I = -\frac{dQ_1}{dt} = \frac{Q_0}{R \cdot C} \cdot e^{-\frac{2t}{R \cdot C}}.$$

Pro teplo uvolněné ve vodiči poté po dosažení získáváme

$$W = \int_0^{\infty} R \cdot I^2(t) dt = \int_0^{\infty} R \cdot \left(\frac{Q_0}{C \cdot R} \cdot e^{-\frac{2t}{C \cdot R}} \right)^2 dt = \frac{Q_0^2}{C^2 \cdot R} \cdot \int_0^{\infty} e^{-\frac{4t}{C \cdot R}} dt = -\frac{Q_0^2}{4 \cdot C} \cdot \int_0^{-\infty} e^u = \frac{Q_0^2}{4 \cdot C}.$$

Zjištěné Jouleovo teplo zjevně nezávisí na odporu vodiče je přesně rovno rozdílu mezi energií elektrických polí kondenzátoru před a po propojení. Zákon zachování energie tak v tom případě normálně funguje.

Méně konvenční pohled na paradox dvou kondenzátoru představují Lee (2008) a O Connor (1999). První z nich vysvětluje paradox na základ analogie s mechanickým kmitáním, druhý pak dokonce považuje tento paradox za projev „nového“ obecnějšího fyzikálního zákona, který nazývá zákon Lacy-McCabeův. V tomto pohledu lze všechny druhy akumulované energie, včetně kinetické energie, považovat za „potenciální“ v tom smyslu, že všechny implikují potenciál vykonávat práci. Zákon Lacy-McCabe říká, že tento potenciál k práci lze realizovat pouze vykonáváním práce, nikoli přímým předáváním uložené energie (tedy beze změny formy).

Má-li se tedy na energetických účtech přírody pohybovat energie, aniž by došlo ke ztrátě, musí být formálně inkasována z jednoho účtu a poté uložena na druhý účet: přímý vnitřní převod mezi účty stejného druhu není možný, aniž by došlo k signifikantní ztrátě.

2.6 INTERFERENCE A ZÁKON ZACHOVÁNÍ ENERGIE

Učebnice fyziky uvažují o interferenci jako o procesu přenosu energie vlny ze zdroje do okolního prostoru, přičemž dochází ke konstruktivním a destruktivním interferencím. Jak lze očekávat, celkový energetický tok se zachovává. Nicméně jeden případ zdánlivě nezachovávající energii přitahuje pozornost odborníků. Uvažujme dvojici koherentních bodových vlnových zdrojů (umístěných na stejném místě) vyzařujících sinusové vlny o amplitudě A , které se šíří v homogenním prostředí. Předpokládejme, oba zdroje jsou ve fázi. Protože energie kmitání E je úměrná druhé mocnině amplitudy, rychle se dospěje k zjevnému paradoxu. Energie oscilace v každém bodu, kvůli pouze jednomu zdroji, je $E_0 = CA^2$ (C je koeficient proporcionality), zatímco podle principu lineární superpozice kombinovaná amplituda oscilací z obou zdrojů je $2A$ (vzhledem k nulovému fázovému rozdílu nastává konstruktivní interference) a energie oscilace je $E = C(2A)^2 = 4CA^2 = 4E_0$, což je čtyřikrát (ne dvakrát) větší hodnota než energie oscilace jednoho izolovaného zdroje. Zdá se tedy, že $1 + 1 = 4$, což působí jako zjevný rozpor. V obecném případě superpozice dvou vln s identickými amplitudami a vlnovými délkami získáváme vlnu s intenzitou někde mezi nulou a čtyřnásobkem intenzity jednoho zdroje vlny (v závislosti na relativní fázi ze dvou vln). Toto vede k jasné otázce: „Jak můžeme vysvětlit nadbytečnou (nebo chybějící) energii, která nutně vyplývá z konstruktivní nebo destruktivní interference vln?“ (Drosd Minkin, 2014)

Vysvětlení paradoxu spočívá v tom, že uvedená úvaha byla provedena pro (v praxi nerealistický) předpoklad, že oba bodové zdroje vlnění jsou přesně na stejném místě. Podrobná analýza ukazuje, že pokud je vzdálenost zdrojů podstatně menší než vlnová délka vlnění, jedná se o spřažené zdroje, u nichž bude energie výsledné vlny sice větší, ale na úkor toho, že také zdroje budou v součtu konat větší práci, než kdyby byly na sobě nezávislé. Můžeme si to představit na příkladu dvou velmi blízkých reproduktorů, kdy membrána každého z nich bude muset kmitat díky vzájemné vazbě s větší amplitudou, než kdyby byl každý zvlášť a vazba mezi nimi by neexistovala. Dá se spočítat, že zákon zachování energie v tomto případě nijak narušen není. Kvantitativně je problém řešen v článku Drosda a Minkina (2014) a dalších zdrojích tam uvedených)

3 ENERGIE VE ŠKOLSKÉ FYZICE

3.1 ENERGIE JIŽ NA ZÁKLADNÍ ŠKOLE

Energie je nesmírně důležité téma i pro školskou fyziku. Nejprve se proto podíváme, jak je toto téma řešeno na úrovni základní školy. Pohledem do inovovaného Rámcového vzdělávacího programu pro základní školy (RVP ZV, 2021) zjistíme, že se zde slovo energie objevuje celkem 16krát, před revizí RVP to bylo dokonce 19krát. Jednoznačně nejčastěji je energie zmiňována ve fyzice, kde je takto nazvána skupina výstupů F-9-4 (RVP ZV, 2021, s. 69-70). Z původních pěti výstupů zbyly po revizi pouze dva, z nichž jeden se týká vztahu mezi výkonem, prací a časem a druhý zhodnocení výhod a nevýhod různých energetických zdrojů z hlediska životního prostředí. Vyškrtnut byl výstup týkající se vzájemného vztahu práce a energie i výstup zaměřený na vzájemné přeměny energie a jejich využití v praxi. Z hlediska obsahu učiva fyziky jsou zmíněny různé formy energie (pohybová, polohová, vnitřní, elektrická, jaderná) a také obnovitelné, resp. neobnovitelné zdroje energie. Pojem energie se objevuje i ve výstupu CH-9-6-02 u organické chemie, kde jde u užívání fosilních paliv jako zdrojů energie (RVP ZV, 2021, s. 75). opakovaně se pak o energii hovoří v průřezovém tématu Environmentální výchova (RVP ZV, 2021, s. 143-144), kde je v zásadě akcentována její důležitost pro trvale udržitelný rozvoj. Z výše uvedeného je patrné, že problematika energie je řešena dle RVP až na 2. stupni, přičemž důkaz je v kurikulárních dokumentech kladen na environmentální aspekty problematiky, nikoliv na fyzikální podstatu problému.

Z hlediska praktického zařazení do výuky se poprvé se žáci setkávají s energií typicky v osmém ročníku. Nejdříve se děti setkají s prací, jako fyzikální veličinou, poté s výkonem a na to je navázána kinetická a potenciální tíhová energie a následuje vnitřní energie. Na konci osmé třídy se žáci setkají s elektrickou energií v souvislosti s výkonem elektrického proudu. Energii je možné zavést na základní škole různým způsobem, klasický přístup spočívá v jejím navázání na veličinu práce s tím, že energie vlastně popisuje schopnost tělesa konat práci. Například v učebnici fyziky pro 8. ročník od Nakladatelství Fraus se přímo uvádí, že *„Fyzikální veličinou, která popisuje „schovanou“ nebo „ukrytou“ práci, je energie. Energie udává, kolik práce může těleso vykonat neboli díky energii může těleso konat práci. Naopak energii tělesa je možné zvýšit, jestliže na něm konáme práci.“* (Randa et al., 2018). V následujících kapitolách je zaveden i pojem mechanická energie a formulován zákon

zachování mechanické energie založený na stálém součtu polohové a pohybové energie. V kapitole o druhých energie je následně zmíněn i obecný zákon zachování energie včetně tvrzení, že „*energii nelze vyrobit ani zničit, pouze se přeměňuje z jednoho druhu na druhý*“.

3.2 ENERGIE NA STŘEDNÍ ŠKOLE

Na střední škole, v prvním ročníku, nově přibude tlaková potenciální energie a Bernoulliho rovnice jako zákon zachování pro ideální kapalinu. Ve druhém ročníku střední školy se žáci seznámí s potenciální energií pružnosti a se zákonem zachování energie pro případ pružiny. Zde je obvykle navzdory uvážení vertikálně kmitající pružiny zanedbávána tíhová potenciální energie, což není blíže vysvětleno⁵ Třetí ročník zahrnuje energii elektrického pole včetně elektrického pole kondenzátoru a energii magnetického pole cívky. V závěrečném čtvrtém ročníku střední školy, co žáci seznámí s kvantovou energií (energií fotonu) a s ekvivalencí hmoty a energie ($E = mc^2$).

Pojďme podívat, jak je toto téma řešeno v kurikulárních dokumentech pro středních školy. Pohledem do inovovaného Rámcového vzdělávacího programu pro gymnázia (RVP G, 2021) zjistíme, že slovo energie se v tomto programu vyskytuje celkem jedenáctkrát a v oblasti fyziky devětkrát. O energii se poprvé dozvíme v kapitole „Pohyb těles a jejich vzájemné působení“ a to v učivu dynamika pohybu. Zde se pojednává mimo jiné o práci, výkonu a pak o souvislostech ve změnách mechanické energie s prací a poté se zde hovoří o zákonu zachování hmotnosti, hybnosti a energii. V další kapitole pojmenované „Stavba a vlastnosti látek“ se v probíraném učivu o termodynamice dozvídáme o vnitřní energii a její změně, následně o způsobech přenosu vnitřní energie v rozličných systémech. Také se zde probírá první a druhý termodynamický zákon. V následující kapitole „Elektromagnetické jevy, světlo“ se dozvíme mimo jiné i o elektrickém odporu, energii a výkonu stejnosměrného proudu a o polovodičové diodě. V kapitole „Mikrosvět“ se využívá poznatků o kvantování energie záření a mikročástic k řešení fyzikálních problémů. Zde se nachází učivo kvanta a vlny v němž se řeší foton a jeho energie, a učivo o atomu, kde je obsaženo kvantování energie elektronů v atomu a poté jaderná energie.

⁵ Korektní by bylo buď uvažovat horizontálně kmitající pružinu, nebo provést odvození i s tíhovou potenciální energií, jak ukazuje Krynický v online učebnicích fyziky pro SŠ na www.realisticky.cz v kapitole 030108 Přeměny energie v mechanickém oscilátoru.

3.3 ENERGIE JAKO PRŮŘEZOVÝ KONCEPT, JEJÍ CHÁPÁNÍ ŽÁKY

Jak už jsem zmiňoval, energie není pouze důležitá pro fyziku, ale i pro ostatní vědecké disciplíny (chemická energie, energie v biologii). Můžeme tedy říci, že energie je takzvaný průřezový koncept (v angličtině *crosscutting concept*). Tímto vystává otázka, jak žáci tomuto průřezovému konceptu rozumí. Tímto tématem, jak žáci chápou koncept energie v biologii, fyzice a chemii se zabývá studie *Students' Energy Understanding Across Biology, Chemistry, and Physics Contexts* kterou vypracovali S. T. Opitz & K. Neumann & S. Bernholt & U. Harms (2019). Závěrem této studie je, že by se žáci měli učit o energii ve všech přírodovědných předmětech, měli by chápat, jak energie funguje napříč těmito předměty. K realizaci tohoto cíle lze použít že několik postupů, těmi jsou:

1. Propojit podobná témata související s energií napříč odbornými kontexty. (například buněčné dýchání v biologii a chemii)
2. Propojit specifické aspekty výuky energie napříč obory. (například zachování energie v mechanice a exotermická reakce)
3. Propojení úrovní analýzy napříč obory (například – makro mikro chápání)
4. používat koherentní energetickou terminologii napříč vědeckými předměty

Studii, které by se zabývali, jak žáci chápou zákon zachování energie, už ale tolik není, avšak nedávno se objevila nová studie z Bosny a Hercegoviny, kde se právě tímto tématem zabývají. Studie nese název *Students' Difficulties in Applying the Law of Conservation of Mechanical Energy: Results of a Survey Research* (Halilović et al, 2021). V této studii se sice žákovské chápání zákona zachování energie řeší důkladně, avšak většinou je to nepřímou metodou, kdy se autoři zabývají spíše předpoklady pro jeho správné uchopení než tím, zda jej žáci umějí správně aplikovat v zcela konkrétních fyzikálně relevantních situacích. Výzkumy, kde je žákům předložena žákům konkrétní situace a následně jim je položena otázka, zda je zde zákona zachování energie použit správně či není, a pokud není, z jakého důvodu, existuje naprosté minimum. Myslím si přitom, že právě zvládnutí této problematiky je nutným předpokladem k tomu, aby se žáci dokázali vypořádat se zdánlivými porušeními zákona popsány v předchozí kapitole. Právě proto se tímto budu zabývat v praktické části této práce.

4 PŘÍKLADY DIDAKTICKY RELEVANTNÍ NA ÚROVNI STŘEDNÍ ŠKOLY

4.1 DOTAZNÍK – PŘÍKLADY A ZJIŠTĚNÍ PROBLÉMU

Součástí této práce bylo i vytvoření dotazníku, který byl následně předložen k vyplnění žákům středních škol. Během vyhledávání paradoxů, kde zdánlivě neplatí zákon zachování energie, jsem narazil na problém týkající se obtížnosti daných paradoxů. Jsem si naprosto jist že pokud bych předložil tyto paradoxy v dotazníku na středních školách, naprostá většina žáků by paradox nedokázala uchopit, a proto jsem zvolil méně náročnější úlohy, ve kterých zjišťuji, zda žáci dokážou určit, je-li úloha vypracována v souladu se zákonem zachování energie. Pochopení základních principů zákona zachování energie je nesporně nutnou podmínkou k tomu, aby žáci byli vůbec schopni pochopit paradoxy spojené se zdánlivým porušením zákona. Žákům byla zadána řešení celkem čtyř úloh, které si níže podrobněji představíme. Úlohy byly zvoleny tak, aby žáci měli možnost poznat nesprávné užití zákona zachování energie i ve chvíli, kdy neznají příslušné vzorce apod., pouze na základě správného pochopení jeho základních atributů (např. ve 3. úloze vykonání práce při vzdalování desek vede nesmyslně ke snížení energie elektrického pole kondenzátoru a ve 4. úloze je práce vykonaná rukou při přenesení kuličky z jednoho místa na druhé bez změny výšky vázána nesmyslně na potenciální energii stlačené pružiny). Šlo tedy hlavně o to, zda žáci dokážou odhalit nesprávnost výsledků, které jsou ve zjevném rozporu s fyzikální podstatou zákona zachování energie.

4.2 HOD MÍČEM SVISLE VZHŮRU

První úloha je typickou úlohou ze střední školy, uvažujeme o hodu míčem o určité počáteční rychlosti v a ptáme se, jak vysoko vystoupá. Tato úloha je vyřešena správně a zákon zachování energie v ní platí. Tento příklad je dobrý uvést v hodinách fyziky, protože je velmi jednoduchý a dobře žáky seznámí s tím jaký je rozdíl mezi kinetickou a potenciální energií a jak dochází postupně k jejich proměně. Příklad, který byl použit v dotazníku pro žáky víceletého gymnázia vypadal následovně:

Vezmeme-li míč a hodíme ho svisle vzhůru počáteční rychlostí $v = 10$ m/s, do jaké maximální výšky vystoupá? Odpor vzduchu zanedbáme.

Jde o vrh svislý vzhůru. Kinetická energie na počátku se přemění na potenciální tíhovou energii v nejvyšším bodě, přičemž jejich hodnoty se dle zákona zachování mechanické energie musí rovnat. Bude tedy platit:

$\frac{1}{2}mv^2 = mgh \rightarrow h = \frac{v^2}{2g}$. Po dosazení dostaneme: $h = \frac{10^2}{2 \cdot 10} = 5$ m. Míč vystoupá do maximální výšky 5 m.

Je tento příklad vypočítán v souladu se zákonem zachování energie? Pokud ne, v čem je problém (popř. jsou problémy)?

4.3 SRÁŽKA AUTOMOBILŮ

Tato úloha pojednává o čelní srážce automobilů a o špatném využití zákona zachování mechanické energie. Pojdme si představit čelní srážku protijedoucích osobních automobilů, každý má různou hmotnost m a jede různou rychlostí v . Žáků se budeme ptát jakou rychlostí pojedou automobily po srážce, s tím že se po srážce automobily spojí a pohybují se dále společně, přičemž k výpočtu použijeme zákon zachování mechanické energie, jedná se však o nesmyslné použití zákona zachování mechanické energie při nepružné srážce, což vede k velké výsledné rychlosti, při uvážení, že energie je skalární veličina. Správně je třeba úlohu řešit pomocí zákona zachování hybnosti. Příklad, který byl použit v dotazníku pro žáky víceletého gymnázia, vypadal následovně:

Představíme si čelní srážku dvou protijedoucích osobních automobilů. První automobil má hmotnost $m_1 = 1300$ kg a srazil se v rychlosti $v_1 = 54$ km/h. Druhý automobil má hmotnost 1400 kg a srazil se v rychlosti $v_2 = 72$ km/h. Jakou rychlostí se budou automobily pohybovat po srážce? Počítáme s tím, že se automobily po srážce spojí a pohybují se dále společně. Použijeme zákon zachování mechanické energie, kdy součet kinetických energií před srážkou se musí rovnat kinetické energii po srážce (pohyb probíhá ve vodorovné rovině, takže potenciální tíhová energie se neuplatní, odpor vzduchu, resp. tření o vozovku zanedbáváme). Výpočtem dostáváme

$$\frac{1}{2}m_1v_1^2 + \frac{1}{2}m_2v_2^2 = \frac{1}{2}(m_1 + m_2)v^2 \rightarrow v = \sqrt{\frac{m_1v_1^2 + m_2v_2^2}{m_1 + m_2}}$$

Po převedení rychlostí na základní jednotky (m/s) a dosazení dostaneme výsledek: $v =$

$$\sqrt{\frac{1400 \cdot 20^2 + 1300 \cdot 15^2}{1400 + 1300}} \doteq 17,77 \text{ m/s} = 63,97 \text{ km/h.}$$

Automobily pojedou po srážce rychlostí necelých 64 km/h.

Je tento příklad vypočítán v souladu se zákonem zachování energie? Pokud ne, v čem je problém (popř. jsou problémy)?

4.4 VZDALOVÁNÍ DESEK DESKOVÉHO KONDENZÁTORU

Tato úloha se zabývá tématem deskového kondenzátoru a je v něm milně užito zachování napětí při vzdalování desek po odpojení od zdroje. Uvažujme deskový kondenzátor o kapacitě C , který nabijeme pomocí baterie s napětím U . Poté jej odpojíme od zdroje a zvětšíme mezi deskami vzdálenost. Úkolem v dané úloze je zjistit, jakou práci je třeba vykonat při tomto posunutí. K řešení zde využijeme zákon zachování energie. Zde je špatně použité zachování napětí, což následně vede k tomu, že bychom konali práci a energie elektrického pole by klesala. Příklad, který byl použit v dotazníku pro žáky víceletého gymnázia vypadal následovně:

Uvažujme deskový kondenzátor o kapacitě $C = 1 \text{ F}$, který nabijeme pomocí autobaterie s napětím $U = 12 \text{ V}$. Poté jej odpojíme od zdroje a zvětšíme vzdálenost mezi deskami na čtyřnásobek původní hodnoty. Úkolem je zjistit, jakou práci je třeba vykonat při tomto posunutí. K řešení využijeme zákon zachování energie. Po nabití ze zdroje na napětí 12 V bude mít elektrické pole uvnitř kondenzátoru energii $E = \frac{1}{2} \cdot C \cdot U^2 = \frac{1}{2} \cdot 1 \cdot 12^2 = 72 \text{ J}$.

Nyní si uvědomíme, že kapacita deskového kondenzátoru je dle vztahu $C = \frac{\epsilon \cdot S}{d}$, kde S je plocha desek, d vzdálenost desek a ϵ permitivita, nepřímo úměrná vzdálenosti desek. Pokud jsme tedy tuto vzdálenost zvýšili na čtyřnásobek původní hodnoty, kapacita naopak poklesne na čtvrtinu (plocha desek a permitivita se posunem nemění) a bude tedy $C_1 = \frac{1}{4} \cdot C = 0,25 \text{ F}$. Napětí na kondenzátoru zůstane stejné, takže pro energii elektrického pole po posunu bude platit vztah $E_1 = \frac{1}{2} \cdot C_1 \cdot U^2 = \frac{1}{2} \cdot 0,25 \cdot 12^2 = 18 \text{ J}$. Práci potřebnou k posunutí desek poté určíme dle zákona zachování energie jako rozdíl energií elektrických polí před a po posunutí. Bude pro ni tedy platit výpočet $W = E - E_1 = 72 - 18 = 54 \text{ J}$.

Při posunutí desek kondenzátoru tedy musíme vykonat práci 54 J.

Je tento příklad vypočítán v souladu se zákonem zachování energie? Pokud ne, v čem je problém (popř. jsou problémy)?

4.5 DVĚ KULIČKY A PRUŽINA

Poslední příklad, který byl použit v dotazníku, byl ze všech nejobtížnější. Uvažujeme dvě stejné kuličky o hmotnosti m , z nichž jedna je připevněna k pružině o tuhosti k a délky y uchycené ke zdi. První kulička se pohybuje rychlostí v směrem k druhé, narazí do ní a dle zákona zachování hybnosti si kuličky vymění rychlosti. První kulička se tedy zastaví a druhá kulička má nyní počáteční rychlost v a stlačuje pružinu. V důsledku toho dochází k přeměnám mezi kinetickou energií kuličky a potenciální energií pružnosti pružiny. Pružina se zkrátí na nějakou minimální délku a poté se začne opět natahovat, což znamená, že se druhá kulička pohybuje jiným směrem. Mezitím přesuneme rukou první kuličku do vzdálenosti l od zdi. Druhá kulička do ní narazí, kuličky si opět dle zákona zachování hybnosti vymění rychlosti, takže se druhá kulička na místě zastaví a první kulička se vzdaluje pryč rychlostí v . Naším úkolem je stanovit výslednou rychlost první kuličky a také práci, kterou vykonáme při přesunu první kuličky rukou z její pozice ve vzdálenosti y . Tato úloha je vyřešena nekorektně z důvodu, že potenciální energie pružnosti není $\frac{1}{2} * \text{tuhost} * \text{kvadrát délky}$, ale $\frac{1}{2} * \text{tuhost} * \text{kvadrát prodloužení z rovnovážné polohy}$. Dále je naprosto absurdní, aby z takto zadaných údajů šlo určit jakákoliv práce při přesouvání kuličky z místa na místo. Příklad, který byl použit v dotazníku pro žáky víceletého gymnázia vypadal následovně:

Uvažujeme dvě stejné kuličky o hmotnosti $m = 1 \text{ kg}$, z nichž jedna je připevněna k pružině o tuhosti $k = 100 \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}$ délky $y = 20 \text{ cm}$ uchycené ke zdi (viz obrázek níže). První z kuliček se pohybuje rychlostí $v_1 = 10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ směrem k druhé, narazí do ní a dle zákona zachování hybnosti si kuličky vymění rychlosti. První kulička se tedy zastaví a druhá kulička má nyní počáteční rychlost $10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ a stlačuje pružinu. V důsledku toho dochází k přeměnám mezi kinetickou energií kuličky a potenciální energií pružnosti pružiny. Pružina se zkrátí na nějakou minimální délku a poté se začne opět natahovat, což znamená, že se druhá kulička pohybuje doleva. Mezitím přesuneme rukou první kuličku do vzdálenosti $l = 10 \text{ cm}$ od zdi. Druhá kulička do ní narazí, kuličky si opět dle zákona zachování hybnosti vymění rychlosti, takže se druhá kulička na místě zastaví a první kulička (původně v klidu) se vzdaluje pryč rychlostí v_k (viz obrázek). Naším úkolem je stanovit výslednou rychlost první kuličky a také

práci, kterou vykonáme při přesunu první kuličky rukou z její pozice ve vzdálenosti $y = 20$ cm od zdi (tam zůstala po první srážce) do vzdálenosti $l = 10$ cm od zdi.

Pro výpočet rychlosti uijeme zákon zachování mechanické energie, protože součet kinetické energie kuličky a potenciální energie pružiny musí být v každém okamžiku stejný.

Platí tedy:

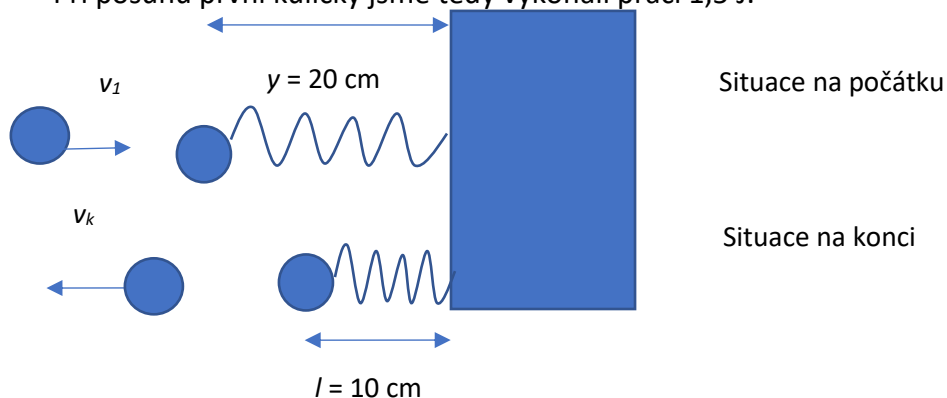
$$\frac{1}{2} \cdot m \cdot v_1^2 + \frac{1}{2} \cdot k \cdot y^2 = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_k^2 + \frac{1}{2} \cdot k \cdot l^2 \rightarrow v_k = \sqrt{\frac{m \cdot v_1^2 + k \cdot y^2 - k \cdot l^2}{m}} =$$

$$\sqrt{\frac{1 \cdot 10^2 + 100 \cdot 0,2^2 - 100 \cdot 0,1^2}{1}} = \sqrt{103} = 10,15 \text{ m/s.}$$

Koncová rychlost kuličky tedy je zhruba 10,15 m/s. Rukou vykonanou práci poté určíme jako rozdíl kinetických energie kuličky po ději a před dějem. Bude tedy platit:

$$W = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_k^2 - \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_1^2 = \frac{1}{2} \cdot 1 \cdot 103 - \frac{1}{2} \cdot 1 \cdot 100 = 1,5 \text{ J.}$$

Při posunu první kuličky jsme tedy vykonali práci 1,5 J.



Je tento příklad vypočítán v souladu se zákonem zachování energie? Pokud ne, v čem je problém (popř. jsou problémy)?

5 VÝZKUM, FORMULACE DOTAZNÍKU

Součástí této práce bylo vytvořit dotazník, který byl následně předložen žákům středních škol. Dotazník byl vytvořen pomocí programu Google Forms a odkaz na něj můžete najít v příloze této práce. Celkově online dotazník vyplnily dvě septimy ze dvou různých osmiletých gymnázií (jedno ve velkém městě, jedno v menším městě okresního formátu) dohromady v počtu 52 studentů. O výsledcích dotazníku se budu bavit v nadcházející kapitole.

Než byl dotazník žákům předložen a začali ho vyplňovat, byli žáci informováni o tom, že nemají hledat chybu ve výpočtech v ukázkových příkladech. Jediné, co mají zkoumat je, zda je zákon zachování energie správně použit, nebo se v něm nacházejí určité nesrovnalosti. Dotazník je pojmenován Chápání zákona zachování energie. V úvodu dotazníku jsou předloženy dvě otázky s možností výběru od jedné do deseti. První otázka je: *„Na škále od jedné do deseti uveďte, do jaké míry dle vašeho odhadu rozumíte zákonu zachování energie ve fyzice.“* a druhou otázkou je: *„Na škále od jedné do deseti uveďte, jak hodně je podle Vás zákon zachování energie důležitý pro fyziku.“* Poté již následovaly čtyři vyřešené úlohy, které vám byly představeny v minulé kapitole. U každé úlohy byla otázka stejná: *„Je tento příklad vypočítán v souladu se zákonem zachováním energie? Pokud ne, v čem je problém (popř. jsou problémy)?“* Žák mohl odpovědět „ano“, či „ne“, přičemž po záporné odpovědi ho čekala tato otázka: *„Pokud jste odpověděli na předchozí otázku ne, v čem je podle vás problém?“* Tato doplňující otázka byla formou otevřené odpovědi a žák se mohl vyjádřit k tomu co podle něj bylo v ukázkovém řešení špatně. Poslední část každé ukázkové úlohy byla zakončena otázkou: *„Na škále od jedné do deseti uveďte Vámi subjektivně vnímanou obtížnost u předchozí úlohy,“* kde žáci následně zaškrtili, jak obtížná jim úloha přišla.

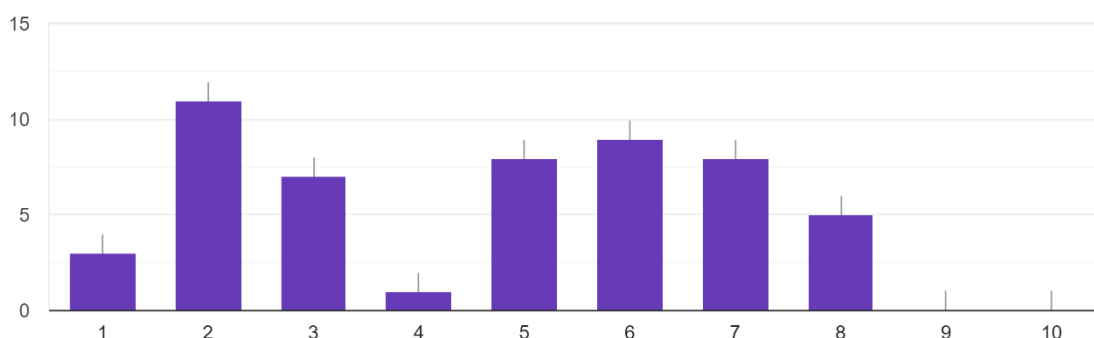
6 VÝSLEDKY DOTAZNÍKU

6.1 ÚVODNÍ OTÁZKY

Jak už bylo řečeno žáci, před rozhodováním o tom, zda jsou úlohy vypracovány správně v souladu se zákonem zachování energie, vyplňovali dvě jednoduché otázky. První byla:

Na škále od jedné do deseti uveďte, do jaké míry dle vašeho odhadu rozumíte zákonu zachování energie ve fyzice.

52 odpovědí



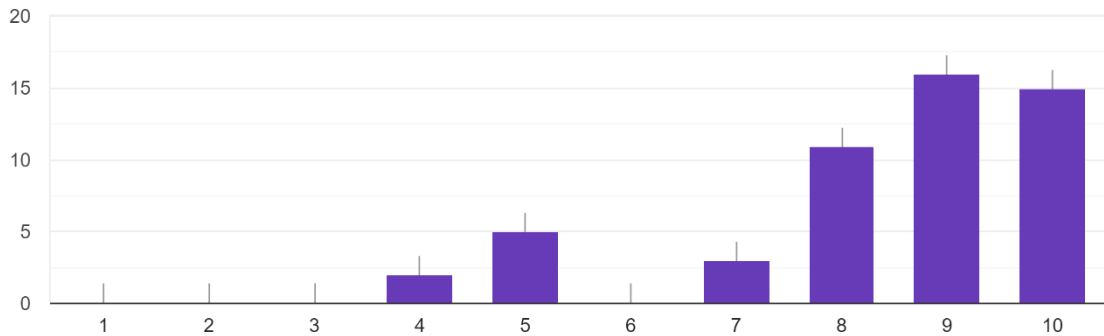
Obrázek 1, porozumění ZZE

V první otázce si většina žáků věřila, že rozumí zákonu zachování energie průměrně, až lehce nadprůměrně, s tím že z padesáti dvou tázaných žáků dvacet pět, tedy 48,7 %, odpovědělo, v rozmezí 5 až 7. Jedenáct žáků, tedy 21,2 %, odpovědělo na škále možností 2, tím pádem skoro zákonu zachování energie nerozumí. Tři žáci hlasovali, že zákonu zachování energie nerozumí vůbec a nejvyšší odpověď byla 8 a to u pěti žáků. Žádný žák netvrdil, že by zákonu zachování energie rozuměl perfektně.

Druhou otázkou byla:

Na škále od jedné do deseti uveďte, jak hodně je podle Vás zákon zachování energie důležitý pro fyziku.

52 odpovědí



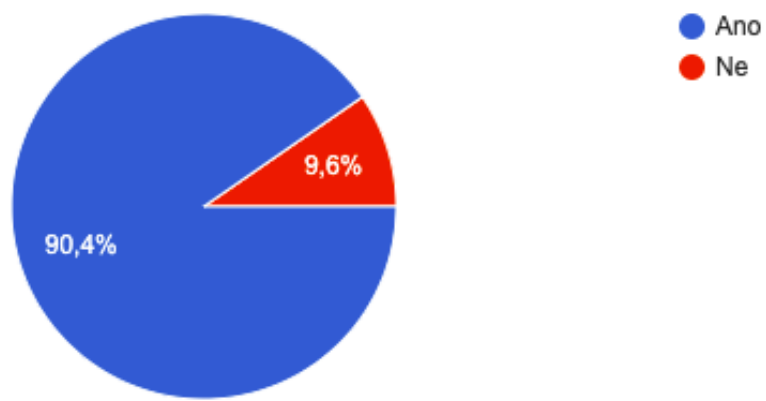
Obrázek 2, důležitost ZZE

Zde většina žáků odpověděla v rozmezí 8 až 10 a to čtyřicet dva žáků. Dle mého názoru by měla být odpověď v tomto případě 10, ale jsem rád, že si většina žáků myslela, že je zákon zachování energie, velmi důležitý. Celkově sedm žáků odpovědělo, že zákon zachování energie je průměrně důležitý pro fyziku. Vzhledem k odpovědím u předchozí otázky jsem rád, že nikdo nezaškrtl, že zákon zachování energie není pro fyziku nijak důležitý.

6.2 HOD MÍČEM SVISLE VZHŮRU – VÝSLEDKY

První úloha v dotazníku byla ze všech nejjednodušší, jednalo se o hod míčem svisle vzhůru a byla vyřešena správně v souladu se zákonem zachování energie. Zde čtyřiceti sedmi žáků odpovědělo, že zde je příklad vypočten v souladu se zákonem zachování energie a pouze pět že není. Jsem velmi rád, že valná většina určila správně, že je příklad vypočten v souladu se zákonem zachování energie, jelikož se jedná o standartní příklad zadávaný ve středoškolské fyzice. Zde ještě vkládám koláčový graf s odpověďmi žáků:

52 odpovědí



Obrázek 3, graf odpovědí první úlohy

Žáci, kteří odpověděli ne svou odpověď odůvodnili takto:

„Nemám tušení, co je zákon o zachování energie, to je problém.“ – V tomto případě není nutno jakkoliv odpověď žáka rozebírat

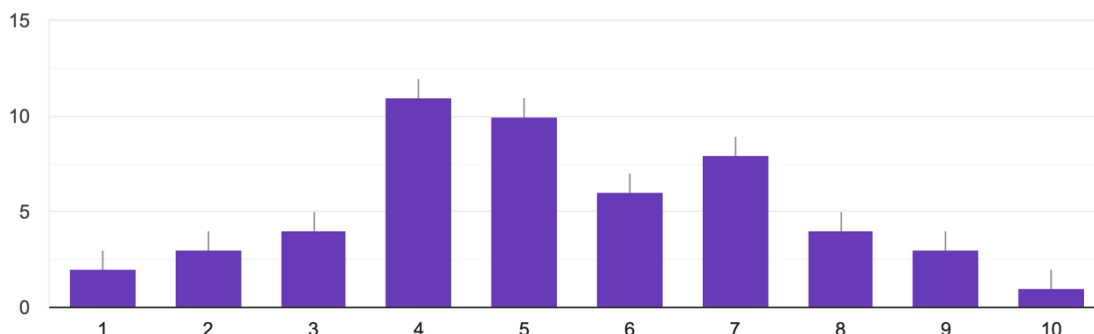
„Těleso nepředává žádnému tělesu svoji energii, pouze na něj působí tíhová síla, která jej vrací z maximální výšky zpět na zem. ZZE nemusíme použít.“ – Zde si žák pravděpodobně nepřčetl dostatečně správně položenou otázku. Otázka zněla: „Je tento příklad vypočítán v souladu se zákonem zachováním energie? Pokud ne, v čem je problém (popř. jsou problémy)?“ Tento příklad má i jinou možnost výpočtu, ale zde jsem se na jinou možnost výpočtu neptal.

Zbylé tři odpovědi byly podobného charakteru jako zde druhá odpověď. Žáci tedy neodpovídali na zadanou otázku.

Poslední částí této úlohy bylo říci, jak žákům daná úloha přišla obtížná. Odpovědi vypadali následovně:

Na škále od jedné do deseti uveďte Vámi subjektivně vnímanou obtížnost u předchozí úlohy.

52 odpovědí



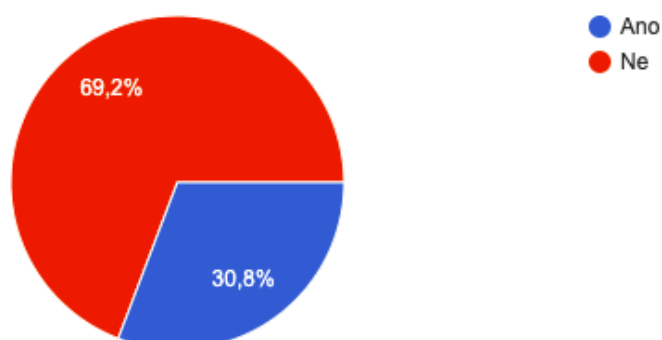
Obrázek 4, obtížnost první úlohy

Zde devět žáků, tedy 17,3 %, určilo že se jednalo o snadnou, nebo jen velmi málo obtížnou úlohu. Většina žáků a to 27 (51,9 %) určila, že se jednalo o středně obtížnou úlohu. Dvanáct (23,1 %) žáků řeklo, že se jedná o náročnější úlohu a čtyři (7,7 %) žáci tuto úlohu označili dokonce za velmi obtížnou. Jak už jsem zmiňoval, tato úloha byla, dle mého subjektivního názoru, ze všech nejjednodušší a lehce mne překvapilo, že většina žáků tuto úlohu shledala středně obtížnou.

6.3 SRÁŽKA AUTOMOBILŮ – VÝSLEDKY

Druhou úlohou byla srážka automobilů. Tato úloha byla vyřešena špatně pomocí zákona zachování energie. Zde většina žáků, a to třicet šest, určila správně, že je úloha vyřešena nesprávně. Zde vkládám koláčový graf odpovědí:

52 odpovědí



Obrázek 5, graf odpovědí druhé úlohy

Pokud se na úlohu podívá člověk, co se moc neorientuje ve fyzice, může si povšimnout, že když se dva automobily, jedoucí rychlostí 54 a 72 km/h, srazí, tak i kdyby se spojili, tak se můžeme logickým uvažováním dostat k závěru, že nemohou jet rychlostí 64 km/h. Tímto způsobem argumentovali někteří žáci. Zde jsou ukázky některých těchto odpovědí:

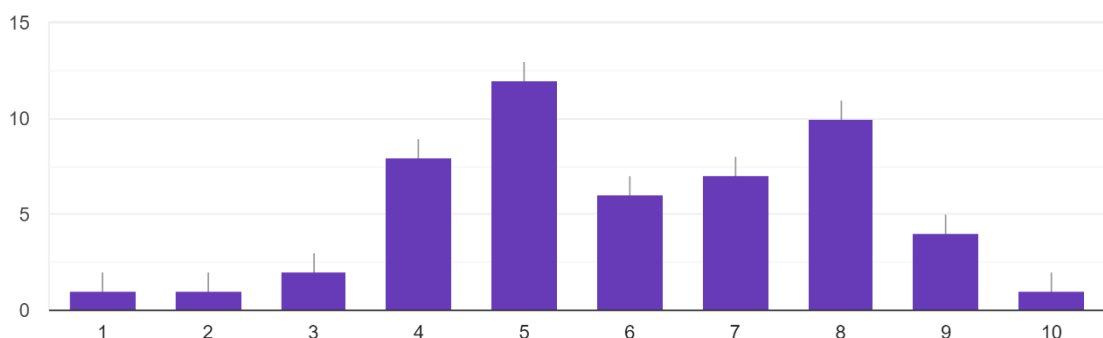
- „Mám pocit, že není možné, aby protijedoucí auta jela po srážce rychlostí větší než jedno z aut.“
- „Za mě je nesmysl, aby automobily po čelní srážce jely takhle velkou rychlostí.“
- „Nedokážu si logicky představit situaci, kdy se po čelní srážce budou vozidla pohybovat takovými rychlostmi, je moc velká“

Následně žáci správně určil, že tento příklad tímto způsobem počítat nelze, z důvodu deformace, nebo uvolnění energie do okolí. Zde je několik ukázek odpovědí:

- „Zcela zanedbává jakékoliv deformace a přeměnu v teplo.“
- „Část energie se přemění na teplo.“
- „Energie je spotřebována k deformaci vozidel.“

Obtížnost této úlohy byla většinou žáků určena jako středně obtížná, a to u dvaceti osmi (50 %) žáků. Za náročnější úlohu, ji označilo sedmnáct žáků (32,7 %). Za lehkou úlohu ji označili čtyři žáci (7,6 %) a za velmi obtížnou pět žáků (9,6 %). Osobně si myslím, že tato úloha je o něco více náročnější než první úloha, ale vzhledem ke špatnému výsledku, který “bije” do očí, by si měla většina žáků uvědomit, že je tento příklad špatně.

Na škále od jedné do deseti uveďte Vámi subjektivně vnímanou obtížnost u předchozí úlohy.
52 odpovědí

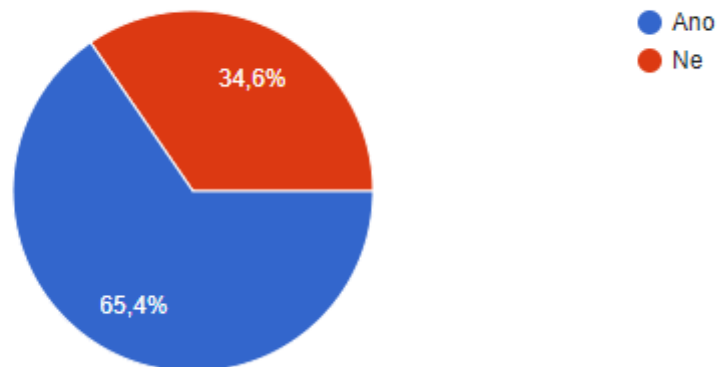


Obrázek 6, obtížnost druhé úlohy

6.4 VZDALOVÁNÍ DESEK DESKOVÉHO KONDENZÁTORU – VÝSLEDKY

Třetím příkladem bylo vzdalování desek deskového kondenzátoru. V této úloze zákon zachování energie neplatí a je v ní špatně užito zachování napětí, což vede následně k tomu, že bychom konali práci a energie pole by klesala. Toto je zajisté již náročnější úloha a třicet čtyři žáků tvrdilo, že je zde zákon zachování energie užít správně a pouze osmnáct určilo, že není. Zde přikládám koláčový graf

52 odpovědí



Obrázek 7, graf odpovědí třetí úlohy

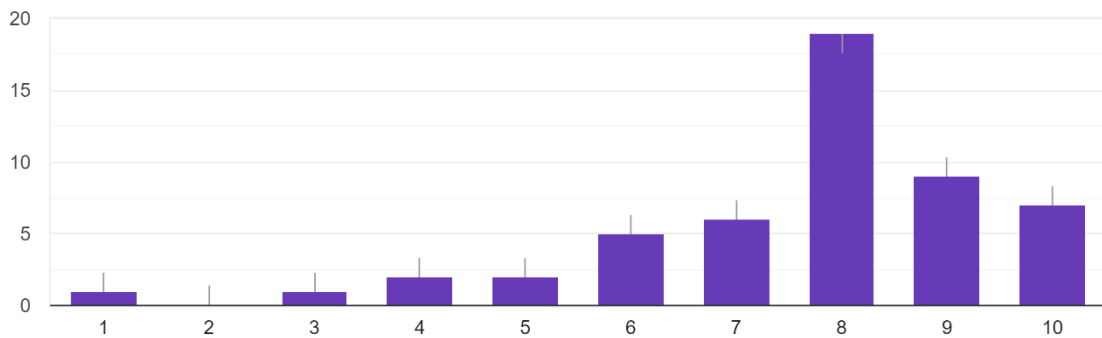
Zde vkládám ukázkou několika odpovědí žáků, proč si myslí, že je úloha vypočtena špatně:

- „Nevím, jaká je úměrnost/poměr v posouvání desek a zmenšování kapacity, osobně mi ale přijde, že tato úvaha nesedí. Zároveň nesouhlasím s tím, že by se ani trochu nezměnilo napětí na kondenzátoru.“
- „Při změně vzdálenosti desek od sebe se mění napětí na deskách.“
- „Nezůstává energie stejná na tom kondenzátoru, když my posuneme ty desky. pak vydáváme energii my, a ne ten kondenzátor.“
- „Změna energie elektrických polí nesouvisí s prací vykonanou pro posun desek“

Je vidět, že alespoň někteří žáci správně pochopili, že napětí se v dané situaci musí měnit či rozporovali nesmyslný výsledek, že my budeme konat práci a energie pole se sníží. Poslední z uvedených odpovědí je naopak ukázkou toho, kdy korektní tvrzení o nesprávnosti řešení bylo dosaženo na základě nesmyslného předpokladu o tom, že vykonaná práce a energie pole spolu nijak nesouvisí. Náročnost této úlohy byla na škále devatenácti žáků (36,5 %) hodnocena číslem 8, tedy jako náročnější úloha a za velmi obtížnou ji považovalo šestnáct žáků (30,7 %). Pouze jeden žák označil otázku za velmi lehkou. Zde přikládám graf k hodnocení obtížnosti úlohy:

Na škále od jedné do deseti uveďte Vámi subjektivně vnímanou obtížnost u předchozí úlohy.

52 odpovědí

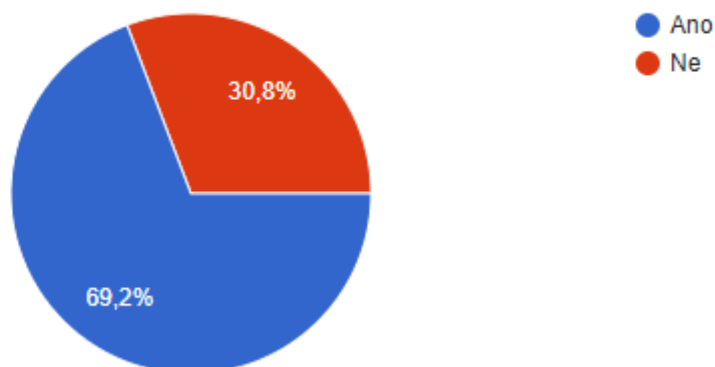


Obrázek 8, obtížnost třetí úlohy

6.5 DVĚ KULIČKY A PRUŽINA – VÝSLEDKY

Poslední úlohou byly dvě kuličky a pružina. Tato úloha byla dle mého subjektivního názoru nejtěžší. Zde je špatně určen vztah pro potenciální energii pružnosti a je zde nerozumně počítána práce při přesouvání kuličky rukou. Zde třicet šest žáků uvedlo, že je zde zákon zachování energie užit správně a šestnáct, že je užit nesprávně. Zde vkládám koláčový graf:

52 odpovědí



Obrázek 9, graf odpovědí čtvrté úlohy

Udělal mi velkou radost, že i u této úlohy někteří žáci správně odůvodnili, proč je tato úloha špatně. Zde jsou některé ukázky odpovědí:

- „Přesun kuličky, která není na pružině není energií nijak vázaná na druhou kuličku.“

- „Jakoby akorát ta práce vykonaná rukou si myslím, že bude jiná podle "normálního" vzorečku $W=F \cdot S$.“ – Zde žák správně určil, že práce vykonaná rukou bude jiná.
- „Pokud si obě kuličky vždy předávají navzájem stejné množství energie, není možné, aby kulička, která dostala energii stejné množství energie, jaké odevzdala v jiném místě, měla jinou výslednou energii.“

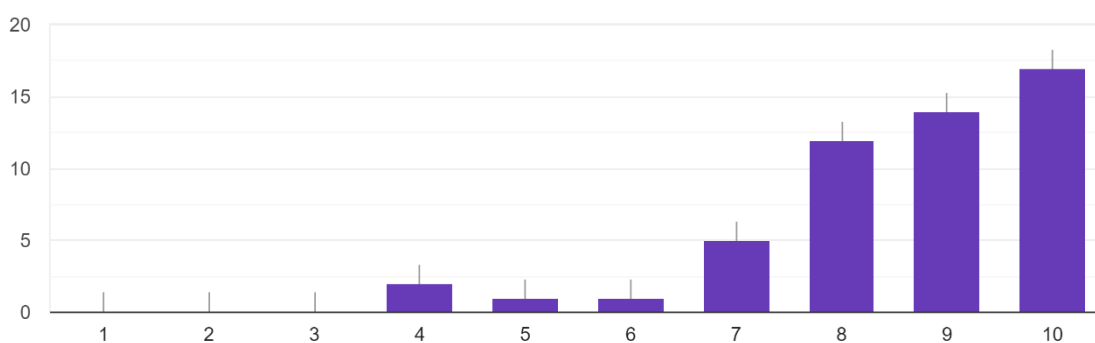
Problémem je, že pět žáků sice odpovědělo, že zákon zachování energie je zde špatně použit, avšak neodůvodnili validně svou odpověď. Ukázka odpovědí těchto žáků:

- „Upřímně nerozumím zadání příkladu.“
- „Instinkt“
- „Nevím, jestli to je dobře nebo ne.“
- Proto můžeme říci, že pouze jedenáct žáků odpovědělo správně a svůj závěr dokázali i (alespoň rámcově) relevantně odůvodnit.

Z hlediska obtížnosti, jak už jsem uvedl na začátku, mně osobně přijde tento příklad nejnáročnější a potvrzuje to i statistika odpovědí žáků. Celkem sedmnáct žáků (32,7 %) odpovědělo na stupnici obtížnosti číslem 10. Nikdo neodpověděl, že by úloha byla velmi jednoduchá, či jednoduchá. Zde přikládám sloupcový graf odpovědí:

Na škále od jedné do deseti uveďte Vámi subjektivně vnímanou obtížnost u předchozí úlohy.

52 odpovědí



Obrázek 10, obtížnost čtvrté úlohy

6.6 ZÁVĚR Z VÝSLEDKŮ DOTAZNÍKU

Žáci na začátku zkoumání většinou uvedli, že rozumí zákonu zachování energie pouze do určité míry a neovládají ho perfektně. Následně uvedli, že zákon zachování energie je pro fyziku důležitý. V následně prezentovaných úlohách si v první úloze vedli dobře a více než 90 % dotázaných žáků odpovědělo správně. V druhé úloze správně odpovědělo 69 % žáků,

avšak hodnocení obtížnosti se ve velké míře nezměnilo. U třetí úlohy správně odpovědělo pouze 35 % žáků. Tato úloha už byla náročnější, a to může být jak z důvodu, že si žáci nemusí úlohu dobře vizualizovat tak i z důvodu, že je použita náročnější výuková látka. Tato otázka byla žáky označena jako dosti náročná. Poslední úloha byla podle žáků nejnáročnější a souhlasím s nimi. V této úloze sice správně odpovědělo 31 % žáků, avšak svou odpověď dokázalo odůvodnit pouze 21 % z nich.

Z těchto výsledků můžeme říci, že žáci dokážou správně rozpoznat správnost použití zákona zachování energie pouze v jednoduchých modelových příkladech které na hodinách fyziky s velkou pravděpodobností někdy řešili, avšak v náročnějších úlohách s tím mají problém. Pokud si vezmeme, že toto je výsledek z víceletého gymnázia tak není tak úspěšný, jak jsem doufal, že bude. Zajisté pro vyvození větších závěrů by bylo zapotřebí udělat mnohem větší studii, která by zahrnovala ideálně celou Českou republiku. Také by bylo zajímavé zjištění, jak by si vedly jiné střední školy než gymnázia. Tuto možnost ponechávám na budoucí zkoumání, případně na jiné autory, kteří by se tímto tématem dále zabývali.

6.7 POROVNÁNÍ VÝSLEDKŮ S JINOU STUDIÍ

Snažil jsem se dohledat studii, která by zkoumala, zda žáci, kterým je předložena vypracovaná úloha, dokáží rozhodnout, zda podle nich je vypracována správně v souladu se zákonem zachování energie. Nepodařilo se mi takovouto studii dohledat, avšak přehledová studie pod názvem *Students' Misunderstandings about the Energy Conservation Principle: A General View to Studies in Literature (Tatar a Oktay, 2007)*, která vychází z několika dalších studií, pojednává o tom, proč žáci a studenti chápou zákon zachování energie špatně. V principu to může být dle autorů studie z těchto několika základních příčin:

- Energie se spotřebovává nebo ztrácí.
- Pokud energie zůstane v systému, energie se zachovává.
- Úbytek energie znamená její snižování.
- Úbytek energie je opak zachovávání energie.
- Zachování energie znamená ukládání energie.
- Spalování objektu s hmotností produkuje množství energie rovné rovnici $E = mc^2$.
- Energie je obsažena v jídle a palivě.

Závěrem této studie je: „Ačkoli je zachování energie považována za jednoduchý koncept a známý princip, v mnoha provedených studiích se zjistilo, že studenti často nerozumějí tomuto konceptu. Protože energie je důležitý koncept, který se týká našeho každodenního života, chyby studentů v chápání zákona zachování energie mohou mít škodlivý vliv na vědecké chápání zachování energie. Proto jsme došli k závěru, že by bylo přínosné vytvořit více studií o metodách, jak snížit nebo odstranit tyto nesrozumitelnosti, které mohou bránit ke správnému chápání zákona zachování energie.“ (Tatar & Oktay, 2007)

ZÁVĚR

Čtyřmi zásadami pro vypracování této práce bylo:

- 1) Na základě analýzy české i zahraniční literatury najít a popsat případy, kdy zdánlivě dochází k porušení zákona zachování energie,
- 2) Vybrat z uvedených případů ty, jež mohou být didakticky relevantní na úrovni ZŠ a SŠ, a formulovat na základě toho vhodné učební úlohy využitelné v praxi,
- 3) Realizovat s pomocí učebních úloh dle bodu 2 výzkumné šetření zaměřené na chápání zákona zachování energie a jeho případného narušení žáky, popř. učiteli,
- 4) Shrnout získané poznatky a na jejich základě formulovat doporučení pro výuku fyziky v praxi a náměty na případný další výzkum v této oblasti.

Prvním cílem bylo najít a popsat příklady, kdy zdánlivě dochází k porušení zákona zachování energie. Tohoto cíle bylo dosaženo v první a druhé kapitole této práce. Teoretických poznatků z této části bylo následně využito při zpracování zbylých částí bakalářské práce.

Druhým cílem bylo vybrat z uvedených příkladů ty, které jsou didakticky relevantní na úrovni základní a střední školy. Zde nastal problém a to takový, že příklady, u kterých zdánlivě dochází k porušení zákona zachování energie, jsou velmi náročné a dle mého názoru jsou pro běžnou základní či střední školu nepoužitelné. Proto jsem formuloval jiné příklady, které jsou jednodušší, a i tak s nimi žáci víceletého gymnázia měli problém.

Třetím cílem bylo realizovat výzkumné šetření zaměřené na chápání zákona zachování energie. Autor zde vytvořil šetření, které bylo realizováno pomocí online dotazníku přes Google Forms na dvou gymnáziích. Dotazník byl předložen a vyplněn na obou školách sedmým ročníkem víceletého gymnázia. Celkově dotazník vyplnilo padesát dva žáků.

Posledním cílem práce bylo shrnout získané poznatky, toto bylo provedeno v poslední kapitole této práce. Výsledek by se dal shrnout tím, že žáci si byli schopni poradit s jednoduchými úlohami, avšak u náročnějších úloh byla úspěšnost menší, než jsem očekával.

Dalo by se tedy konstatovat, že všechny cíle práce byly splněny. Přesto by se dalo dosáhnout lepších výsledků, pokud by výzkum byl proveden na více středních školách a

školách s odlišným zaměřením studia. Autor zde ponechává tuto možnost na budoucí zkoumání, případně na jiné autory, kteří by dále zpracovávali toto téma.

RESUMÉ

V této práci se autor zaměřuje na popsání zdánlivých poruch zákona zachování energie a zjišťuje, zda žáci na středních školách chápou zákon zachování energie.

Úvodní část je zaměřena na historii zákona zachování energie a následně na příklady zdánlivého porušení zákona zachování energie. Dále je oddíl věnovaný výuce energie ve školské fyzice. Na to navazují příklady didakticky relevantní na úrovni střední školy, kde se autor věnuje příkladům vhodným pro výzkum na střední škole. Zbytek práce je věnován formulaci dotazníku, který byl podán online formu žákům na středních školách a následnému výsledku dotazníku.

In this bachelor thesis, the author aims for the description of disorders of conservation of energy and finds out whether students in high school understand conservation of energy.

The introductory part is focused on the history of the law of conservation of energy and subsequently on examples of apparent violations of the law of conservation of energy. There is also a section dedicated to teaching energy in school physics. This is followed by didactically relevant examples at the high school level, where the author focuses on examples suitable for high school research. The rest of the work is devoted to the formulation of the questionnaire, which was administered online to high school students, and the subsequent results of the questionnaire.

SEZNAM LITERATURY

BARTELL, Lawrence S. Apparent paradoxes and instructive puzzles in physical chemistry. *Journal of Chemical Education*, 2001, 78.8: 1067.

DROSD, Robert; MINKIN, Leonid; SHAPOVALOV, Alexander S. Interference and the Law of Energy Conservation. *The Physics Teacher*, 2014, 52.7: 428-430.

FELBER, Vítězslav. Několik poznámek k první a druhé základní větě termodynamiky. *Časopis pro pěstování matematiky a fyziky*, 1909, 38.2: 177-184. HALILOVIC, Asila, et al. Students' Difficulties in Applying the Law of Conservation of Mechanical Energy: Results of a Survey Research. *European Educational Researcher*, 2021, 4.2: 171-192.

HORSLEY, S. A. R.; ARTONI, M.; LA ROCCA, G. C. Radiation pressure on a moving body: beyond the Doppler effect. *JOSA B*, 2012, 29.11: 3136-3140.

KOHOUT, JIŘÍ; MASOPUST, PAVEL. (2020). Paradox dvou kondenzátorů. Dostupné z http://vnuf.cz/sbornik/prispevky/pdf/24-09-Kohout_J.pdf KVASZ, Ladislav, et al. Inštrumentálny realizmus ako možné východisko teoretickej reflexie vyučovania matematiky. *Orbis scholae*, 2020, 14.1: 7-32.

LEE, Keeyung. The two-capacitor problem revisited: a mechanical harmonic oscillator model approach. *European Journal of Physics*, 2008, 30.1: 69.

MACH, Ernst. (1911). *History and Root of the Principle of the Conservation of Energy*. The open court publishing. Dostupné online na <https://jscholarship.library.jhu.edu/bitstream/handle/1774.2/34251/31151029395534.pdf>

O'CONNOR, William J. The famous 'lost' energy when two capacitors are joined: a new law?. *Physics Education*, 1997, 32.2: 88.

OPITZ, S. T., et al. Students' energy understanding across biology, chemistry, and physics contexts. *Research in Science Education*, 2019, 49.2: 521-541.

PITTS, J. Brian. Conservation of energy: Missing features in its nature and justification and why they matter. *Foundations of Science*, 2021, 26.3: 559-584.

RANDA, Miroslav, et al. *Fyzika 8 - nová generace*. Plzeň, Fraus, 2018. ISBN 978-80-7489-392-6.

SCHUBERT, Frederic E. Rumford's Experimental Challenge to Caloric Theory: "Big Science" 18th-Century Style with Important Results for Chemistry and Physics. *Journal of Chemical Education*, 2019, 96.9: 1955-1960.

TATAR, Erdal; OKTAY, Munir. Students' Misunderstandings about the Energy Conservation Principle: A General View to Studies in Literature. *International Journal of Environmental and Science Education*, 2007, 2.3: 79-81.

Online zdroje

Ancient Philosophy | University of Michigan [online]. Copyright ©HJcE [cit. 29.06.2022]. Dostupné z: <https://ancphil.lsa.umich.edu/-/downloads/faculty/janko/empeocles-nature.pdf>

Conservation of energy - Wikipedia. [online] [cit. 29.06.2022]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Conservation_of_energy#Mechanical_equivalent_of_heat

Rausser College of Natural Resources, UC Berkeley [online]. Copyright ©E [cit. 29.06.2022]. Dostupné z: <https://nature.berkeley.edu/departments/espm/env-hist/articles/2.pdf>

Realistická učebnice matematiky a fyziky[online]. Copyright © 2010 [cit. 30.06.2022]. Dostupné z: <http://www.realisticky.cz/>

edu.cz – Jednotný metodický portál MŠMT (RVP pro gymnázia) [online]. Copyright ©M [cit. 30.06.2022]. Dostupné z:

https://www.edu.cz/wp-content/uploads/2021/09/001_RVP_GYM_-_vzpracovane_zmeny.pdf

Rámcový vzdělávací program pro základní vzdělávání (RVP ZV) – edu.cz. edu.cz – Jednotný metodický portál MŠMT [online]. Copyright © 2020 [cit. 30.06.2022]. Dostupné z: <https://www.edu.cz/rvp-ramcove-vzdelavaci-programy/ramcovy-vzdelavacici-program-pro-zakladni-vzdelavani-rvp-zv/>

SEZNAM OBRÁZKŮ, TABULEK, GRAFŮ A DIAGRAMŮ

Obrázek 1, porozumění ZZE	27
Obrázek 2, důležitost ZZE.....	28
Obrázek 3, graf odpovědí první úlohy.....	29
Obrázek 4, obtížnost první úlohy	30
Obrázek 5, graf odpovědí druhé úlohy	30
Obrázek 6, obtížnost druhé úlohy.....	31
Obrázek 7, graf odpovědí třetí úlohy.....	32
Obrázek 8, obtížnost třetí úlohy	33
Obrázek 9, graf odpovědí čtvrté úlohy	33
Obrázek 10, obtížnost čtvrté úlohy.....	34

PŘÍLOHY

<https://forms.gle/c7AvMumadqDebz9M7>