

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta aplikovaných věd

Spintronics - mechanická stavebnice modelující elektrické
obvody a její využití ve školské praxi

DIPLOMOVÁ PRÁCE



FAKULTA APLIKOVANÝCH VĚD
ZÁPADOČESKÉ UNIVERZITY
V PLZNI

KATEDRA
FYZIKY

Spintronics - mechanická stavebnice modelující elektrické obvody a její využití ve školské praxi

Spintronics - building kit modeling the electric circuit
and its usage in schools

Bc. Daniel Eret

Vedoucí práce: PhDr. Pavel Masopust, PhD., katedra
matematiky, fyziky a technické výchovy

Plzeň 2024

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta aplikovaných věd
Akademický rok: 2023/2024

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Daniel ERET**
Osobní číslo: **A22N0019P**
Studijní program: **N0114A300082 Učitelství fyziky pro střední školy**
Téma práce: **Spintronics – mechanická stavebnice modelující elektrické obvody a její využití ve školské praxi**
Zadávací katedra: **Katedra fyziky**

Zásady pro vypracování

1. Definovat oblast využití modelů ve výuce fyziky
2. Definovat termíny prekoncept a miskoncept, prozkoumat prekoncepty a miskoncepty v tématickém celku elektrický obvod a elektrický proud
3. Analýza stavebnice Spintronics; její funkčnosti, vhodnosti pro využití ve výuce a zhodnocení pokusů obsažených v návodech stavebnice
4. Vytvořit instruktážní manuál pro implementaci do výuky
5. Výzkum ve školní praxi se stavebnicemi zaměřený na práci s prekoncepty a miskoncepty



Rozsah diplomové práce: **40-60 stran**
Rozsah grafických prací:
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná**

Seznam doporučené literatury:

- VACHEK, J. a. O. L. *Modelování a modely ve vyučování fyzice*. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 1980. Edice metodických příruček.
- KAŠPAR, E. *Didaktika fyziky: obecné otázky*, 1978.
- MANDÍKOVÁ, Dana a TRNA, Josef. *Žákovské prekoncepce ve výuce fyziky*. Brno: Paido, 2011. ISBN 978-80-7315-226-0.
- SVOBODA, Emanuel a KOLÁŘOVÁ, Růžena. *Didaktika fyziky základní a střední školy: vybrané kapitoly*. Učební texty Univerzity Karlovy v Praze. Praha: Karolinum, 2006. ISBN 80-246-1181-3.
- SEDLÁK, Bedřich a ŠTOLL, Ivan. *Elektrina a magnetismus*. Vyd. 3., V nakl. Karolinum 2. Praha: Karolinum, 2012. ISBN 978-80-246-2198-2.
- UHLÍŘ, Ivan. *Elektrické obvody a elektronika*. Vyd. 2., přeprac. Praha: Nakladatelství ČVUT, 2008. ISBN 978-80-01-03932-8.
- MYSLÍK, Jiří. *Elektrické obvody: příručka pro praxi a učebnice pro střední a vysoké školy*. 2. vyd. Praha: BEN, 1998. ISBN 80-86056-19-8.

Vedoucí diplomové práce: **PhDr. Pavel Masopust, Ph.D.**
Katedra matematiky, fyziky a technické výchovy

Datum zadání diplomové práce: **15. října 2023**
Termín odevzdání diplomové práce: **31. května 2024**



Doc. Ing. Miloš Železný, Ph.D.
děkan

Doc. Ing. Pavel Baroch, Ph.D.
vedoucí katedry

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně a veškeré použité prameny uvedl v seznamu použité literatury.

V Plzni dne 21. 5. 2024

Bc. Daniel Eret

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat PhDr. Pavlu Masopustovi, Ph.D. za vedení diplomové práce, zprostředkování stavebnice Spintronics a taktéž za odborné rady. Poděkování patří též doc. Mgr. Jiřímu Kohoutovi, Ph.D., který poskytl cenné rady při sestavování konceptového testu využitého v této práci.

Obsah

1	Úvod	1
2	Analogické modely	3
2.1	Pojem modelu	3
2.2	Pojem analogie	4
2.3	Modely ve výuce	5
2.3.1	Druhy výukových modelů	5
2.3.2	Modely mezi výukovými metodami	7
2.3.3	Výhody a limitace analogických modelů	10
3	Prekoncepty a miskoncepty	14
3.1	Žákovské prekoncepty a miskoncepty	14
3.2	Práce učitele s žákovskými prekoncepty a miskoncepty	16
3.2.1	Diagnostika prekonceptů a miskonceptů	16
3.2.2	Využití prekonceptů ve výuce	17
3.2.3	Nahrazování miskonceptů	18
3.3	Miskoncepty v tématickém celku elektrický obvod a elektrický proud .	19
4	Stavebnice Spintronics	22
4.1	Spintronics jako analogický model	22
4.1.1	Spintronics a schéma elektrického obvodu	22
4.1.2	Veličiny popisující elektrický obvod a <i>spin jednotky</i>	24
4.2	Zpracování fyzických stavebnic	28
4.2.1	Součástky	29
4.2.2	Zpracování návodů	35
4.2.3	Obvody obsažené v návodech	36
4.3	Internetová simulace	38
4.4	Zhodnocení stavebnice Spintronics	40
5	Implementace stavebnice Spintronics do výuky	43
5.1	Zásady pro správné použití stavebnice	43
5.2	Konkrétní možnosti implementace do výuky	45
5.2.1	Metodický list - Rezistory a jejich skládání	47

5.2.2	Metodický list - Kondenzátory	51
5.2.3	Metodický list - Oscilační obvody	55
6	Výzkum	58
6.1	Koncepce a záměr výzkumu	58
6.1.1	Konceptový test	59
6.2	Realizace výzkumu	60
6.3	Výsledky a jejich zhodnocení	60
6.4	Návrh budoucího výzkumu	63
7	Závěr	65
	Seznam obrázků	67
	Seznam tabulek	68
	Seznam použité literatury	69
A	Obvody v online simulátoru Spintronics	I
B	Pracovní list - Rezistory a jejich skládání	II
C	Pracovní list - Kondenzátory	V
D	Testové otázky použité pro výzkum	VIII
E	Pracovní list - Rezistory a jejich skládání (modifikovaná verze)	XI

Anotace

Tato diplomová práce se zabývá možností využití mechanické stavebnice Spintronics, jež modeluje elektrické obvody, v rámci výuky fyziky.

Úvodní část je zaměřena na význam modelů a analogií, jejich konkrétní druhy a praktické využití. Dále prozkoumává žákovské prekoncepty a miskoncepty, jejich vznik a možné způsoby práce s nimi. Hlavní důraz je přitom kladen na jejich představy týkající se elektrických obvodů.

Následuje vlastní rozbor stavebnice Spintronics zaměřený na její fungování a realizaci analogie, jež využívá. Zvláštní pozornost je přitom kladena na školskou praxi, k čemuž zde naleznete i pasáž, doporučující několik aktivit s touto stavebnicí.

Poslední částí je výzkum její využitelnosti ve školním prostředí a zhodnocení výsledků.

Anotation

This master's thesis deals with the possibility of using the mechanical kit Spintronics, which models electrical circuits, within the framework of teaching physics.

The introductory part is focused on the importance of models and analogies in teaching, their specific types and use. It also explores student preconceptions and misconceptions, their origin and possible ways of working with them. The main emphasis is placed on students' ideas about electrical circuits.

The following is the own analysis of the Spintronics kit, focusing on its operation and the implementation of the analogy it uses. Special attention is paid to the use in school practice, for which the thesis also includes a passage recommending several activities with this kit.

The last part of the work is research of the usability of the Spintronics kit in school practice and evaluation of its results.

1 Úvod

Výuku každého předmětu je vhodné doplňovat o její různorodé formy, jež dokáží zaujmout pozornost studentů, taté však musí odpovídajícím způsobem předávat podstatné informace o probírané látce. Mezi jednu z těchto forem výuky můžeme zařadit přiblížení zkoumaného jevu či objektu pomocí modelů či analogií.

Konkrétním příkladem využití výuky pomocí zjednodušených modelů jsou edukativní stavebnice elektrických obvodů určených pro základní či střední školy. Pro školní potřeby pak často tyto stavebnice tvoří upravené elektronické součástky, ty však nemusí dosáhnout dostatečné názornosti (kupříkladu na úrovni pohybu nosičů náboje vodičem), což může vést k vývoji miskonceptů v této oblasti. Jedním z relativně nových pokusů o předání patřičných informací o elektrickém obvodu žákům formou analogického modelu je stavebnice Spintronics od společnosti Upper Story, LLC. Ta převádí problém elektrického obvodu na zkoumání mechanické interakce ozubených kol a řetězů, jež by měly názorně reprezentovat základní vlastnosti elektrických obvodů. Hlavní náplní této práce je zjistit, zda je stavebnice Spintronics vhodným modelem elektrického obvodu pro využití při výuce tohoto tématického celku na základních a středních školách.

Cíle této diplomové práce jsou rozděleny do pěti částí, jimiž jsou:

1. Definovat oblast využití modelů ve výuce fyziky,
2. Definovat termíny prekoncept a miskoncept, prozkoumat prekoncepty a miskoncepty v tématickém celku elektrický obvod a elektrický proud,
3. Analýza stavebnice Spintronics; její funkčnosti, vhodnosti pro využití ve výuce a zhodnocení pokusů obsažených v návodech stavebnice,
4. Vytvořit instruktážní manuál pro implementaci do výuky,
5. Výzkum ve školní praxi se stavebnicemi zaměřený na práci s prekoncepty a miskoncepty.

V první části se autor zaměří na význam modelů a analogií ve výuce jako takové, jejich konkrétní druhy, rozdělení a následně jejich konkrétní využití ve výuce fyziky. Hlavní důraz zde bude kladen na stanovení oblasti využití modelů, jejich výhody a případné limitace či kritiku.

Druhá část bude zaměřena na žákovské prekoncepty a miskoncepty, jejich vznik a možné způsoby využití vhodných prekonceptů, případně předcházení či napravení již existujících mylných představ. Hlavní důraz bude kladen na žákovské představy týkající se reálií elektrických obvodů, od probíhajících fyzikálních dějů po přítomné veličiny.

Následovat bude rozbor vlastní stavebnice Spintronics. Zde se autor soustředí jednak na její fungování se zvláštním důrazem na zavedení analogie, jež využívá. Dále se pozastavuje nejen nad jejím celkovým provedením a limitací použité analogie, ale i nad ilustračními obvody prezentovanými v návodech stavebnice z hlediska využití ve výuce. Vytipuje obvody vhodné pro školskou praxi, případně které jsou v tomto ohledu nevhodné. Samostatně pak bude věnovat pozornost online simulátoru stavebnice Spintronics, který umožňuje uživatelům vyzkoušet si ji bez předchozího zakoupení.

Čtvrtou částí, přímo navazující na části předchozí, je vytvoření krátkého instruktážního manuálu pro učitele fyziky, kteří by chtěli tuto pomůcku využít ve své praxi. Manuál bude obsahovat nejen pokyny k obsluze, převzaté z originálního anglického textu, ale i doporučení na několik základních ukázek či skupinových prací pro žáky. Jako doprovod těchto informací je i popis samotné analogie, jež je obsažen v předchozí části. Důležitost tohoto popisu spočívá v potřebě korektní prezentace analogického modelu žákům, zejména aby se zabránilo vytvoření miskonceptů z důvodu nepochopení vztahu mezi modelem a reálným systémem.

Poslední částí práce bude samotný výzkum ve školní praxi, během kterého bude autor zjišťovat jaký má ve skutečnosti stavebnice Spintronics dopad na podporu korektních představ o fyzikální skutečnosti, ať už v kladném či záporném smyslu. K tomu využijeme konceptového testu a jedné z navržených aktivit z předcházející části. V neposlední řadě, po vyhodnocení stávajícího výzkumu, navrhne navazující, jež by měl podrobněji prozkoumat možnosti zavedení stavebnice Spintronic coby pomůcky do výuky fyziky.

2 Analogické modely

Důležitým aspektem ve výuce přírodních věd je názornost [1]. Té můžeme dosahovat jak pomocí zapojení většího množství smyslových receptorů žáků, tak srozumitelnějšími příklady či analogiemi. Ty mají silnou pozici ve vyučovacím procesu. Již Komenský je zařazuje mezi tři základní metody poznání. Po analytické a syntetické metodě jmenuje metodu synkritickou, srovnávací. Vyzdvihuje hledání společných znaků mezi jednoduššími a komplikovanějšími koncepty, přičemž znalost prvních jmenovaných může dopomoci k pochopení složitějších konstruktů [2].

Totéž se dá říci o modelech, jejichž součástí jsou i analogické, které budou v rámci této práce nadále ztotožňovány s analogiemi jako takovými. Pro jejich co možná nejefektivnější používání je však potřeba znát jejich místo v pedagogické praxi. Kdy a jak je integrovat do výukového procesu, ale i jejich limitace. K tomu patří i případné způsoby, který mohou naopak žákům aktivně bránit ve správném pochopení modelované skutečnosti.

2.1 Pojem modelu

Informace čerpané z [3], str. 7–10.

Původ modelů můžeme najít ve starověku, kdy bylo mezi učenici užíváno myšlenkových konstruktů sloužících k logickému rozšíření dříve vnímaných a pochopených skutečností. Vznikl tak mimo jiné Demokritův model atomu, či Ptolemaiov geocentrický model vesmíru. Samotné jejich označení pochází z latinského slova *modus*, případně *modulus*, s významem míry, způsobu.

K většímu pokroku ve významu pojmu dochází až v 16. století, kdy se objevuje italské označení *modello*, definované jako předobraz, případně vzor. V této době bylo hojně používáno zejména v umění, jmenovitě pro označení předlohy konečného díla, zhotoveného zpravidla z odlišného materiálu. Následně se dostal do technických oborů, kde byl spojován zejména se zobrazením nastíněného objektu v patřičném měřítku.

Základy vědeckých modelů, jak je známe dnes, nacházíme v 17. století v pracích Newtona či Galilea, ačkoli se pro ně toto označení začalo používat až později. Myšlenka zkoumání náhradního modelovaného objektu (fyzického či myšleného),

namísto operování s nedostupnými složitějšími koncepty, byla nápomocná při utváření vědeckého poznání.

Samy byly již v druhé polovině 19. století zkoumány, zdali jsou patřičným nahrazením zkoumaných jevů, případně kterých podmínek musí být dosaženo, aby model adekvátně přibližoval požadovaný objekt vědeckého zájmu. Velkou roli v této době také hraje matematické modelování přírodních jevů, čemuž v nemalé míře dopomohla Maxwellova snaha o vytvoření uceleného matematického popisu elektromagnetických jevů [4].

V minulém století byly rozšířeny téměř do všech odvětví vědy. Jejich hlavní funkcí je pomoc při získávání nových informací, spojená s názorností, která je pro mnohé z nich typická. Pro co největší akurátnost znalostí, získaných skrze modelování skutečnosti, je nutná i jistá míra podobnosti mezi originálním objektem a jeho modelem, ke které se vrátíme níže v této kapitole.

2.2 Pojem analogie

Analogie představuje obdobu či podobnost, případně úsudek opírající se o podobnost nebo stejné vlastnosti [5]. Samotné slovo analogie původně pochází z řeckého *analogon*, značící správný směr či shodu vztahů. Původně značilo harmonickou úměrnost mezi čísly, jak jej používal Archytás z Tarentu. Postupně však nabylo na významu, jež je uplatnitelný i mimo aritmetiku. Dodnes se tedy jedná o důležitou součást rozmanitých vědeckých oborů, od přírodovědných po filozofické a jazykové [6].

Pro potřebu této práce se však autor zaměří na význam analogie z hlediska využití ve fyzice. Použití v tomto kontextu můžeme najít již u Newtona v jeho spisu *O stálých barvách přírodních těles a analogii mezi nimi a barvami tenkých průzračných destiček* [3]. Tento pojem však neměl ve fyzice přesně zakotvenou definici či pravidla pro použití.

S těmi přichází až Maxwell, který je podle Vachka a Lepila zformuloval takto: „Pod pojmem fyzikální analogie rozumím tu dílčí shodu mezi zákony libovolných oblastí vědy, díky jíž se jedna jeví jako ilustrace druhé. V tomto smyslu každé užití matematiky ve vědě je založeno na vzájemném vztahu zákonů, které platí pro fyzikální veličiny, a zákonů matematiky. Cílem exaktních věd je převést problémy

přírodovědy na určení veličin pomocí početních operací. Přecházejíce od nejobecnější analogie k speciálním, nalézáme souhlas v matematickém tvaru jevů dvou různých oblastí přírody ...“ [3].

Přesto je u nich nutné dodržet jistá pravidla, aby vyvozované výsledky byly platné pro původní systém. Proto, existuje-li mezi původním objektem a analogií homomorfismus, a poskytuje-li o původním modelu nové informace, můžeme takové příklady využít jako fyzikálního modelu a při zkoumání s ní nahradit původní objekt [3]. To se však nemusí povést u všech. Ty však lze i nadále použít v edukačním procesu. Otázkou v tomto případě však zůstává, zda-li je takováto analogie vhodnou náhradou za vyučovaný děj, případně poskytuje-li studentům dostatečně nezkreslené informace, aby si nemohli utvářet mylné závěry.

2.3 Modely ve výuce

Modely fyzikálních systémů ve výuce mohou mít výrazně odlišné efekty na kvalitu výchovně-vzdělávacího procesu na základě jejich druhu a implementace. Proto je vhodné zamyslet se nejen nad samotným modelem, ale i nad výukovými metodami, jimiž jej chceme žákům prezentovat.

Z těchto důvodů se nejprve autor zaměří na jednotlivé druhy edukačních modelů, jež by bylo možné zahrnout do výuky fyziky. Dále představí výukové metody, jež jsou s nimi kompatibilní.

2.3.1 Druhy výukových modelů

Obecně mohou být modely jak myšlenkové, idealizované konstrukty, tak i fyzicky proveditelné a názorné struktury. Můžeme je tedy dělit na jednotlivé druhy. Obdobně jako u výukových metod, i rozdělení výukových modelů se liší podle autorů, proto bude nadále použita kombinace dělení nacházející se v publikacích *Modelování a modely ve vyučování fyzice* (str. 14–19; 50–95) [3] a *Didaktika fyziky: obecné otázky* (str. 309–312) [4].

Materiální modely využívají geometrické podobnosti k zobrazení prostorových vlastností modelovaného systému. Typicky zachovávají poměry délek a fyzické rozmístění jednotlivých částí soustavy. Mohou však rovněž zachycovat podobnost na základě pohybových vlastností originálního objektu,

případně posměnění časový interval, ve kterém se sledovaný jev děje. Můžse se jednat o jeho prodloužení (např. v rámci modelů spalovacích motorů), případně jej zrychlí (např. u jevů probíhajících u kosmických objektů), aby byly vnímatelné lidskými smysly. Totéž platí i pro velikost daného modelu v závislosti na modelované realitě.

Dalším druhem jsou **ideální modely**. Ty mohou být jednak fyzické nebo pouze myšlenkové. Jedná se o idealizované náčrtky reálných systémů, které zjednodušují fyzikální realitu do uchopitelnější podoby. Díky tomu lze zvýšit názornost modelovaného objektu díky bezprostřednímu charakteru modelu. Ten operuje zejména za pomoci logických úvah.

Tyto náčrtky mohou mít podobu *grafických* modelů, zejména zastoupených náčrtky systémů či schémata různých dějů. Mezi ně lze zařadit zakreslování magnetických indukčních čar v okolí magnetu, schémata užívaná při řešení příkladů v geometrické optice, případně znázornění sil působících na těleso.

Ve všech těchto případech však můžeme na základě domluvy či předchozích zvyklostí zařadit namísto grafické reprezentace zkoumaného systému sérii symbolů. Ty by měly vést k větší přehlednosti na úkor bližší fyzické podobnosti mezi modelovaným systémem a náčrtem. V takovém případě mluvíme o modelu *znakovém*.

Dalším zjednodušením úvah můžeme dostat tzv. *idealizaci*. Ta v konkrétním modelu umožňuje libovolnou míru abstrakce a zjednodušení. Lze se tedy za jejich pomoci zaměřit pouze na jeden aspekt či veličinu vystupující ve fyzikálním systému. Klasickým příkladem může být i vynechat z úvah odpor vzduchu při řešení problematiky šikmých vrhů. Ve skutečnosti však tyto idealizace nejsou realizovatelné. Přesto nám pomáhají přiblížit určité problémy studentům tak, aby jim v jejich pochopení nebránil stupeň jimi dosaženého poznání matematického aparátu.

Mezi ideální modely patří i *analogické*. Jejich základem je schopnost porovnávat a srovnávat dvě soustavy různé fyzikální podstaty na základě jejich struktury. Často se může jednat o matematicky shodně či obdobně vyhlížející vyjádření fyzikálních vztahů. Díky této všestrannosti se můžeme s tímto typem setkat nejen u historických analogií, jako byl mimo jiné Rutherfordův planetární model atomu, nýbrž i u přirovnání užívaných ve vyučovací praxi. Příkladem toho může být

například porovnání matematického vyjádření vztahů pro kinematiku translačního pohybu a obdoby pro kinematiku pohybu rotačního. Takovéto modely tedy můžeme využít pro různé pozitivní efekty, od dopomoci k zapamatování si nových fyzikálních vzorců, až po předpovídání nových teoretických souvislostí v modelovaném systému. Přesto na tyto efekty nemůžeme plně spoléhat, jak budeme rozebírat níže v této práci.

Modely znakové jsou pak jistým rozšířením modelů ideálních. U nich, i přes jejich zjednodušenou povahu, jsou stále přítomny prvky do jisté míry podobné původnímu systému. Znakové nebo ikonické modely však nahrazují i tyto prvky pro dosažení co největšího zjednodušení klasicky velmi složitých soustav. Zahrnují proto pouze nejobecnější vztahy mezi modelem a realitou bez většího důrazu na specifické detaily.

Do jisté míry můžeme tedy do této kategorie zařadit i *matematické vyjádření* fyzikálního děje, kde jednotlivé prvky soustavy nahradíme symbolickým označením veličiny. Vztahy mezi těmito prvky jsou následně reprezentovány pomocí matematických operací.

Posledním druhem kombinujícím prvky modelů grafických, ideálních, matematických a znakových, je kategorie *kybernetické*, či *počítačové*. Ty nám umožňují modelovat závislosti fyzikálních veličin, případně i průběhy fyzikálních dějů. Jejich výhodou je možnost rychlé úpravy vstupních parametrů, jež by u reálného systému nešly pozměnit. Stále je však nutné mít na paměti, že se jedná pouze o simulaci reálných procesů, tedy že počítačem zobrazovaný děj odpovídá realitě pouze do té míry, do jaké je obsáhlý matematický model, na jehož základě operuje.

2.3.2 Modely mezi výukovými metodami

Výukové metody jsou podle Maňáka a Švece „uspořádaný systém vyučovací činnosti učitele a učebních aktivit žáků směřující k dosažení výchovně-vzdělávacích cílů“ [7]. Jedná se o prostředky, postupy a návody [8], pomocí kterých se snažíme dosáhnout cílů vzdělávání v krátkodobém i dlouhodobém horizontu.

Konkrétní by měly být voleny v souladu s didaktickými zásadami, aby nenarušovaly vzdělávací proces. Zároveň je nutné přihlídnout k individuálním

zvláštnostem jednotlivých žáků, třídy jako celku, specifik vyučovaného předmětu, ale také konkrétního učitele. Neboť i samotná osobnost vyučujícího může ovlivnit průběh výukové situace. Proto je nutné brát v potaz tyto faktory, společně s vhodnou kombinací zvoleného modelu, s preferovanými výukovými metodami daného kantora, aby se mohly organicky zařadit do jeho učebního plánu.

Můžeme je rozdělit do mnoha podkategorií se společnými rysy, jež nám usnadní orientaci v jejich využití a stěžejních prvcích. Odborná didaktická literatura však v tomto směru není zcela jednotná, jak je možné vidět například v knize *Vyučovací metody* od L. Mojžíška [9]. Pro účely této práce proto autor použil rozdělení výukových metod z publikace *Výukové metody* (str. 46–130; 186–190) [7].

V té se vychází z rozdělení do tří větších skupin na základě stupně složitosti edukačních vazeb [7]. Těmito skupinami jsou výukové metody **klasické**, **aktivizující** a **komplexní**.

Mezi **klasické výukové metody** jsou zařazeny další podkategorie, konkrétně *slovní*, *názorně-demonstrační* a *dovednostně praktické*.

Do první z nich jsou zahrnuty vyučovací postupy spoléhající na vyprávění, rozhovor, práci s textem či vysvětlování. Poslední jmenovaný způsob nás přitom v návaznosti na implementaci fyzikálních modelů bude zajímat nejvíce.

Vysvětlování se vyznačuje logickým a systematickým postupem při zprostředkování učiva [7], přičemž respektuje žákem dosaženou úroveň poznání a neustále reflektuje jeho míru pochopení vysvětlovaného objektu [8]. V jeho průběhu by měl být kladen důraz zejména na názornost, aby studenti nebyli příliš zatěžováni novými odbornými pojmy, přesto by se z výkladu neměla vytratit vědeckost jako taková. Důležité je tedy opírat se o logické procesy, ať už dedukci, indukci, srovnání či analogii [7].

Do skupiny *metod názorně-demonstračních* je zařazeno předvádění a pozorování, práce s obrazem a instruktáž. Všechny spoléhají zejména na působení na smysly žáků pro zvýšení názornosti vyučování [8].

Ačkoli by se dalo tvrdit, že předvádění a pozorování jsou dvě odlišné činnosti, ve školním prostředí jsou tyto procesy propojené, neboť to, co učitel předvádí či ukazuje, musí žáci pozorovat [9]. Předmětem pak může být jak zkoumaný objekt výuky, tak i jeho adekvátně zjednodušený model či náskres, se kterými souvisí

metoda *práce s obrazem*. Ve všech případech je však nutný učitelův slovní popis a vysvětlení, aby řídil pozornost skupiny a upozornil ji na podstatné sledované aspekty [7]. Zejména tomu musí být u nákresů s různou mírou abstrakce, aby bylo zcela jasné, jaké podstatné části objektu byly zachovány, zvýrazněny a které byly pro jednodušší pochopení vypuštěny.

Z *dovednostně praktických metod* zmíníme pro účely této práce jednu důležitou, a to manipulování, laborování a experimentování. Ty mají napomáhat bližšímu poznání jevů a předmětů skrze manipulaci či bližší zkoumání probíraných předmětů nebo jejich napodobenin. V některých případech mohou žáci používat didaktické stavebnice, jež jim předem mohly být ukázány učitelem za použití metody předvádění a pozorování. Podle míry jejich abstrakce se může jednat o mezikrok před použitím reálného předmětu v praxi [7]. Podle schopností studentů pak můžeme rozšířit pouhou manipulaci s modely o laboratorní práce s vhodně zvolenou mírou poskytnutých instrukcí, až po vyučovací situace s čistě experimentálním charakterem.

V tomto ohledu lze modely použít i v rámci **aktivizujících metod**, zejména pak u *metody heuristického řešení problémů*. Ta spoléhá na předložení problému žákovi či skupině žáků, kteří se následně na základě předchozích zkušeností a znalostí snaží najít řešení v nové oblasti. Samotné hledání by mělo mít v ideálním případě šest fází [9].

1. Zjištění problému
2. Analýza problému
3. Hledání jádra problému
4. Hledání a stanovení hypotéz
5. Ověřování hypotéz
6. Vyslovení závěru

Právě v páté fázi, tedy během ověřování hypotéz, je možné v konkrétních případech použít vhodně zvolených druhů modelů, jež by jim daly spolehlivou a rychlou zpětnou vazbu.

Poslední skupinou jsou **metody komplexní**. Sem autoři řadí jak celková pojetí vyučovacích jednotek, tedy frontální a skupinovou výuku, tak brainstorming či výuku dramatem. Je jasné, že modely je možné do komplexně pojatých výukových jednotek zakomponovat, proto se zaměříme pouze na ty, které se týkají *výuky podporované počítačem*.

Metody využívající počítačů k výuce se začaly vytvářet již v druhé polovině 20. století, společně se zavedením pojmů programového a algoritmického učení. Ty, které využívají výpočetní techniku navíc stále nabývají na relevantnosti, vzhledem ke zvýšenému důrazu na počítačovou gramotnost žáků [7].

Ve výuce je možné počítač využít jako zdroj informací, audio-vizuální zobrazovací techniku, či jako nástroj pro zprostředkování komplexních modelů či simulací. V závislosti na míře přístupnosti zvoleného programu je také možné nechat žáky samostatně manipulovat s těmito simulacemi. Ty mohou být náhražkou reálného systému, který by jim mohl být nebezpečný či těžko dostupný. V dnešní době, kdy má velká část žáků zkušenosti s moderními technologiemi již od útlého věku, může být úsilí, původně věnované na instruktáž ovládnání počítače, vynaložené primárně na plnění oborových cílů výuky.

2.3.3 Výhody a limitace analogických modelů

Modely mohou z velké části sloužit k rozšíření poznatků o modelovaném objektu. Přesto je nutné dodržet izomorfismus mezi modelem a jeho předobrazem. Znamená to tedy, že lze nalézt vzájemně jednoznačné přiřazení mezi prvky modelu a modelovaného objektu; a zároveň jsou v modelu zachovány vztahy přítomné i u originálu [3]. U každého z nich však můžeme stále polemizovat o „míře izomorfismu“, neboť i zjednodušený model, který popře některé vztahy mezi prvky, může mít ve výuce přínos pro studenty ve smyslu přiblížení podstaty komplexnějšího problému.

Právě díky tomuto přiblížení zkoumané látky žákům, je možné najít jisté podobnosti mezi schématem relace modelování (obrázek 1) a schématem tzv. didaktického trojúhelníku [10] (obrázek 2).

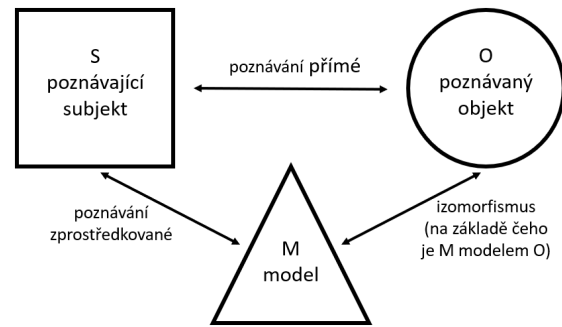
Do jisté míry lze přirovnat přímé poznávání k vlastnímu učení bez přímého zásahu vyučujícího. Učitele je možné přirovnat k samotnému modelu, neboť u obou

je hlavní funkcí předávání informace o poznávaném objektu skrze pozmeněný, přizpůsobený komunikační kanál. Ten může být v případě modelů kombinací jeho vlastního působení a verbálního popisu ze strany učitele. Případně lze předpokládat i jistou míru vzdělávacího efektu na žáky jen pomocí zkoumání modelu pomocí vlastního úsilí.

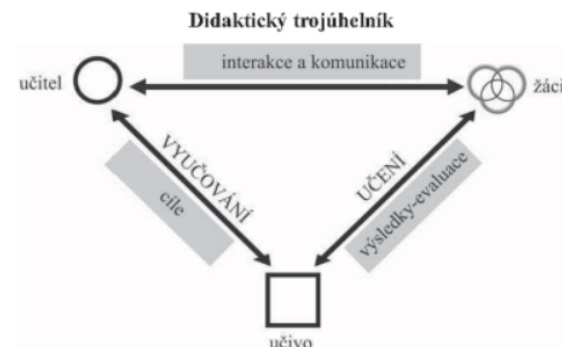
Díky zavedení pojmu izomorfismus nikoho nemusí překvapovat fakt, že v dnešní době nejsou analogie vždy vnímány jako pozitivní, zejména v rámci výukových metod. Jak již Maxwell uvedl, analogie se zabývá dílčími shodami [3]. Není proto vhodné, vyvádět z nich hlubší závěry, které s těmito shodami nemají tolik společných znaků, neboť mohou vést ke zkresleným či zcela mylným závěrům. To by však nemělo podřývat důležitost a jejich užitečnost ve vědě. Naopak je vhodné hovořit o možných limitacích využití.

Podle Vachka a Lepila je důležité vyvarovat se chybám při prezentaci modelů a analogií žákům. Je nutné provádět promyšlená zjednodušení, která nenaruší funkčnost, ale zároveň zůstanou zachovány prvky sledovaného jevu. Důležité je však zaručit, aby žáci chápali rozdíl mezi realitou a modelem. Mohou totiž, zejména při neopatrné implementaci analogií do výuky ze strany učitele, dojít k mylné představě, že prezentované zjednodušení plně odráží skutečnost. To může být podpořeno i nekritickým přijetím modelů, které neodpovídají sledované realitě. Případně při totálním přijetí jednoho pohledu na zkoumaný jev, jež při použití jiné analogie může lépe postihnout fyzikální realitu [3].

Dále jsou navíc odpůrci antropomorfních přirovnání, která připodobňují



Obrázek 1: Schéma relace modelování podle [3]



Obrázek 2: Didaktický trojúhelník [10]

fyzikální jevy k chování lidí či obdobných stvoření. Příkladem takové analogie může být „trpasličí model elektrického proudu“ publikovaný Petrem Špínou. Ten přirovnává pohyb elektronů ve vodiči k pohybu trpaslíků v důlních šachtách, přičemž „trpaslíci se snaží dostat k trpaslicím“ [11]. Za problematické v tomto případě může být považováno slovní spojení „snaží se“, které naznačuje, že elektrony (v tomto modelu zastoupené trpaslíky) mají vlastní vůli a mohou se rozhodnout, co budou dělat. Žáky totiž může napadnout nabízející se otázka: „Co se děje s trpaslíky (elektrony), kteří se rozhodnou zůstat doma (ve zdroji elektrického napětí) a do dolu (vodiče) nejít?“

Na druhou stranu, jak sám autor uvádí, je možné značně zjednodušené analogie využít pro opakování látky, případně zpestření či odlehčení vyučovací hodiny [11]. Je tedy zřejmé, že záleží nejen na samotné analogii, ale je potřeba vzít v potaz i její umístění ve vyučovací jednotce, případně i specifika konkrétního učitele.

S poněkud rozsáhlejší kritikou analogického modelu se můžeme setkat v článku J. Haglunda, jež prováděl výzkum na využití nepořádku, coby přiblížení konceptu entropie v rámci výuky termodynamiky. Mezi hlavní nedostatky výše uvedeného modelu zařadil jednak využití vágního termínu „nepořádek“, a taktéž fakt, že se studenti většinou neodpoutali od této uvádějící myšlenky a nepostoupili dále s adekvátními modely entropie [12].

Ty jako takové totiž nemusejí být pouze na první pohled špatné, ale mohou sloužit jako jednoduchý vstup do problematiky, kterou je však nutné odpovídajícím způsobem rozšířit a doplnit. Navíc analogie poskytují důležité přiblížení neuchopitelných a abstraktních konceptů, které mohou podpořit kvalitativní poznání daného konceptu [13]. Proto nemusí být každý model naprosto věrnou náhražkou reality [14]. Důležité je, zda dokáže přiblížit sledovaný jev studentům natolik, aby dokázali pochopit jeho podstatu.

V takovém případě je samozřejmě žádoucí, aby byli žáci seznámeni s polem působnosti daného analogického modelu [3]. Neboť pokud budou vědět, ve kterých případech jej lze využít a ve kterých ne, můžeme u nich zabránit šíření miskonceptů spojených s jejich chybným využitím. Otázkou k diskusi pak může být, zda plné pochopení omezení jednotlivých analogií může u studentů vést k přirozenému zkoumání okrajových jevů. Případně, zda by vedlo ke snaze o rozšíření vlastních

znalostí na základě zvědavosti a manipulace s analogickým modelem na hranici jeho použitelnosti.

3 Prekoncepty a miskoncepty

Dětská mysl se v mnohém liší od mysli dospělého člověka, přičemž pro pedagogy je podstatné si uvědomit, kde přesně se tyto rozdíly nacházejí a jak je využít ve prospěch vzdělávání a výchovy. Důležitým poznatkem vývojové psychologie tak je skutečnost, že nelogické konstrukty, jež si žáci vytváří v rozporu s tím, co se jim učitel snaží objasnit, pro ně mají vnitřní logiku [15]. Ta však může fungovat jen díky nekompletním či vyloženě chybným premisám, na jejichž základě si budují vlastní představy o okolním světě.

Ty mohou například pomoci najít efektivní řešení předloženého problému bez hlubšího pochopení reálií vyskytujících se v jeho pozadí. Nemusí však fungovat při objasňování problémů s obdobným základem, jež na první pohled nemají mnoho společného s příkladem správně zvládnutým. V takovém případě je možné, že by tyto intuitivní představy naopak mohly brzdit další vzdělání a nemusí být nezbytně snadno odstranitelné během výkladu učiva [16].

Z těchto důvodů je nutné se zaměřit přímo na tyto žákovské premisy, díky kterým můžeme lépe porozumět žákovskému pojetí jednotlivých konceptů. Konečným cílem tohoto snažení by mělo být, na základě bližšího pochopení žákovského uvažování, dopomoci ke změně jeho původního nahlížení tak, aby odpovídalo dosavadnímu vědeckému poznání světa.

3.1 Žákovské prekoncepty a miskoncepty

S myšlenkami odpovídajícím dnešnímu pohledu na prekoncepty se můžeme setkat již u Jeana Piageta. Ten předpokládal, že dítě přijímá nové poznatky skrze procesy asimilace a akomodace, v závislosti na vnějším kontextu. Pokud nové poznatky odpovídají jeho dosavadním znalostem a představám, asimiluje je a přijme za své. Neodpovídají-li však tomuto vnitřnímu modelu, může dojít buď k jejich odmítnutí, případně k přepracování celého dosavadního vnímání světa. K tomu je však většinou nutná silná vnější incentiva, v závislosti na mentálním vývoji dítěte [15].

Tato dětská interpretace světa se skládá právě z prekonceptů (resp. prekonceptů). Čáp a Mareš je definují jako „soubor dětských názorů na svět, včetně soustavy

podpůrných argumentů“ [15].

Prekoncepty definují i Mandíková a Trna jako „představy a interpretace objektů a jevů, které si člověk vytváří od raného dětství na základě manipulace s objekty tvořícími tento svět a na základě intuitivního zobecňování svých zkušeností“ [17].

Z výše uvedených definic můžeme vyvodit, že prekoncepty jsou přirozenou součástí poznávacího procesu u žáků všeho věku a ve své podstatě nemusejí být nezbytně negativním činitelem v rámci vzdělávání.

Pro jednodušší orientaci v tématu budou prekoncepty striktně rozděleny na dva druhy. Prvním typem budou ty, které přímo podporují integraci nových představ v žákově vnímání učiva jako celku. Druhými budou chybné, které proces poznání mohou výrazně zbrzdit, případně zcela zamezit plnému přijetí nových poznatků, dokud nejsou v jejich vnímání nahrazeny. Chybné či mylné prekoncepty budou podle zvyklostí dále označovány jako miskoncepty.

Žákovské miskoncepty je možné dále rozdělit i podle doby vzniku. Mareš a Ouhrabka navrhli rozdělení mylných představ na ty vzniklé před zahájením výukového procesu; ty, týkající se dané probírané oblasti vzniklé během výuky (na základě chyby učitele, učebních pomůcek či nepozornosti žáka); a na ty, vzniklé až s odstupem času (např. v důsledku zapomínání či setkání se s nutností aplikace znalostí v „nemodelovém“ případě, se kterým se ve škole nesetkali) [18]. Samozřejmě do první kategorie mohou spadat i prekoncepty odpovídající tomu, co by si žáci měli během vzdělávání odnést.

Na základě skutečnosti, že prekoncepty tvoří určitou část pohledu studenta na témata ve škole ještě neprobraná, bylo by zadobře nejprve tyto představy rozpoznat a následně na jejich základě přizpůsobit průběh výukové hodiny tak, aby podpořil myšlenky dotýkající se soudobých vědeckých poznatků, zatímco by potlačil či nahradil myšlenky, jež s ním jsou v rozporu. V praxi se však setkáváme s problémem samotné interpretace žákovy uvažování a jeho prekonceptů. Existenci konkrétních prekonceptů či miskonceptů není možné zcela jednoznačně diagnostikovat ani pomocí specifických postupů. Hlavním důvodem může často být fakt, že mnoho z těchto konceptů není možné zcela verbalizovat, neboť fungují spíše na úrovni intuice a „pocitu správnosti“. To by také odpovídalo jedné z vlastností prekonceptů, a sice nekonzistentnosti v jejich aplikaci dítětem na obdobné případy [17].

Mimo to jsou prekoncepty často shodné u žáků nehledě na jejich původ, věk a dosažené vzdělání [17]. Mohou také mnohokrát reflektovat historické pohledy na danou problematiku, kterou však vědecká komunita již překonala a nahradila lépe vyhovujícími teoriemi a modely.

3.2 Práce učitele s žákovskými prekoncepty a miskoncepty

Kalhous a Obst tvrdí, že prekoncepty jsou „nutnou podmínkou učení, ale zároveň mohou představovat překážku nebo komplikaci“ [19]. Na dualitu tohoto konceptu by se tedy mělo nahlížet nejen se zápornou konotací, ale v širší perspektivě. Může se totiž stát, že žák díky správnému vhledu na jeden aspekt výukového celku, a jeho následného zobecnění, získá neadekvátní názor o principu, o němž se domnívá, že je obdobný. Není však z toho důvodu na místě zbavovat se celého prekonceptu [19]. Naopak je nutné jej rozšířit o patřičné meze a obeznámit studenta se správností jeho myšlenek v určité oblasti. V dalším kroku se mu pokusit doplnit znalosti, které mu mohou pomoci změnit názor na část pojmů, které byly jinak korektním prekonceptem ovlivněny, jako kdyby se jednalo čistě o miskoncept v dané oblasti.

Před takovými zásahy je však nutné, aby pedagogové znali nejčastější žákovské prekoncepty a uměli s nimi efektivně zacházet [17], aby tak podpořili vývoj žákovského vzdělávání. Zároveň by měli být schopni tyto prekoncepty či miskoncepty správně rozpoznávat a diagnostikovat.

3.2.1 Diagnostika prekonceptů a miskonceptů

Během zkoumání žákovských prekonceptů a miskonceptů je možné využít celé baterie výzkumných postupů, jež se klasicky využívají v rámci pedagogického výzkumu. Jednou z nejzákladnějších technik je **analýza žákovských výkonů a výtvorů**. Tu může provádět zejména vyučující během ústního zkoušení konkrétního studenta. V tomto případě však analýza nemůže být provedena v dostatečném rozsahu pro všechny v konkrétní třídní jednotce, hlavně z důvodu časové náročnosti. Dovoluje však do hloubky prověřit miskoncepty u konkrétního jedince. Toho je možné využít primárně tehdy, když existuje podezření, že za neúplné pochopení určité vyučované oblasti může neidentifikovaný miskoncept.

Samotná analýza však nemusí poskytnout nejpodrobnější poznatky o žákovském

pojetí učiva. Stále totiž existuje možnost, že se jedinec dokáže dostat ke správnému výsledku, během postupu řešení však bude používat předpoklady, které nejsou v souladu s dříve prezentovanými fakty. Takovému případu by mimo jiné odpovídal povrchový učební styl studenta, kdy mu jde zejména o reprodukci učiva, nikoli o jeho pochopení [19]. Snadno si v takové situaci můžeme představit žáka správně zodpovědět otázku zkoušejícího, aniž by se zbavil svých miskonceptů. Ty navíc, díky své vytrvalosti, mohou časem nahradit povrchně zapamatovaná fakta. V takovém případě by se měl vyučující primárně zaměřit na zkoumání postupu práce, nikoli pouze na dokončený celek [15].

Pokud by pedagog chtěl do větší míry vyzkoumat existenci prekonceptů u dítěte a nechtěl ho zároveň vystavovat stresu zkoušení před třídou, je možné využít **rozhovoru**. Ten je možné koncipovat obdobně jako výše zmíněnou analýzu, tedy ptáním se žáka na to, jak chápe určitý fyzikální jev a následně mu pokládat dodatečné otázky, jež by měly více objasnit podstatu jeho vnitřních premis.

Pro zkoumání širšího spektra respondentů je možné využít buď **dotazníků** či **písemných testů**, k jejichž klasickým didaktickým otázkám je vždy možné připojit podotázku ve znění: *Zdůvodni svou odpověď*. Tu lze koncipovat jako otevřenou otázku, či pokud již existuje podezření na určitou množinu v minulosti diagnostikovaných prekonceptů a zajímá nás hlavně jejich procentuální zastoupení ve vybraném vzorku, může jít o uzavřenou polynomickou úlohu.

Vzhledem k podstatě prekonceptů, jakožto intuitivních vnitřních představ, je možné jejich zkoumání na základě **asociací**, které lze zahrnout v rámci rozhovoru či dotazníku. Obdobně lze využít i **pojmových map**, je však třeba brát na vědomí jejich komplexnost a náročnost na jejich vyhodnocení.

3.2.2 Využití prekonceptů ve výuce

Ačkoli mohou být žákovské prekoncepty podobné v rámci věkové skupiny, nelze na to spoléhat. Je totiž možné, že v rámci předchozího mentálního vývoje se některé děti setkali se skutečnostmi, které je již chybných představ zbavily. V takovém případě existují minimálně dvě skupiny žáků ve třídě: ti, kteří vstupují do tématického celku s předpoklady odpovídajícími; a ti, jež je zapotřebí dostat na alespoň podobnou úroveň.

Pokud při zacházení se třídou jako celkem nedochází k diferenciaci přístupu k jednotlivcům na základě jejich pokroku, existují de facto dvě možnosti postupu. Buď se pedagog zaměří na odstranění miskonceptů některých žáků, zatímco ti bez těchto mylných představ budou kognitivně stagnovat, nebo se zaměří na rozvoj již správných představ, aniž by reflektoval chybné vnímání látky některými jednotlivci. Tato možnost však může ještě zhoršit žakovské chápání daného tématického celku.

V ideálním případě by tedy mělo docházet k co nejvíce individualizované výuce, aby reflektovala potřeby žáků na základě jejich představ o právě probíraném učivu. To by umožnilo jej prezentovat nikoli jako nové sémantické zdělení bez hlubšího dopadu na svět mimo školu, ale naopak dát učivo do kontextu s jimi již známými skutečnostmi [19].

Správných prekonceptů je tedy zapotřebí využívat nehledě na přítomnost miskonceptů ve výukové skupině. Vhodným prostředkem by např. mohly být pracovní listy, jež by obsahovaly rozšiřující otázky k danému prekonceptu. Ty by měli za úkol pouze vybraní žáci, jež nemusejí překonávat jiné miskoncepty, s cílem zkusit aplikovat svůj vhled na konkrétní věc i na atypické případy. Volba takovýchto příkladů by měla být dobře promyšlená, neboť zvolením příliš komplikovaného problému riskujeme, že žák začne zpochybňovat i své správné představy.

3.2.3 Nahrazování miskonceptů

Za předpokladu, že se u žáka vyskytuje jakýkoliv miskoncept, je v zájmu dalšího procesu učení nezbytné, aby jej nahradil konceptem odpovídajícím současným vědeckým poznatkům. K tomu může dojít samovolně během výukového procesu, nicméně na to není možné spoléhat [15]. Z tohoto důvodu se využívají různé metody k ovlivňování žakovského pojetí učiva.

Mandíková a Trna je dělí na tři skupiny [17]:

1. Srozumitelnou prezentaci vědeckých poznatků, pomocí nichž by se podařilo miskoncept nabourat a nahradit.
2. Vlastní uvědomění si žáka (díky zásahu vyučujícího) o nesprávnosti svého miskonceptu, následované vybudováním přesnějšího modelu reality na základě dalších poznatků.

3. Využití části miskonceptu, která odpovídá realitě, a jeho převedení na platný model. Kupříkladu se může jednat o existující jev, v němž se však vyskytují odlišné fyzikální veličiny než s jakými pracuje žák.

Podle přístupu Čápa a Mareše by měla být využívána zejména první skupina těchto metod. Popisují totiž, že by pedagog měl navodit spor mezi miskonceptem a předkládanými poznatky, které jsou podány dostatečně přesvědčivě a jsou pro žákovu představu o světě výhodnější a funkčnější. Mimo to také zdůrazňují potřebu navození příjemného klimatu a dostatečnou časovou dotaci pro celý proces [15]. Tuto metodu Mandíková a Trna označují za **kognitivní konflikt**, přičemž navrhují další dva alternativní přístupy [17].

Prvním je **analogie**. Ta má využít předchozích zvládnutých oblastí vyučovaného předmětu k tomu, aby šlo jejich připodobněním nalézt nefunkční místo v miskonceptu. To by mělo vést k jeho zpochybnění a následném nahrazení.

Druhým je **autoreflexivní aktivní učení žáka**. Tato metoda se dá využít spíše u starších dětí, které jsou schopny sebereflexe, s cílem zlepšit své dosavadní vědomosti a uvést je na pravou míru. Měla by být podpořena problémovou výukou, nicméně se jedná o složitější proces, jež vyžaduje aktivní a cílevědomou spolupráci mezi učitelem a žákem.

3.3 Miskoncepty v tématickém celku elektrický obvod a elektrický proud

Autor nejprve přiblíží tématické celky dotýkající se této oblasti přítomné v rámcových vzdělávacích programech. Ty pro žáky na základní škole určují, že by se měli mimo jiné umět vyznat ve schématu elektrického obvodu a umět jej sestavit; změřit elektrický proud a napětí [20]. Pro studenty gymnázií jsou tyto výstupy rozšířeny o využití Ohmova zákona; analýzu chování různých látek (kovů, polovodičů, kapalin, plynů) v elektrických obvodech [21].

Práce se tedy zaměří zejména na miskoncepty týkající se výše jmenovaných oblastí učiva fyziky, jež byly vybrány z širšího kontextu i díky důvodům, které se blíže objasní v rámci čtvrté kapitoly. Další podstatnou připomínkou je, že se autor skutečně zaměří téměř výhradně na chybné prekoncepty. To je způsobeno jejich

vysokou relevancí pro pedagogy, neboť miskoncepty mohou zásadně ovlivnit průběh výuky, zatímco korektní prekoncepty spíše usnadňují pochopení nových pojmů. Dalším důvodem je také fakt, že výzkumy jsou zaměřeny spíše na existenci a podobu nesprávných žákovských představ.

Ucelený výčet žákovských miskonceptů prezentují Mandíková a Trna [17], přičemž jedním z nejzásadnějších je představa, že elektrické spotřebiče úplně či částečně spotřebovávají elektrický proud [22]. Ta navíc souvisí s dalším chybným konceptem, tedy že velikost elektrického proudu v sériovém obvodu závisí na místě měření [22].

Další miskoncepty zahrnují existenci dvou druhů proudu ve stejnosměrném elektrickém obvodu: kladného a záporného. Ty jsou však, podle žáků, k fungování spotřebiče zapotřebí oba [17]. Také si často myslí, že elektrický proud a elektrická energie jsou totožné [22].

S dalším problémem se často setkáváme u fyzikální veličiny elektrické napětí. Představa, že napětí je rozdílem elektrických potenciálů ve dvou bodech obvodu je pro ně neintuitivní, což může dát za vznik dalším miskonceptům. Mimo jiné se tak z výzkumů lze dozvědět, že elektrický proud a napětí mohou existovat pouze společně, případně že napětí v sériovém obvodu je mezi libovolnými dvěma body totožné [17][22].

Další chybné představy se týkají obvodů paralelních, ve kterých změna v jedné větvi (nehledě na umístění v obvodu) ovlivní elektrické napětí v druhé. Dále v rozporu s Kirchhoffovými zákony tvrdí, že elektrický proud prochází všemi prvky stejně a ovlivňují jej pouze ty součástky, „přes které již prošel“ [17][23].

Miskoncepty týkající se elektrického odporu jsou taktéž různorodé. Nehledě na znění Ohmova zákona se se zvýšením odporu zvýší i velikost elektrického proudu v dané části obvodu. Jeho velikost navíc údajně závisí na pozici rezistoru vůči zdroji stejnosměrného napětí [17][22]. Podle žákovské logiky by tedy nejspíš měl mít elektrický proud nižší hodnotu „před“ rezistorem, zatímco „za ním“ hodnotu vyšší. Při spojování rezistorů sériově jsou však schopni pochopit, že se celkový odpor zvětší, stejnou domněnku mívají i o propojení paralelním [23].

Dále si často myslí, že paralelně zapojené baterie dodávají více elektrické energie a napětí do obvodu, než ty zapojené sériově. Vedle toho existuje i druhá chybná

představa, že obě zapojení baterií jsou z hlediska napětí i energie ekvivalentní [17].

K již jmenovaným představám je možné připojit i některé další z výzkumu Camille L. Wainwrightové, který dodává i některé pohledy amerických žáků na koncept elektrického náboje. Ten je podle nich do obvodu dodáván zdrojem elektrického napětí, ve vodičích do té doby není přítomný. Respektive se v nich nevyskytují žádné nabitě částice [23]. Také často zaměňují elektrický náboj za energii, mají zkreslenou představu o použití ampérmetru či voltmetru, případně mají nevyhovující představu o chování kondenzátoru během procesu nabíjení [23].

Ten sice mohou správně znát, jakožto dvě elektrody oddělené dielektrikem, stále si však pod procesem nabíjení kondenzátoru představují následující: kondenzátorem prochází nabitě částice z jedné strany na druhou (nehledě na dielektrikum) a pouze některé se v něm zachytí. Jakmile je kondenzátor nabitý, tento pohyb nábojů ustane [23].

Ohledně chování ampérmetru se vžila představa, že závisí na jeho umístění v sériovém obvodu [23], protože elektrický proud je různý „před“ a „za“ spotřebičem. Stejná se vyskytuje i u českých žáků [22]. Často také zaměňují správné připojení ampérmetru a voltmetru, respektive si pletou, který má být zapojený sériově a který paralelně [23]. V tomto případě se však nemusí jednat vyloženě o miskoncept, ale spíše o špatné zapamatování si předkládaných informací z vyučování.

4 Stavebnice Spintronics

Společnost Upper Story Ltd., založená Paulem Boswellem v roce 2015, vydala k dnešnímu datu dvě edukační stavebnice. První z nich je v roce 2018 vydaná Turing Tumble, která slouží jako fyzická reprezentace vnitřních procesů v počítači. Druhá z nich je Spintronics z roku 2022 [24].

Ta má sloužit jako mechanická analogie elektrického obvodu, která má dovolit intuitivnější a hmatatelnou reprezentaci elektroniky pro toho, kdo shledává toto odvětví fyziky příliš abstraktním a má potíže s jeho pochopením [25]. Samotná stavebnice je rozdělena do tří balení, které se navzájem doplňují o další možné kombinace součástek. K tomu všemu také společnost Upper Story Ltd. nabízí kompletní online simulátor, jež je dostupný zdarma na jejich internetových stránkách [26][27].

V této části diplomové práce se autor zaměří nejprve na analogický model využívaný fyzickou stavebnicí Spintronics, dále její zpracování a obsažená cvičení. V neposlední řadě také prozkoumá využitelnost simulace.

4.1 Spintronics jako analogický model

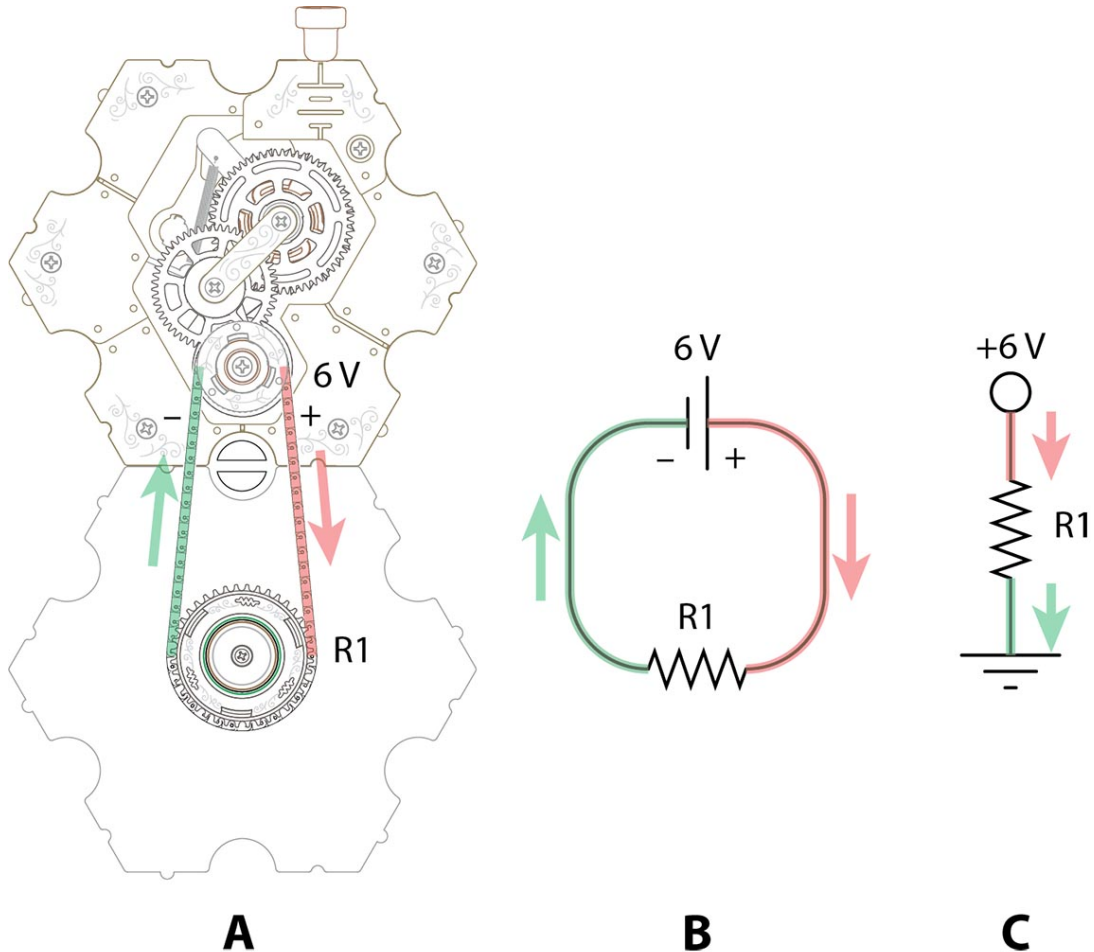
Ve stavebnici Spintronics jsou jednotlivé součástky elektrického obvodu reprezentovány různými typy ozubených kol, jež jsou propojena řetězy. Ty mají představovat uspořádaný pohyb nosičů elektrického náboje uvnitř vodiče. Toto znázornění umožňuje žákům na vlastní oči vidět interakce jednotlivých součástek mezi sebou navzájem, zároveň (jak rozebereme později) mohou využít i dalších smyslů pro intuitivnější analýzu procesů v modelu, který odpovídá reálnému elektrickému obvodu.

4.1.1 Spintronics a schéma elektrického obvodu

Nejprve si objasníme, jak je vůbec možné chápat propojení ozubených kol jako ekvivalent elektrického obvodu. Pro jednoduchost autor využije vysvětlení samotných tvůrců dostupné na jejich oficiálních stránkách [28], které se pokusí místy upřesnit.

Na obrázku 3 se nachází tři různé schématické zpodobnění jednoduchého obvodu

se zdrojem stejnosměrného napětí o velikosti 6V a zátěží v podobě rezistoru s odporem R1. Ve stavebnici Spintronics jej lze zkonstruovat pomocí propojení součástky baterie a rezistoru pomocí jedné smyčky řetězu. Na obrázku 3 je toto zapojení označené jako **A**.



Obrázek 3: Spintronics a schématická reprezentace jednoduchého obvodu [28]

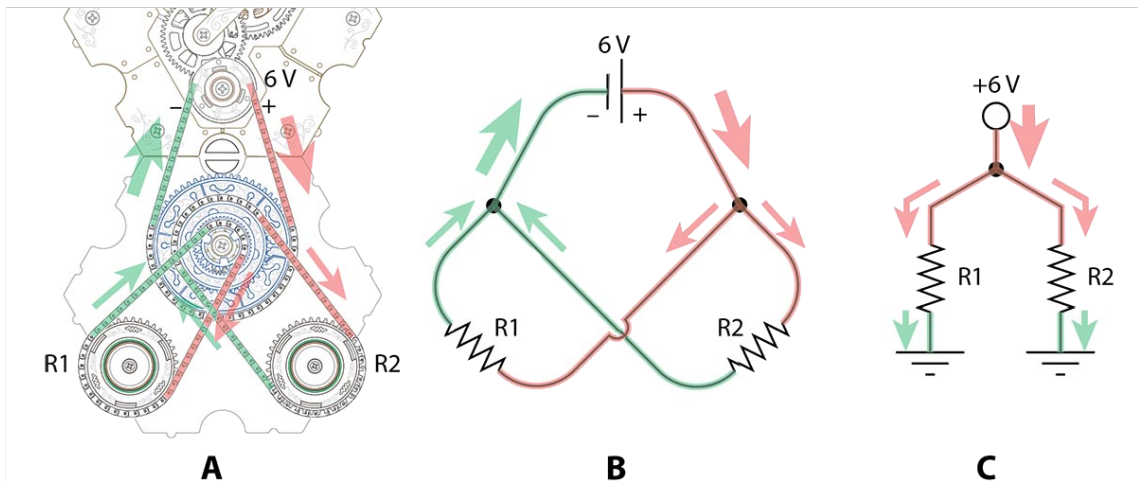
Pro jednoduchý obvod s jedinou součástkou je toto znázornění velmi podobné svou formou ke klasickému schématickému značení elektrického obvodu (na obrázku 3 označeno písmenem **B**). Pokud by se však měl pomocí Spintronics vizualizovat obvod (sériový či paralelní) s více elektrickými součástkami, klasické chápání jednoduchého obvodu jako smyčky, kterou se pohybují nosiče elektrického náboje, nestačí.

Poslední část obrázku 3 tvoří schéma **C**, které má pomoci lépe pochopit logiku komplikovanějších zapojení provedených ve stavebnici. Baterie je zde rozdělena na dvě části: zdroj kladného napětí a uzemnění. Uzemnění je neutrální, tudíž

mezi kladným zdrojem a ním vzniká rozdíl elektrického potenciálu, chápané jako napětí. To dává za vznik elektrickému proudu, který nejprve prochází skrze vodič do rezistoru (znázorněno červenou barvou) a následně z rezistoru přes vodič do země (znázorněno zelenou barvou). Toto uspořádání pak může být modifikováno na klasické schéma **B** tím, že se zdroj napětí a zem nahradí baterií.

Pro Spintronics to tedy znamená, že z baterie „vychází“ jedna část řetězu, které pohání jednotlivé části obvodu. Ze všech součástek je následně vyvedena druhá část řetězu, která se do baterie „vrací“. U komplexnějších obvodů je tedy vhodnější je nejprve schématicky zpodobnit způsobem znázorněným na Obrázku 3 **C**.

Pro snazší pochopení tohoto principu je přiložen obrázek 4, na kterém je zobrazení rozšířeno na paralelní zapojení dvou rezistorů s odpory R_1 a R_2 .



Obrázek 4: Spintronics a schématická reprezentace jednoduchého paralelního obvodu (upraveno, původně převzato z [28])

4.1.2 Veličiny popisující elektrický obvod a *spin jednotky*

Jak bylo již zmíněno v kapitole věnované analogiím, mezi modelem a modelovaným objektem by měl existovat izomorfismus mezi jejich prvky, včetně vztahů mezi nimi [3]. Z tohoto důvodu je možné očekávat, že stavebnice Spintronics bude zachovávat závislosti mezi jednotlivými reprezentanty, na které jsou převedeny původní veličiny popisující vlastnosti elektrického obvodu.

Tvůrci stavebnice tedy převedli jednotlivé veličiny na jejich „mechanické protějšky“, přičemž pro zjednodušení orientace mezi reálným a modelovaným

obvodem zavedli *spin jednotky* [28]. Převodní tabulku mezi nimi je možné nalézt na obrázku 5.

Electronic units		Spintronic units	
volt (V)	= $\frac{J}{C}$	spin volt ($\overset{\curvearrowright}{V}$)	= 0.1 N
ampere (A)	= $\frac{C}{s}$	spin ampere ($\overset{\curvearrowright}{A}$)	= $10 \frac{m}{s}$
ohm (Ω)	= $\frac{V}{A}$	spin ohm ($\overset{\curvearrowright}{\Omega}$)	= $0.01 \frac{N \cdot s}{m}$
farad (F)	= $\frac{C}{V}$	spin farad ($\overset{\curvearrowright}{F}$)	= $100 \frac{m}{N}$
henry (H)	= $\frac{V \cdot s}{A}$	spin henry ($\overset{\curvearrowright}{H}$)	= $0.01 \frac{N \cdot s^2}{m}$
watt (W)	= $V \cdot A$	spin watt ($\overset{\curvearrowright}{W}$)	= $\frac{N \cdot m}{s}$

where J = joule, C = coulomb, s = seconds, N = newton, and m = meter

Obrázek 5: Srovnání jednotek elektrického obvodu a *spin jednotek* [28]

Jednotky používané ve stavebnici Spintronics jsou odlišovány od těch reálných pomocí doplnění slova *spin* před jejich název. Lze ji také značit podle klasických zvyklostí, pouze nad jejich označení píšeme šipku proti směru hodinových ručiček. Například ekvivalentem jednotky elektrického napětí, voltu značeného V, je *spin volt* s označením $\overset{\curvearrowright}{V}$ ¹.

Přesto je nutné, aby i tyto *spin jednotky* (respektive veličiny) jež reprezentují, zachovaly mezi sebou své vztahy. To lze ověřit pomocí analýzy jednotlivých *spin veličin* a mechanických veličin, které jim odpovídají.

Samotní autoři stavebnici navrhli tak, aby řetězy propojující ozubená kola zastupovaly nosiče elektrického náboje, potažmo přímo elektrony. Proto se také rozhodli, že zakomponují ekvivalent elektrického náboje do této součástky. Tedy 1 C je analogický k $1 \overset{\curvearrowright}{C} = 10 \text{ m}$ [28]. Elektrický náboj se proto mapuje na délku, kterou zabírá spojovací řetěz. Případně na dráhu, kterou urazí při pohybu konkrétní článek řetězu.

Pokud by se vyšlo pouze z této premisy, tedy že $Q \mapsto s$, a skutečnosti, že čas a energie (až na její druh) zůstávají v obou systémech totožné ($t \mapsto t$; $E \mapsto E$), je

¹Označení používané v této práci se z typografických důvodů mírně liší od oficiální sazby na webových stránkách autorů stavebnice.

možné odvodit i převod zbývajících veličin elektrického obvodu.

Je tedy na první pohled jasné, že elektrický proud I odpovídá rychlosti pohybu řetězu. Neboť $I = \frac{Q}{t} \mapsto \frac{s}{t} = v$, a tudíž $1 \overset{\circ}{\text{A}} = 10 \text{ m s}^{-1}$. Obdobně elektrické napětí U odpovídá síle, s níž je řetězu udělováno zrychlení: $U = \frac{E}{Q} \mapsto \frac{E}{s} = F$ [29]. Tedy $1 \overset{\circ}{\text{V}} = 0,1 \text{ N}$.

Stejného postupu využil autor i u zbývajících veličin, vznikla tak upravená verze tabulky z Obrázku 5.

Tabulka 1: Přepočítání *spin veličin*

Veličina	Jednotka	Definiční vztah	Analogická veličina	Definiční vztah	Spin veličina	Spin jednotka
Q	1 C	—	s	—	<i>spin</i> Q	$1 \overset{\circ}{\text{C}} = 10 \text{ m}$
t	1 s	—	t	—	<i>spin</i> t	$1 \overset{\circ}{\text{s}} = 1 \text{ s}$
E	1 J	—	E	—	<i>spin</i> E	$1 \overset{\circ}{\text{J}} = 1 \text{ J}$
I	1 A	$I = \frac{Q}{t}$	v	$v = \frac{s}{t}$	<i>spin</i> I	$1 \overset{\circ}{\text{A}} = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}}$
U	1 V	$U = \frac{E}{Q}$	F	$F = \frac{E}{s}$	<i>spin</i> U	$1 \overset{\circ}{\text{V}} = 0,1 \text{ N}$
R	1 Ω	$R = \frac{U}{I}$	b	$b = \frac{F}{s}$	<i>spin</i> R	$1 \overset{\circ}{\Omega} = 0,01 \frac{\text{Ns}}{\text{m}}$
C	1 F	$C = \frac{Q}{U}$	$\frac{1}{k}$	$\frac{1}{k} = \frac{s}{F}$	<i>spin</i> C	$1 \overset{\circ}{\text{F}} = 100 \frac{\text{m}}{\text{N}}$
L	1 H	$L = \frac{U \cdot t}{I}$	m	$m = \frac{F \cdot t}{v}$	<i>spin</i> L	$1 \overset{\circ}{\text{H}} = 0,01 \text{ kg}$
P	1 W	$P = U \cdot I$	P	$P = F \cdot v$	<i>spin</i> P	$1 \overset{\circ}{\text{W}} = 1 \text{ W}$

Povšimněme si v Tabulce 1 hned několika řádků. Jeden z nejzajímavějších analogických vztahů je ten mezi elektrickým výkonem a *spin výkonem*. Jak totiž po provedení rozměrové analýzy vychází najevo, jsou přímo totožné, respektive elektrický výkon přejde analogicky ve výkon mechanický.

U zbylých *spin veličin*, jež ještě nebyly rozebrány, nemusí být na první pohled jasné jejich propojení s odpovídajícími veličinami. Podívejme se tedy na obvod sestavený pomocí stavebnice Spintronics jako na kmitající systém. V takovém případě je *spin odpor* ekvivalentní součiniteli tlumení kmitání b [30]. V obdobném duchu odpovídá *spin kapacita* převrácené hodnotě tuhosti k [30]. To by ve své podstatě mohlo posílit argument ve prospěch správnosti analogie, pokud by byla

vzata v potaz potenciální energie pružného tělesa a energie kondenzátoru. Vzorce pro tyto veličiny totiž zaujímají obdobný tvar, konkrétně $E = \frac{1}{2} \cdot k \cdot y^2$ v případě prvním a $E = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{C} \cdot Q^2$ v druhém. Je možné také poznamenat, že i v tomto případě platí $Q \mapsto s$ (resp. $Q \mapsto y$).

Poslední nezmíněnou veličinou je indukčnost cívky L . Ta vyjadřuje „schopnost proudu procházejícího soustavou vytvářet magnetický indukční tok“ [31]. Spintronics se však zaměřuje pouze na elektrické vlastnosti obvodu a vynechává magnetické. Dalo by se tedy očekávat, že tato veličina bude rámcem analogie narušovat.

Rozměrově sice *spin indukčnost* odpovídá hmotnosti, přesto zpracování stavebnice spíše poukazuje na spojitost s momentem setrvačnosti. Ani tato intuitivní představa však není nepravdivá, jak je možné ukázat pomocí zákona zachování energie.

Uvědomme si, že veškeré *spin veličiny* jsou vztažené vůči řetězu, resp. jeho přímočaře se pohybující částem. Součástky však mají podobu ozubených kol, tedy veličiny odpovídající jejich vnitřním parametrům souvisejí s rotací. Proto by mělo být možné přejít od jedné sady veličin k druhé. Díky propojení pomocí řetězu je možné zavést rovnost mezi kinetickou energií přímočaře se pohybujícího řetězu E_{k1} a kinetickou energií rotující součástky, která je jím poháněna, E_{k2} .

$$E_{k1} = E_{k2} \quad (1)$$

$$\frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 = \frac{1}{2} \cdot J \cdot \omega^2 \quad (2)$$

$$m \cdot v^2 = J \cdot \frac{v^2}{r^2} \quad (3)$$

$$m = \frac{1}{r^2} \cdot J \quad (4)$$

Z rovnice 4 tedy vyplývá přímá závislost hmotnosti (reprezentující *spin indukčnost*) na momentu setrvačnosti. Poloměr r v tomto vztahu zastupuje fyzické rozměry součástky, jež v analogii představuje cívku.

Tyto výsledky však nejsou nijak překvapivé. Jednou z používaných analogií pro výklad oscilačních obvodů je totiž přirovnání k mechanickému oscilátoru, jako tomu je např. na webu Encyklopedie fyziky [32]. Zde můžeme najít tabulku, jež odpovídá analogii použité ve stavebnici. Pouze v Encyklopedii fyziky je spíše chápána jako matematizované přirovnání, které mají žáci chápat abstraktně. Spintronics dovoluje

fyzickou realizaci, jež může přiblížit problematiku elektrických obvodů žákům, kteří formální znění analogie nepochopili.

Tabulka 2: Analogické vztahy mezi mechanickým a elektromagnetickým oscilátorem (převzato z [32])

Mechanický oscilátor		Elektromagnetický oscilátor	
okamžitá výchylka	y	okamžitý náboj	q
okamžitá rychlost	v	okamžitý proud	i
potenciální energie	E_p	elektrická energie	E_e
kinetická energie	E_k	magnetická energie	E_m
síla	F	elektrické napětí	u
hmotnost	m	indukčnost	L
tuhost pružiny	$k = \frac{F}{y}$	reciproká hodnota kapacity	$\frac{1}{C} = \frac{u}{q}$

4.2 Zpracování fyzických stavebnic

Fyzická stavebnice Spintronics se dá pořídit v několika variantách, přičemž primární je prodávána ve třech různých sadách [33]. Těmi jsou *Act One*, *Act Two* a *Power Pack*. První dvě jmenované obsahují téměř všechny dostupné součástky, které umožňují sestavení velkého množství obvodů od jednoduchých, jež mají učit základy práce se stavebnicí [34], až po komplexní oscilační obvody [35]. Mimo to obsahují i vlastní návody (*Puzzle books*) na obvody, jež jsou koncipované ve formě hlavolamů. Dále obsahují také komiks, který skrze příběh dovysvětluje různé principy potřebné k řešení zapojení. Složitější koncepty jsou pak rozebrány v samostatných výkladových pasážích. Konkrétněji se k těmto návodům autor vyjádří později.

Poslední ze sad stavebnic je *Power Pack*, který rozšiřuje zbylé sady o další baterii a několik rezistorů. Samotný manuál k této sadě pak obsahuje pouze hlavolamy, jež se zaměřují zejména na obvody se sériovým či paralelním zapojením baterií [36].

Je potřeba podotknout, že ačkoli je možné sadu *Act One* používat samostatně, pro sady *Act Two* a *Power Pack* to neplatí. *Act Two* totiž mimo jiné neobsahuje

žádnou baterii [35], a *Power Pack* neobsahuje řetěz sloužící jako vodič v obvodu.

4.2.1 Součástky

V následující části budou představeny součástky ve stejném pořadí, dle hlavolamů v návodech pro sady *Act One* a *Act Two* [34][35].

Baterie a spojovací prvky

Obvody ve stavebnici Spintronics se sestavují pomocí jednotlivých součástek na šestiúhelníkové podložky. Ty se dají libovolně propojovat mezi sebou a umožňují vytvářet pracovní prostor. Navíc díky vrchní části tvořené z feromagnetického kovu se mohou jednotlivé části udržet na místě, pomocí magnetů umístěných v jejich podstavcích.



Obrázek 6: Baterie a spojovací podložky

Baterie jako jediná tvoří vlastní neoddělitelnou šestiúhelníkovou podložku s vlastním mechanismem, který je z velké části uložen uvnitř. Zdroj samotný funguje pomocí natahovacího mechanismu. Uživatel má nejprve k hornímu ozubenému kolu připojit vlastní obvod, načež vytáhne provázek vedoucí k vnitřnímu mechanismu. Ten následně po krátkou dobu, která je ovlivněna i vlastními parametry sestaveného obvodu, rovnoměrně roztáčí ozubené kolo, které dodává do obvodu *spin napětí* o hodnotě $6 \overset{\circ}{V}$ [34]. Reálně tedy táhne za propojující řetěz silou $F = 0,6 \text{ N}$.

Dále je možné si na obrázku 6 povšimnout výstupového ozubeného kola baterie. To je totiž tvořeno ze tří samostatných ozubených převodů, které jsou pevně spojeny. To umožňuje vytvářet složitější obvody, které mohou využívat více větví. Stejného rozložení využívají i ostatní součástky, s výjimkou uzlu a tranzistoru.

Vodiče

Veškeré propojování obvodů ve stavebnici Spintronics je uskutečňováno pomocí řetězů. Ty je možné vnímat jako vodiče, jež spojují jednotlivé části, případně jako nosiče náboje uvnitř vodiče.

Samotný řetěz je tvořen z jednotlivých článků, jež se dají jednoduše spojovat a rozpojovat, což umožňuje vytvoření libovolně dlouhých smyček potřebných pro vytváření obvodů. Navíc v každé sadě jsou kromě standardních černých článků i modré, jež usnadňují zjištění rychlosti řetězu, resp. určení hodnoty *spin proudu*.



Obrázek 7: Vodič

Řetěz je však pro správnou funkci stavebnice potřeba umístit tak, aby byl dostatečně napnutý a nemohlo dojít k jeho uvolnění z ozubených kol. Navíc, zejména u větších a komplexnějších obvodů, je nutné promýšlet umístění řetězu na jednotlivé součástky. Nesmí se totiž jedna smyčka z řetězu umístit na dvou různých součástkách do dvou různých výšek, resp. na dvě různě vysoko umístěná ozubená kola [34]. U většiny částí se nejedná o velké omezení, ale u uzlu či tranzistoru je pro správné fungování obvodu nutné připojit vodící řetězy na správné úrovni.

Rezistor

Rezistory, obdobně jako u elektrických obvodů, představují ve stavebnici jednak samotnou součástku, ale také spotřebič. Jejich důležitost je opodstatněná existencí analogie elektrického zkratu. Pokud by se totiž natáhla baterie ze stavebnice Spintronics a nechala, buď bez žádného připojení, případně pouze s jednoduchým obvodem bez žádného spotřebiče, může dojít k poškození jejího vnitřního mechanismu. Tomu má sice zabránit zabudovaná brzda v baterii [34], přesto se jedná o nežádoucí jev.



Obrázek 8: Rezistory

Rezistor samotný je jednoduchá součástka, jež má uvnitř silikonový olej [34], jehož tření o pohybující se stěny dává za vznik odporu. To v kontextu stavebnice tvoří *spin odpor*. Společnost Upper Story Ltd. nabízí na svém internetovém obchodě součástky se *spin odpory* o hodnotách 50Ω , 100Ω , 200Ω , 500Ω , 1000Ω [37]. Rezistory jsou přítomné v jednotlivých sadách, v každé se však nachází jen omezený počet a žádná sada nemá kompletní zastoupení jednotlivých druhů. Pokud by se však bral celek všech tří sad, nalézají se zde všechny typy [34][35][36].

Spínač

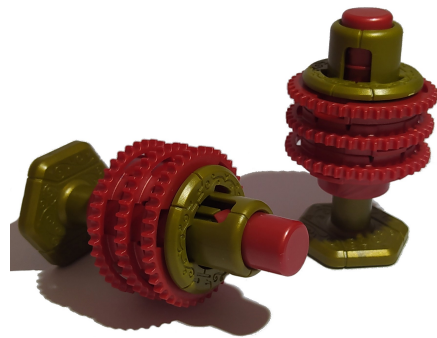
V elektronice je často spínač tvořený prostým rozpojením obvodu. Ve Spintronics však nelze jednoduše a hlavně rychle rozpojovat a opět spojovat řetězy, které se pohybují. Proto je zde řešen pomocí mechanické zarážky, která nedovolí otočení jak ozubených kol na součástce, tak i řetězů (potažmo i dalších součástek) k ní připojených.

Mimo to se jedná o jednu z nejjednodušších částí, která navíc nemá (za předpokladu idealizace) žádný ovlivňující parametr. Proto je možné použít spínače i jako zdroje jednoduše ovlivnitelného *spin napětí*. Stačí tuto součástku pouze připojit, obdobně jako baterii, a následně ji pomocí ruky roztáčet. Tím je možné modulovat velikost dodaného *spin napětí*. Zároveň lze využít stejného uspořádání jako u zdroje střídavého napětí.

Ampérmetr

Spin proud figurující ve stavebnici Spintronics odpovídá rychlosti, se kterou se pohybují propojující řetězy. Tu můžeme změřit pomocí do série zapojené součástky reprezentující ampérmetr, jehož design připomíná gramofon (obrázek 10).

Ta se skládá z disku s pravidelně rozmístěnými výstupky. Ty se při otáčení třou s „jehlou“ umístěnou pod „gramofonovou troubou“. Ta umožňuje zesílení zvuku,



Obrázek 9: Spínače



Obrázek 10: Ampérmetr

jehož výška určuje velikost *spin proudu*. Čím vyšší tón vydává, tím vyšší *spin proud* součástí prochází.

Pokud by však bylo nutné jasné vyčíslení této hodnoty, bylo by potřeba nejprve určit frekvenci tohoto tónu a následně jej převést na rychlost, se kterou je disk v ampérmetru roztáčen. Lze tedy očekávat, že ampérmetr je ve stavebnici zahrnut spíše proto, aby podával orientační údaje o tom, jestli je v daném místě obvodu *spin proud* „malý“ či „velký“.

Uzel

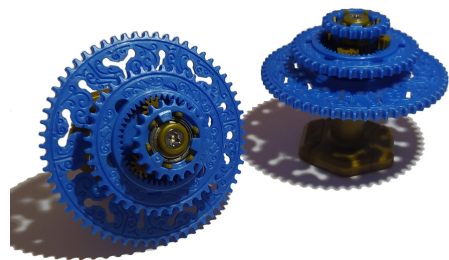
V elektrickém obvodu je vytvoření paralelního zapojení relativně jednoduché. Zapotřebí je pouze, aby se na vodiči dal vytvořit uzel, ze kterého může část nosičů elektrického náboje pokračovat jedním vodičem, zatímco zbytek se bude pohybovat druhým.

Spintronics však, díky své mechanické konstrukci, nemohou vytvořit uzel takto jednoduše. Z toho důvodu využívají planetárního převodu [38], který umožňuje zdánlivě vzájemně nezávislé otáčení jednotlivých ozubených kol navázaných na součástku.

V principu to znamená, že pokud je jedno z ozubených kol navázaných na součástku zastavené, uzel se chová obdobně jako sepnutý spínač a otáčí zbylými navázanými řetězy v poměru 1 : 1. Jsou-li však všechny části pohyblivé a jedna z nich je uvedena do pohybu, zbylé se otáčí v daném poměru. Ten je určen podle vlastností dalších navázaných součástek (např. rezistorů), ale i rovnicí 5.

$$v_d = v_s + v_h \quad (5)$$

V tomto případě se jedná o obdobu prvního Kirchhoffova zákona, která by měla zaručovat nulový součet *spin proudů* v daném uzlu. V rovnici jsou použity rychlosti vstupujících řetězů; jednotlivé indexy značí jejich umístění (d = dolní, s = střední, h = horní). Skutečnost, jestli je konkrétní *spin proud* kladný či záporný, je možné navázat na orientaci pohybu řetězu. Za předpokladu, že baterie dodává kladné *spin napětí*, musí kladný *spin proud* odpovídat řetězu pohybujícímu se po směru



Obrázek 11: Uzel

hodinových ručiček.

Je tedy jasné, že uzel ve stavebnici Spintronics má oproti uzlu v elektrickém obvodu jistá omezení, pokud je účelem udržet totožnou polaritu *spin proudu*, jaká by byla v realitě [34]. V takovém případě je pouze jedna možnost pro zapojení uzlu; vstupní *spin napětí* připojit na dolní ozubené kolo, čímž se zajistí stejná polarita i ve výstupních větvích. Naopak, pokud by se spojovali dvě větve do jedné, musí být dolní ozubené kolo výstupní.

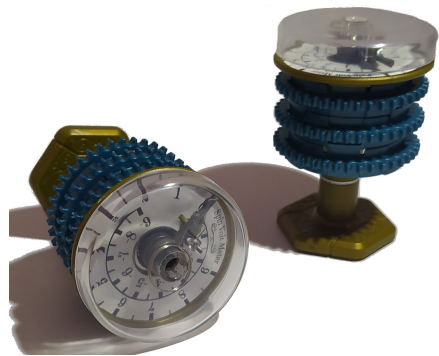
Kondenzátor a voltmetr

Kondenzátor a voltmetr jsou ve stavebnici Spintronics řešeny jedinou součástí. Ta v podstatě funguje jako pružinový siloměr. Pokud je zapojena paralelně do obvodu, může zaujmout funkci voltmetru, který měří, jaká síla je aplikována v daném místě, přičemž ta odpovídá *spin napětí*.

Druhou možností je využít pružiny uvnitř součástky k uchování energie. Úhel, o který je možné při daném *spin napětí* součástku otočit, zároveň určuje délku řetězu, jež může po uvolnění působící síly kondenzátor posunout. Tato délka je tedy ekvivalentní *spin náboji*, který je na této součástce uložen.

Tuhost pružnosti pak udává velikost *spin kapacity* kondenzátoru. Ve fyzických stavebnicích je tato hodnota pro všechny kondenzátory stejná, konkrétně 1 mF^{\odot} [34]. Maximální měřitelné napětí je pak v rozmezí $\pm 9 \text{ V}^{\odot}$.

Nevýhodou této součástky je však fakt, že *spin náboj* je na ní uchován pouze, dokud je připojena v obvodu. Nelze ji tedy nabít, vyjmout z obvodu a zapojit do jiného jako baterii, jako to dovoluje elektrická součástka.



Obrázek 12: Kondenzátory (resp. voltmetry)



Obrázek 13: Tranzistor

Tranzistor

Nuance tranzistorů jsou v rámci Spintronics omezené pouze na nejjednodušší využití, tedy napětím řízený spínač. K reprezentaci zesilovacích účinků by bylo zapotřebí převodního systému.

Samotná součástka ve stavebnici sestává ze dvou ozubených kol, dolního a horního. Spodní je zabrzděné pomocí pružiny, která je připevněná k hornímu kolu. Aby byla uvolněna, musí být horní pootočené. Toho je možné dosáhnout aplikací *spin napětí* o velikosti alespoň $1,5 \text{ V}$ [35]. Poté je dolní kolo uvolněno a může dále v obvodu přenášet *spin proud*.

Kromě polohy „otevřeno“ a „zavřeno“ má tato součástka taktéž stav, ve kterém působí nemulovým *spin odporem*, který je úměrný aplikovanému *spin napětí*. To navíc lze použít podle potřeby jak kladné, tak záporné. Jediné, co se musí provést, je změnit nastavení součástky pomocí vyčnívající páčky v její horní části (viz Obrázek 13).

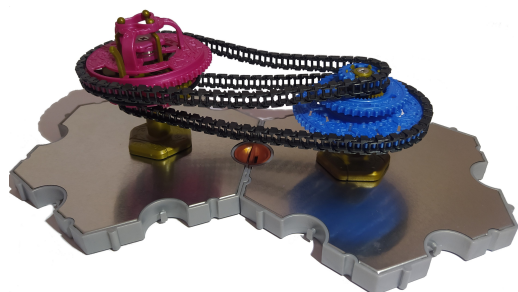
Ve své podstatě se jedná o obdobu unipolárního tranzistoru [28][31], jež pomocí napětí přivedeném na řídicí elektrodu (reprezentováno horním ozubeným kolem) řídí proud mezi emitorem a kolektorem (reprezentováno dolním ozubeným kolem).

Dioda

Dioda je jediná součástka, která není součástí žádné z dostupných sad [34][35][36], je ji možné zakoupit pouze samostatně [39]. Díky mechanickým západkám je možné ji otáčet pouze po směru hodinových ručiček, tedy propustí jen kladný *spin proud*. Přesto se dá připojit do obvodu tak, aby naopak propouštěla záporný *spin proud*, to však vyžaduje pokročilejší způsob skládání obvodů, který nemá obdobu v elektronice



Obrázek 14: Dioda [39]



Obrázek 15: Náhrada diody

a bude zmíněn dále v této práci.

K samotnému otočení součástky je však, díky instalované pružině, potřeba určité síly, která koresponduje zhruba se *spin napětím* $0,7 \overset{\circ}{V}$.

Přestože dioda není součástí žádné z prodávaných sad, jsou v *Act Two* obsaženy i takové hlavolamy, jež použití diody vyžadují [35]. Tento nedostatek však obchází pomocí propojení uzlu a tranzistoru. Jedná se spíše o řešení kvůli fyzickým limitacím způsobeným rozměry krabic, v nichž se sady prodávají.

Cívka

Posledním typem součástky ve stavebnici Spintronics je cívka. De facto se jedná o setrvačnick, který se díky vysokému momentu setrvačnosti brání změně rychlosti svého otáčení. V použité analogii to odpovídá *spin indukčnosti*, která zabraňuje změně *spin proudu*. *Spin indukčnost* cívek ve fyzické stavebnici je rovna $55 \overset{\circ}{H}$.

Cívky se využívají primárně pro konstrukci oscilačních obvodů. Bohužel není analogie dostatečně flexibilní na to, abychom mohli sestavovat např. i paralely obvodů využívajících magnetického pole cívek, případně vytvořit obdobu transformátoru.

Ačkoli existuje pouze jeden druh fyzické cívky pro Spintronics, je možné změnit její *spin indukčnost*, např. přidáním hmotnosti na konce jejích ramen.



Obrázek 16: Cívka

4.2.2 Zpracování návodů

Návody obsažené v jednotlivých sadách stavebnic mohou být v jedné ze čtyř jazykových mutací: angličtině, němčině, francouzštině a holandštině [24]. V této práci se autor zaměří na zpracování anglické verze.

Ta se skládá ze samotných popisů jednotlivých součástek a vysvětlení jejich interakcí. Ty jsou doplněné o jednotlivé hlavolamy, kterých je 67 v návodu k sadě *Act One* [34], 82 v návodu pro sadu *Act Two* [35] a dodatečných 11 v sadě *Power Pack* [36]. V neposlední řadě je součástí manuálů také komiks, který má za úkol poutavým způsobem osvětlit fungování jak samotné stavebnice, tak elektronických

obvodů.

Autor se zaměří na jednotlivé jejich části samostatně a začne s výkladovými pasážemi. Ty již od začátku deklarují, že stavebnice má pomoci pochopit fundamentální myšlenky a vztahy v elektronických obvodech, aniž by bylo zapotřebí použití rovnic [34]. Místo toho využívají jednodušší jazyk a podrobné ilustrace, které mají postupně vysvětlovat jednotlivé principy v ní aplikované. Většinou tyto pasáže slouží jako předěly mezi jednotlivými typy hlavolamů. Tvoří tak primárně úvod ke stále složitějším principům.

Součástí je komiks s příběhem, který má dětem usnadnit přístup ke stavebnici a zároveň jim dodat motivaci k řešení jednotlivých hlavolamů. Ty jsou na něj přímo navázány. Ústřední zápleтка se týká rodiny hodinářů, kteří využívají mechanismů ozubených kol obdobným způsobem, jako by se jednalo o elektrické obvody. Hlavní protagonistkou je pak jejich dcera, jež se seznamuje se součástkami a obvody.

Poslední částí jsou hlavolamy. Ty mají vždy v horní části své označení a popis chování obvodu, kterého se má dosáhnout. V dolní části je pak zakresleno základní rozložení součástek, které mají být použity, případně i některá jejich propojení. Následuje tabulka s dalšími dostupnými částmi, které jsou potřeba při stavbě obvodu, přičemž řešiteli není známo jejich přesné umístění.

Jednotlivé hádanky bývají většinou dobře odstupňované, co se obtížnosti samotného sestavení týče. Ne všechny obsažené obvody však lze sestavit z reálných elektronických prvků. K tomu se autor vyjádří samostatně.

4.2.3 Obvody obsažené v návodech

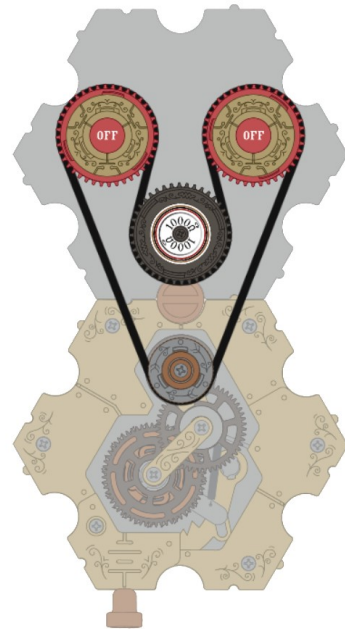
Informace čerpané z [34][35][36].

Hlavolamy, jež lze nalézt uvnitř jednotlivých stavebnic, často nejprve představují jednotlivé součástky a následně je kombinují do složitějších obvodů. Obsahují tedy ty, které mají osvětlit funkci odporů a sériového zapojení (1–3), spínačů (6–8, 24), ampérmetrů (9–12), uzlů a paralelního zapojení (17–18, 22–23), kondenzátorů (31–41) a voltmetrů (42–44), tranzistorů (77–83, 87–90, 97–98), diod (101–108, 120) a cívek (109–111). Ty jsou po technické stránce v pořádku a mají potenciál dobře představit principy, s nimiž se můžeme setkat jak ve stavebnici Spintronics, tak i v elektrických obvodech.

Dalšími obvody, které lze najít v návodech, jsou komplexnější konstrukce, které mohou reprezentovat, mimo jiné, logické obvody (19, 48–50), děliče napětí (45–46, 51, 82–83), či oscilační obvody (136, 138–143). Mezi nejkomplexnější obvody, které v základních dvou sadách nalezneme, patří ty, jež se zabývají střídavým proudem a modulací signálu. K tomu navíc můžeme připojit i některé obvody ze sady *Power Pack*, která doplňuje stavebnici o možnost připojení dvou baterií do obvodu.

Velká část je z pohledu analogie v pořádku. Nejedná se však o všechny. V mnoha hlavolamech, zejména těžších, se na konci každého návodu, vyskytuje zapojení součástek takovým způsobem, kterého nelze dosáhnout v elektrickém obvodu.

Prvním z těchto principů, které manuály uživatelům představují, je převádění kladného *spin proudu* na záporné *spin napětí* na součástce. V podstatě jde o využití skutečnosti, že ozubené kolo připojené uvnitř pohyblivého se řetězu se bude otáčet jedním směrem, zatímco ozubené kolo připojené z vnější strany řetězu druhým. Toto zapojení je možné vidět na obrázku 17, kde je 6 V přivedeno z baterie na dva spínače. Pokud by tyto spínače byly přepnuty, propouštěly by *spin proud* na rezistor. Ten se však díky svému umístění bude otáčet proti směru hodinových ručiček, tedy obdobně jako kdyby na něj bylo přivedlo *spin napětí* o velikosti -6 V .



Obrázek 17: Záporné *spin napětí* na rezistoru (vytvořeno v [27])

Hlavolamy ve stavebnici tohoto jevu využívají zejména, pokud potřebují na nějakou část obvodu aplikovat konstantní záporné napětí a již zpočátku upozorňují na skutečnost, že se jedná o efekt, kterého nelze v elektronice dosáhnout. Přesto může přítomnost obdobných zapojení v návodech potenciálně působit proti vybudování správné intuitivní představy o elektrických obvodech.

Kromě toho stavebnice v některých případech vyžaduje vytvoření zdvojovačů či půličů *spin napětí*. Ty využívají propojení baterie s uzlem spodního ozubeného kola, přičemž zbylá dvě kola jsou umístěna na příslušnou součástku. Na tu je, v důsledku

fyzických vlastností stavebnice, aplikováno dvojnásobné *spin napětí* [40]. Obdobně u pŕiliců *spin napětí*.

Ačkoli zdvojovače elektrického napětí existují, rozhodně nefungují na tomto principu. Ve své podstatě se totiž jedná o paralelní obvod, který se před součástíkou opět spojí dohromady. V takovém případě však elektrické napětí zůstává stejné jako na zdroji.

Navíc můžeme dodat ještě vlastnost uzlů, kterou jsme již probrali v části zabývající se samotnými součástkami. Za jisté konfigurace totiž nesplňují první Kirchhoffův zákon. Návody ve stavebnici na to dokonce upozorňují, přesto však zahrnují několik hlavolamů (mezi prvními jsou např. 52 a 54), které pro splnění vyžadují porušení tohoto zákona.

Přímou v příkladu 54 se po uživateli chce, aby vytvořil paralelní obvod, kde v jedné větvi bude kladné *spin napětí* a ve druhé záporné o stejné absolutní hodnotě. Ty má následně spojit dohromady a do série připojit ampérmetr tak, aby naměřil nulový *spin proud*. Opět se tedy jedná o nerealizovatelné zapojení, co se týče elektroniky.

Přesto manuály dokáží přiblížit mnohé koncepty společné pro stavebnici i elektrické obvody. Veškeré neshody s elektronikou se dávají jasně najevo v doprovodných komentářích, anebo ve vysvětlujících pasážích.

4.3 Internetová simulace

Kromě fyzické stavebnice existuje i internetová simulace Spintronics, která je dostupná zdarma na webu společnosti Upper Story Ltd. [27]. Primárně má umožnit přístup k analogii použité ve stavebnici i pro ty, kteří nevlastní její fyzickou podobu. Také má sloužit jako rychlejší způsob sestavování a testování rozsáhlejších obvodů.

Byla vytvořena Paulem Boswellem pomocí Box2D a Phaser 3 [26]. Autorům mimo jiné posloužila i k vytvoření grafického zpracování obvodů v návodech [26]. Stejným způsobem bylo vytvořeno i mnoho obrázků v této práci.

Kromě toho simulace obsahuje součástky, které fyzická stavebnice nezahrnuje. Mimo standardních prvků zde naleznete také diodu, která se může otáčet pouze ve směru hodinových ručiček, a měnič úrovně řetězu. Jedná se o jedinou součástku, k níž je možné připojit pět řetězů. Její využití je zejména pro připojení dvou

součástí k sobě, pokud nemají volné ozubené kolo ve stejné výšce, což se může stát u komplexních obvodů.

Zbylé části jsou totožné těm, které jsou ve fyzické verzi stavebnice, až na vnitřní parametry rezistorů, kondenzátorů a cívek. V simulaci je totiž možné používat i rezistory, které mají *spin odpor* o hodnotách $20 \overset{\circ}{\Omega}$ a $2000 \overset{\circ}{\Omega}$. K tomu lze použít i kondenzátory se *spin kapacitou* $5 \overset{\circ}{\text{mF}}$, $10 \overset{\circ}{\text{mF}}$, $50 \overset{\circ}{\text{mF}}$, $100 \overset{\circ}{\mu\text{F}}$ a $500 \overset{\circ}{\mu\text{F}}$; případně také cívky se *spin indukčností* $10 \overset{\circ}{\text{mH}}$, $20 \overset{\circ}{\text{mH}}$, $50 \overset{\circ}{\text{mH}}$, $100 \overset{\circ}{\text{mH}}$, $200 \overset{\circ}{\text{mH}}$, $500 \overset{\circ}{\text{mH}}$, $1 \overset{\circ}{\text{H}}$, $2 \overset{\circ}{\text{H}}$, $5 \overset{\circ}{\text{H}}$, $10 \overset{\circ}{\text{H}}$, $20 \overset{\circ}{\text{H}}$, $50 \overset{\circ}{\text{H}}$, $100 \overset{\circ}{\text{H}}$, $200 \overset{\circ}{\text{H}}$ a $500 \overset{\circ}{\text{H}}$. Navíc není nutné rozložit celý obvod, pokud chceme vyměnit jeden prvek za totožný, pouze s jinou hodnotou. Stačí kliknutím pouze procházet skrze veškeré možnosti těchto hodnot. Totéž platí i pro tranzistor, u kterého měníme, jestli jej otevře kladné či záporné *spin napětí*.

Díky zpracování simulace je také možné vytvořit url odkaz na konkrétní obvod, případně jeho uložení na vlastní zařízení a následné načtení v rámci internetové simulace. Mírnou nevýhodou je skutečnost, že v době psaní této práce není možné vypnout baterii. U fyzické stavebnice totiž vyžaduje natažení a poté po omezenou dobu dodává *spin napětí* do obvodu. V simulaci však konstantně dodává *spin napětí*. To na jednu stranu umožňuje vytvářet obvody, které fungují delší dobu, na druhou se však v některých případech obtížně zastavuje (pokud do obvodu není zařazen spínač). To je problematické zejména kvůli velmi hlasitému zvuku, jež vydává ampérmetr při naměření vysokého *spin proudu*.

Bohužel v ní nelze sestavit všechny obvody, jež jsou obsaženy v návodech. Jako příklad uvedeme hlavolam 128. Ten totiž vyžaduje vytvoření přepínače, který vznikne propojením horních ozubených kol dvou tranzistorů. Jeden z nich musí být otevřený a druhý zavřený, přičemž otočením jednoho z těchto tranzistorů přepneme stavy obou dvou. Tedy první bude zavřený a druhý otevřený [35]. Toto propojení však není možné provést v simulaci, neboť se celá ovládá pouze myší a ta nedovoluje uchopení dvou součástí najednou, což je v tomto případě nutné [40]. Je sice možné, že lze v simulaci přepínač vytvořit, určitě však nepůjde o jednoduché řešení, jež nabízí fyzická stavebnice.

4.4 Zhodnocení stavebnice Spintronics

Stavebnice Spintronics operuje na základě rozsáhlé analogie, která až na určité limitace odpovídá funkci elektrických obvodů. Z velké části se však jim dá vyhnout, případně na ně lze upozornit v takovém smyslu, že se stavebnice dá využít i v rámci výuky fyziky. K tomu přispívá i existence jednoduše použitelné internetové simulace.

Mimo to, některé limitace nejsou vysloveně negativní. Autoři uvádí, jako její velkou nevýhodou je skutečnost, že nelze vytvořit mechanické prvky s rozsahem, který by odpovídal reálným elektronickým součástkám [28]. Je tím myšleno například omezení počtu rezistorů, které mají jen pět různých hodnot *spin odporu*, zatímco reálné rezistory mají de facto neomezené rozpětí. Pokud by se však uvažovalo nad stavebnicí Spintronics čistě jako edukační pomůckou, nejedná se o velký problém. Vždy je totiž možné ustoupit od analogie, jakmile se žáci naučí základní principy.

Další nesrovnalostí mezi stavebnicí a elektrickými obvody je možnost vytvořit záporné napětí na libovolné součástce. Pokud by se měl vytvořit obvod, který využívá závěrně zapojené diody, je zapotřebí baterie, jež by otáčela řetězem proti směru hodinových ručiček. Z hlediska výroby a distribuce je však nevýhodné vytvářet dvě různé baterie, obzvlášť když dokážeme vytvořit záporné *spin napětí* na jakékoli části. Může se tedy jednat o výhodu, která umožňuje snadněji operovat se zapojením. Musí se však vysvětlit žákům, že se jedná o zjednodušení, jehož nelze využít v elektrických obvodech.

Teoreticky by se tedy Spintronics dala využít v rámci výuky elektrických obvodů na základních i středních školách, zejména u Ohmova zákona, při vysvětlování funkce kondenzátorů a jejich spojování v obvodu. Také by bylo možné jejich zapojení do výkladu oscilačních obvodů a střídavého napětí. Výhodou oproti měření těchto jevů na elektrickém obvodu je rychlost a intuitivnost výsledku, za předpokladu správného zapojení stavebnice. Lze totiž předpokládat, že studenti si díky možnosti fyzické interakce s reprezentací obtížnějšího konceptu odnesou jeho trvalejší pochopení.

Přesto se nejedná o bezchybnou učební pomůcku a je nutné zmínit její nedostatky. Jedním z nich je fakt, že nesimuluje magnetické vlastnosti obvodů. Nelze tedy pozorovat veškeré procesy na cívkách, ani sestrojít transformátory. V takovém případě je nutné přejít k vhodnější analogii, či přímo reálným obvodům. Pokud

by však Spintronics byla chápána spíše jako úvodní příměra, jež má žáky dostat jednoduše do problematiky, od které se následně ustoupí, nejedná se o tak závažnou chybu.

Poněkud větším nedostatkem je skutečnost, že měření *spin proudu* se může zásadně lišit od teorie elektrických obvodů, což může mít vliv na následné žákovské představy. Jako příklad je možné použít tři jednoduchá zapojení, na kterých mají žáci porovnat výslednou hodnotu *spin proudu*. Ve všech je konstantní zdroj *spin napětí* o hodnotě $6\overset{\circ}{\text{V}}$ a ampérmetr společně s: a) odporem o hodnotě $1000\overset{\circ}{\Omega}$; b) dvěma odpory o hodnotě $500\overset{\circ}{\Omega}$ v sériovém zapojení; c) dvěma odpory o hodnotě $2000\overset{\circ}{\Omega}$ v paralelním zapojení. Je jasné, že všechny obvody by v teorii měly mít celkový odpor totožný, přesto tomu tak v praxi není. Navíc díky způsobu, jakým se *spin proud* měří, je tato skutečnost velmi nápadná.

Pokud jsou totiž tyto obvody realizované v online simulaci (příloha A, odkaz 1), aby byl vyloučen faktor lidské chyby při napínání řetězů mezi součástkami, je možné pozorovat, že všemi obvody prochází různý *spin proud*. Ampérmetr v těchto třech případech vydává rozeznatelně tóny o odlišné frekvenci. Konkrétně se jedná o $f_a = 178,62\text{ Hz}$, $f_b = 201,85\text{ Hz}$ a $f_c = 165,86\text{ Hz}$. Protože se nejedná o frekvence blízké, zvládne je od sebe lidské ucho odlišit.

Důsledkem této nepřesnosti může být omezení pro použití stavebnice ve výuce. Není totiž možné nechat žáky odvodit pomocí skládání obvodů Spintronics vztah pro celkový odpor sériově či paralelně zapojených rezistorů. Respektive je nutné jim objasnit, že v realitě je odpor (ať už elektrický, tak *spin odpor*) zatížený dalšími parametry, jež nelze ovlivnit a způsobují tyto odchylky. Přesto je jednodušší tyto nepřesnosti objasnit na měřicím přístroji, na jehož výstupu je číselný údaj, než na výšce tónu. V takovém případě už spíše záleží na schopnosti učitele, jestli dokáže efektivně překonat překážku vytvořenou nedokonalostí modelu.

Obdobně lze brát v úvahu do jisté míry porušení prvního Kirchhoffova zákona, pokud se studenti nedrží přesně stanovených podmínek pro sestavování paralelních obvodů. Je možné, že postaví jeden z obvodů, jež jsou podobné tomu, který autor pro demonstraci tohoto jevu realizoval ve Spintronics simulaci (příloha A, odkaz 2). Opět však v tomto případě záleží na vlastní akci učitele, jež by si při práci se stavebnicí měl být této možnosti vědom a měl by být schopen vysvětlit, proč k tomuto jevu

dochází u stavebnice a nikoliv u elektrického obvodu.

Poslední detailem, o kterém se tato práce zmíní, je vlastní název Spintronics. Ten vychází z anglického *spin*, tedy otáčet, a *electronics*. Volně přeloženo: elektronika, jež využívá otáčení. Jedná se sice přesně o to, co představuje, přesto již existuje odvětví fyziky se stejným názvem.

Spintronika, jak ji definuje Pulizzi, představuje „část fyziky pevných látek, která studuje vlastnosti spinu elektronů se záměrem vylepšit elektronická zařízení“ [41]. Toto vědní odvětví sice nemusí být momentálně v povědomí veřejnosti, lze však předpokládat, že s vývojem technologií v této oblasti bude více citována. V takovém případě bude těžké na školní úrovni rozlišovat mezi spintronicou a stavebnicí Spintronics. Nebo je alespoň možné očekávat, že některým žákům by podobnost názvů mohla způsobovat problémy s pochopením přinejmenším jednoho z těchto konceptů.

Spintronics tedy mají potenciál být nápomocnou analogií při vysvětlování elektroniky na školách. Nezáleží však pouze na učební pomůcce, ale i na její implementaci do výuky a správném přístupu k jejím omezením.

5 Implementace stavebnice Spintronics do výuky

K zařazení konkrétní analogie do výuky nestačí její teoretické zpracování. Kromě toho je nutné zařídit pro žáky správné podmínky pro seznámení se s modelem a jeho implikacemi na modelovaný systém. Pokud jsou navíc tyto podmínky doprovázené vhodnými výukovými metodami, může být využití příklady v rámci výuky efektivnější.

Následující kapitola je zaměřená na zařazení stavebnice Spintronics do výučování. Navrhnuje způsob, jak seznámit studenty s používáním stavebnice a jejími specifickými pravidly. Mimo to nastiňuje tři aktivity, které využívají k dosažení výukového cíle stavebnici Spintronics. První dvě zaměřené na badatelskou metodu využívající stavebnice k seznámení se s elektrickým odporem a Ohmovým zákonem, respektive s kondenzátory. Třetí zmíněná spoléhá na frontálně provedený pokus za pomoci Spintronics k objasnění procesů v oscilačních obvodech.

5.1 Zásady pro správné použití stavebnice

Informace čerpané z [34].

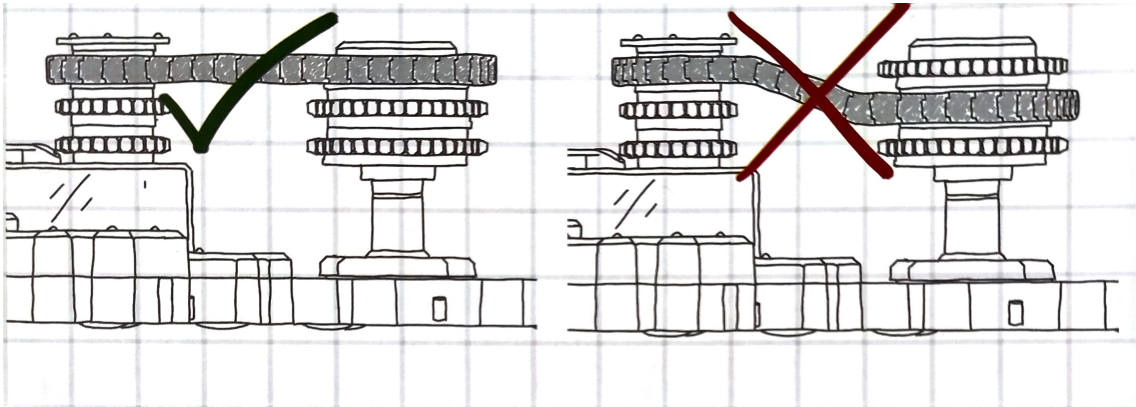
Před prvním použitím je nutné dbát několika bezpečnostních opatření. Součástky by neměly být vystavovány vodě, teplotám vyšším než 65 °C a neměly by být rozebírány. Veškerá manipulace by měla být prováděna tak, aby se dlouhé vlasy nemohly dostat do kontaktu s ozubenými koly. Ideálně by měly být svázané a mimo dosah.

Speciální opatření platí pro baterie. Pokud je poháněcí provázek vytažen, neměl by být do součástky vrácen silou, baterie by si jej měla vtáhnout dovnitř sama svou činností. Taktéž by neměla být pouštěna „naprázdno“ (bez připojeného obvodu s prvkem, jež zajišťuje větší než zanedbatelný *spin odpor*). V takovém případě může být poškozena a její oprava vyžaduje její rozebrání.

Veškeré obvody musí být stavěny na spojovacích magnetických deskách, které jsou k baterii a sobě navzájem připojeny pomocí spojovacích dílků. To dovoluje snadnou manipulaci s obvodem jako celkem a zároveň zaručuje stabilitu pro propojovací řetězy. Ty by měly být mezi jednotlivými součástkami napnuté, aby neprokluzovaly a nevypadávaly. Přílišné napětí však také není vhodné. Nejlépe to

lze poznat v takovém případě, kdy připojená součástka už nemůže stát svisle vzhůru, ale je již mírně nakloněná. Stačí ji na magnetické podložce posunout o kus blíže, až se přestane naklánět.

Řetězy samotné je navíc nutné umisťovat na součástky vždy do stejné výškové úrovně, jak je znázorněno na obrázku 18.



Obrázek 18: Správné umístění řetězu na součástkách [34]

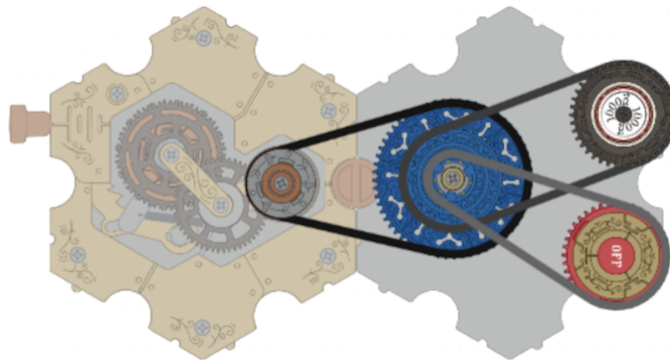
Mimo to je potřeba znát způsoby sestavování sériového a paralelního obvodu. Sériového je totiž možné dosáhnout minimálně třemi základními způsoby, které je možné libovolně kombinovat, zatímco paralelní musí být sestaven jediným způsobem, pokud má být zachována analogie mezi obvodem elektrickým a Spintronickým.



Obrázek 19: Možnosti zapojení sériového obvodu (podle [34] vytvořeno v [27])

Výše (obrázek 19) je možné vidět tři zapojení sériového obvodu se spínačem a rezistorem. Obdobně jako u elektrického obvodu nezáleží na jejich pořadí. Stejně

tak nesejde na tom, ve které výšce je připojen spojovací řetěz. U paralelního je však pouze jeden způsob zapojení, a to přes součástku zvanou uzel. Aby platil analogický model budovaný stavebnicí Spintronics, je nutné zapojit vstupní řetěz na spodní pozici součástky a zbylé dvě příčky budou výstupní (jak je vidět na obrázku 20). Pozor, na obou výstupních řetězech je nutné mít součástku s nezanedbatelným *spin odporem*, jinak může dojít k poškození baterie. Proto by neměl spínač na obrázku 20 být uveden do polohy otevřeno, pokud k němu v sérii není připojen rezistor či kondenzátor.



Obrázek 20: Zapojení paralelního obvodu (podle [34] vytvořeno v [27])

Pokud by naopak měly být spojeny dvě větve obvodu do jedné, budou vstupní řetězy umístěny na dvou horních příčkách, zatímco na spodní umístíme výstupní řetěz.

5.2 Konkrétní možnosti implementace do výuky

Pro zadání výukové činnosti s využitím stavebnice Spintronics se nabízí hned několik možností. Autor práce se zaměřil na tři různé metody, které teoreticky popsal a následně pro vybrané z nich navrhl praktickou aplikaci na konkrétní situaci.

První prominentní metoda, která by mohla maximálně využít potenciálu analogického modelu Spintronics, je problémová výuka. Žáci mohou mít ve skupině, či samostatně, stavebnici a sami se snažit o skládání pro ně zajímavých obvodů. Je na vyučujícím, zda jim nechá zcela volné pole působnosti, nebo na začátku aktivity určí, na co se při svém zkoumání mají zaměřit.

Jako ukázkou problémové úlohy, která je zadána s počátečním omezením na povolené součástky, je možné brát hlavolamy 12 a 22 z první sady [34]. Jejich

modifikací lze nechat žáky, aby sami přišli pomocí vlastního experimentování na chování více rezistorů zapojených paralelně či v sérii.

Dalším způsobem zadání výukové činnosti se stavebnicí Spintronics je práce za využití pracovního listu. V něm by jednak měli studenti k dispozici popsany postup pro sestavení obvodu, nebo alespoň jeho schéma. Následně by dostali za úkol pozorovat několik jevů. Mohlo by se jednat o pozorování rychlosti řetězu v různých částech obvodu a následné vyvozování důsledků pro elektrické obvody.

Samozřejmě se obě metody dají kombinovat. V ideálním případě bude na předepsané laborování navazovat volné zkoumání, ať už na námět vyučujícího či žáků. V obou případech je však nutné dohlédnout, aby se držel způsob sestavování obvodů, které neporušují vybudovanou analogii.

Výše uvedené metody je možné provádět jednak s individuálně pracujícími jedinci, tak ve skupinách. Ty však představují výhodu ze strany organizace hodiny, neboť umožňují vyučujícímu více prostoru pro řešení komplikací se sestavováním stavebnice u jednotlivých skupin. Navíc nekladou tak vysoké náklady na finanční pokrytí dostatečného počtu stavebnic pro každého ve třídě.

Poslední zde zmíněná výuková metoda spočívá ve využití Spintronics jakožto demonstrace těžko zobrazitelného fyzikálního jevu. Vzhledem k jejímu zpracování se jedná o vhodnou pomůcku pro vizualizaci uspořádaného toku nosičů náboje uvnitř vodičů. Z hlediska prezentace během výkladu je možné využít jednak fyzické sady, případně online simulace v kombinaci s dataprojektorem.

Jako vhodné odvětví elektroniky pro využití této metody se jeví oscilační obvody. Průběh elektrického napětí a proudu je možné pozorovat buď pomocí měření na reálném oscilačním obvodu, případně na jiné vizualizaci, např. pomocí online simulátoru EveryCircuit [42]. Pokud by však byla třída již obeznámena s analogickým modelem stavebnice nemusela by se seznamovat s novým způsobem vizualizace těchto jevů. Oproti měření na reálném obvodu navíc tato metoda přináší možnost rychlého náhledu do celé situace a méně potřebného času pro celkovou přípravu pokusu.

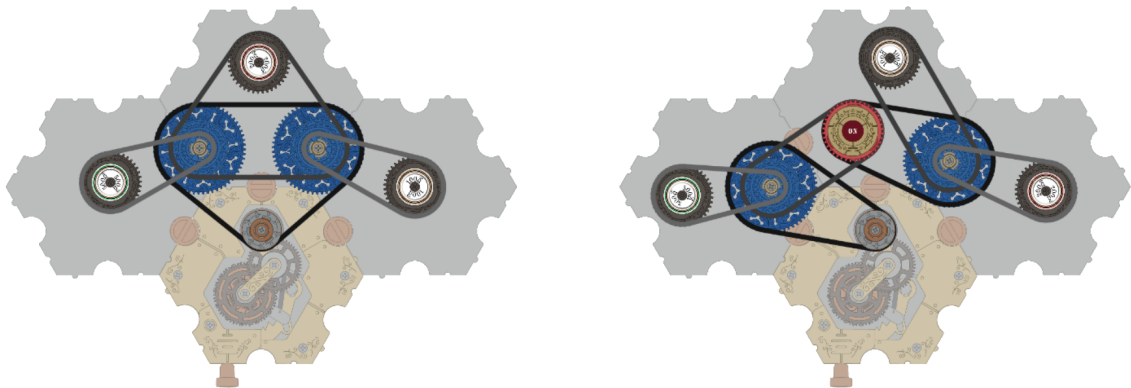
5.2.1 Metodický list - Rezistory a jejich skládání

Prvním příkladem využití stavebnice Spintronics ve výuce je skupinová práce. Ta je koncipována pro osmý ročník základní školy, konkrétně jako podpora učiva *zapojování rezistorů*, v rámci tematického celku *elektrický proud* [43].

Třídu zorganizujeme ideálně do skupin po čtyřech žácích, přičemž každá z nich dostane pracovní list (příloha B) a vybrané součástky ze stavebnice. Rozdělení lze samozřejmě přizpůsobit individuálním potřebám. Přesto se tato aktivita nehodí pro samostatné laborování, jednak z důvodu časové náročnosti sestavování jednotlivých obvodů, ale také kvůli cenovým nákladům na jednu sadu.

Během přípravné fáze by měl vyučující seznámit studenty se zásadami bezpečného zacházení se stavebnicí (zmíněno výše v kapitole 5.1). V tomto ohledu je vhodné, aby měl vyučující po ruce několik gumiček ke svázání vlasů, v případě jejich nedostatku.

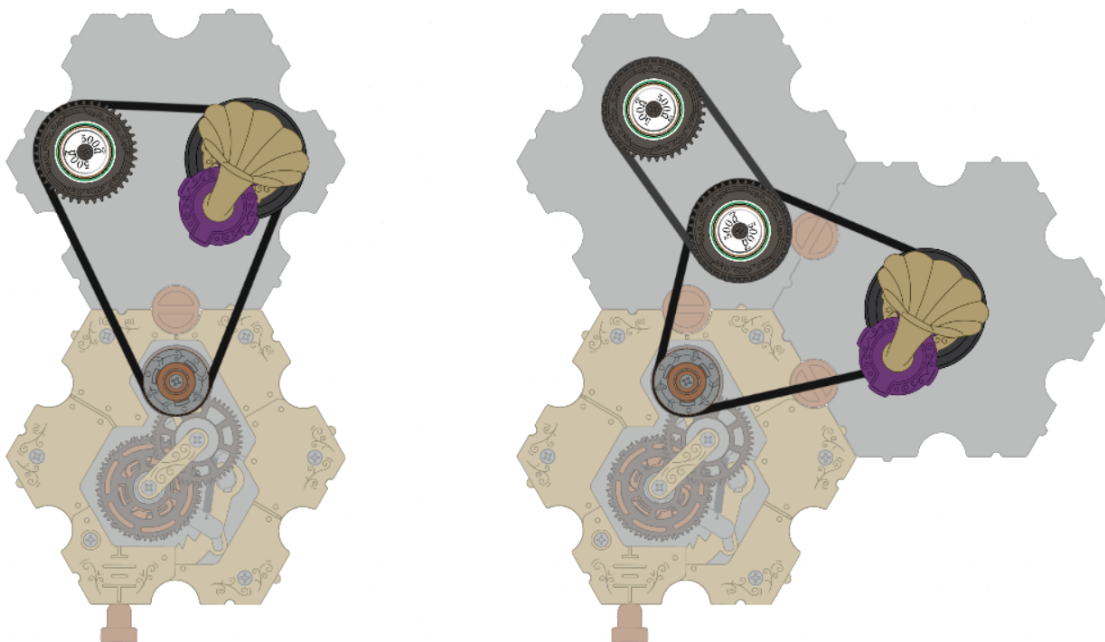
Následně mohou žáci začít pracovat samostatně na jednotlivých úlohách v pracovním listu, zatímco učitel dohlíží na hladký průběh výukové aktivity a radí skupinám, jež mají větší potíže se skládáním obvodů.



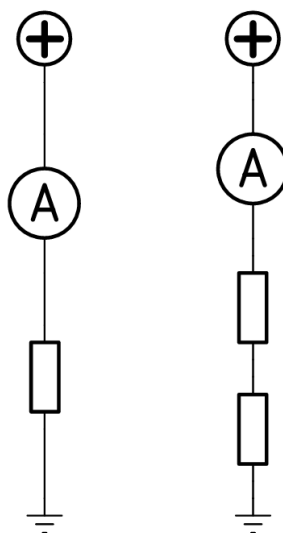
Obrázek 21: Vzorové řešení úlohy 4 z přílohy B (vytvořeno v [27])

Úkoly v pracovním listu jsou voleny tak, aby objasnily žákům práci se stavebnicí za předpokladu, že ji používají poprvé (úlohy 1, 2 a 3 v příloze B). Čtvrté cvičení bylo zařazeno proto, aby byli schopni skládat i obvody s více než dvěma paralelními větvemi. V tomto případě však není nutné, aby byl dodržen Kirchhoffův první zákon, neboť Spintronics se i za jeho porušení (jeden z rezistorů se otáčí opačně než druhý) stále mapuje sledovaný jev, tedy odpor, správně. Přesto je zařazeno i rozšíření této

úlohy, které po žácích chce, aby obvod postavili správně i s ohledem na smysl otáčení součástek. Toho lze dosáhnout hned několika způsoby, dva z nich jsou nastíněné na obrázku 21.

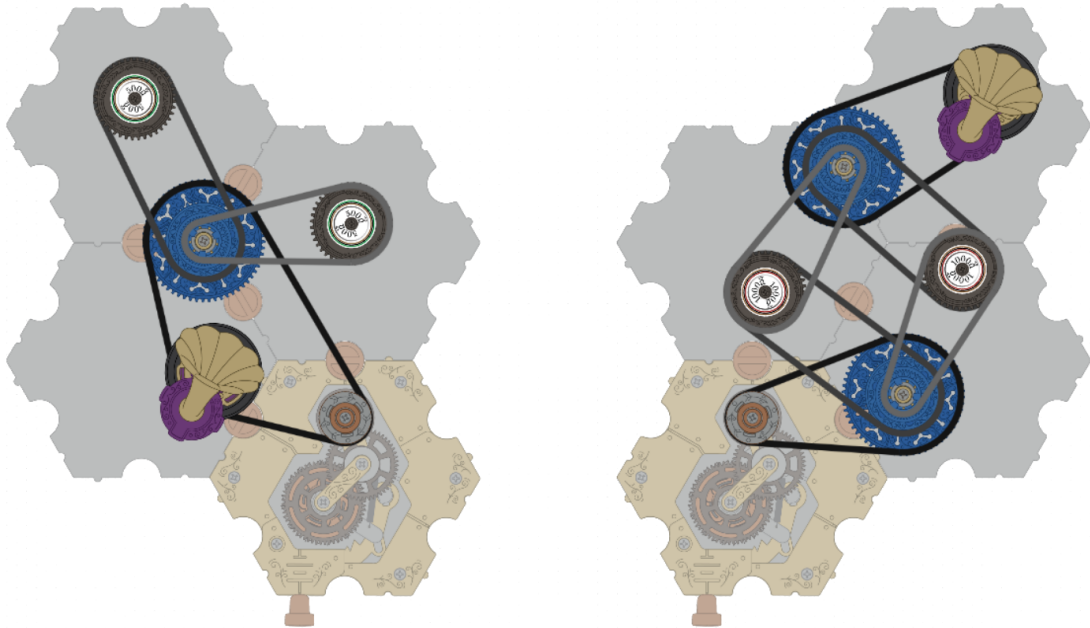


Obrázek 22: Vzorové řešení úlohy 5 z přílohy B (vytvořeno v [27])

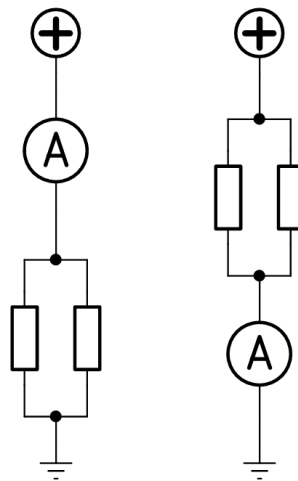


Obrázek 23: Vzorové řešení úlohy 5 z přílohy B (schematické zobrazení)

Stěžejním bodem celé aktivity a pracovního listu jsou úlohy 5 a 6. Ty mají žákům lépe objasnit a hlavně vizuálně, auditivně, případně i hapticky přiblížit fungování zapojení dvou a více rezistorů v elektrickém obvodu. Samotné vzorce pro celkový elektrický odpor však ještě prezentovány nejsou. Cílem je, aby sami přišli na skutečnost, že sériovým zapojením rezistorů se elektrický odpor zvýší, zatímco paralelním se sníží.

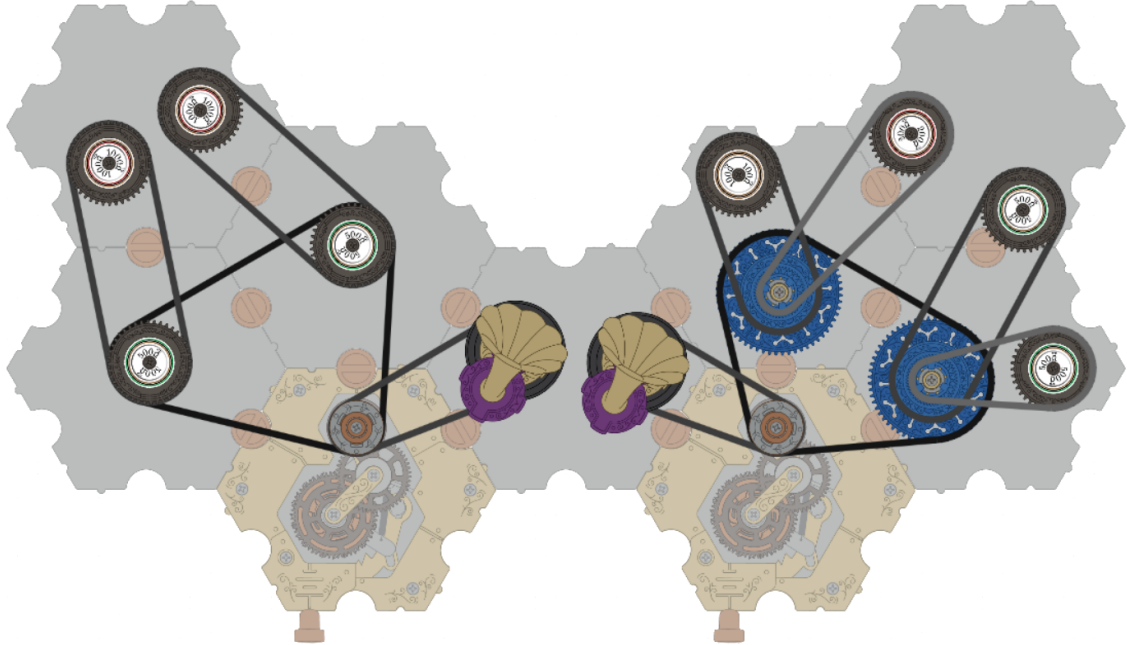


Obrázek 24: Dvě vzorová řešení úlohy 6 z přílohy B (vytvořeno v [27])

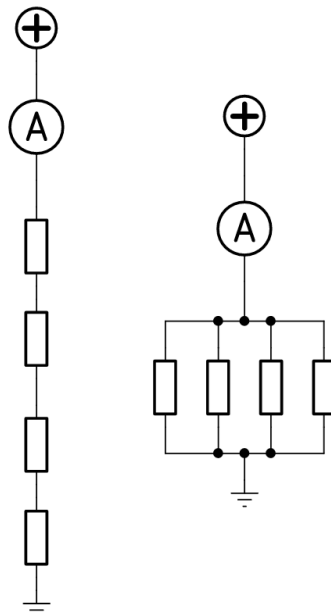


Obrázek 25: Vzorové řešení úlohy 6 z přílohy B (schematické zobrazení)

Pokud si budou studenti schopni uvědomit tento fakt, mohou to prokázat správným splněním úlohy 7, která spoléhá jednak na znalosti získané v předchozích dvou, ale také na schopnost zapojit více paralelních větví v obvodu. Tu by však již měli mít nacvičenou díky příkladu 4.



Obrázek 26: Vzorové řešení úlohy 7 z přílohy B (maximální odpor nalevo, minimální napravo) (vytvořeno v [27])



Obrázek 27: Vzorové řešení úlohy 7 z přílohy B (maximální odpor nalevo, minimální napravo) (schematické zobrazení)

Pokud by na konci vyučovací hodiny zbyl čas, může jej vyučující využít k přesnější formulaci myšlenek, na které žáci v rámci laborování přišli. Zároveň může prezentovat matematizované vztahy pro skládání odporů a prodiskutovat s nimi, jakým způsobem by mohli ověřit jejich platnost. Případně, jestli se, na základě pokusů anebo vzorců, může stát, že by v byl elektrický odpor snížen zapojením do série, či naopak zvýšen paralelním zapojením rezistorů.

5.2.2 Metodický list - Kondenzátory

Další návrh skupinové práce se stavebnicí Spintronics se zaměřuje na zapojování kondenzátorů a některé jejich vlastnosti. Lze jí opět využít pro osmý či devátý ročník na základní škole, nicméně spíše v rámci rozšiřujícího učiva, případně pro nadané žáky, kteří se hodlají účastnit fyzikálních či elektrotechnických soutěží. Aktivita je však vhodná i pro studenty středních škol, kde se dá implementovat do tematického celku *elektrina a magnetismus* v rámci učiva *kondenzátor*, případně jako opakování a příprava na téma *oscilační obvod* [44].

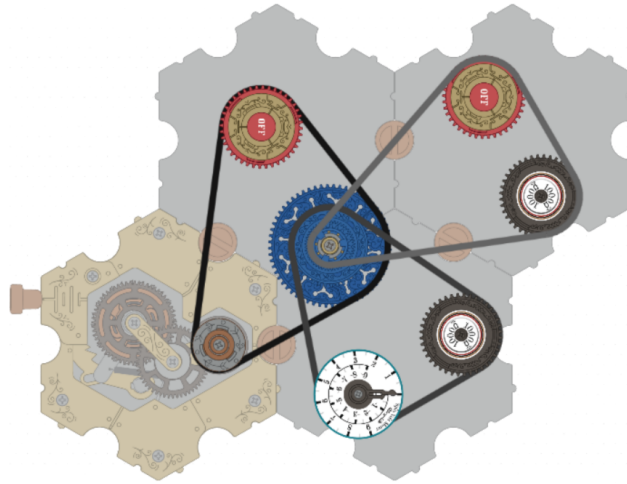
Přípravná fáze je totožná jako v předchozím případě, je potřeba pouze přidat několik součástek, vše je uvedeno v pracovním listu v příloze C.

Navrhovaný postup je takový, že jednotlivé úlohy v pracovním listu plní skupiny bez přičinění vyučujícího. Ten pouze kontroluje plynulost celé aktivity. Samotný list je navíc navrhován jako nepřímé pokračování úkolů v příloze B, nemělo by tedy být potřeba větší instruktáže na začátku hodiny, pouze připomenutí základních zásad bezpečnosti. Díky tomu je také možné vynechat první úlohu v pracovním listu. Ta je zahrnuta z důvodu, že by vyučující chtěl využít této aktivity bez návaznosti na předchozí navrhovanou, případně pro žáky, kteří během předchozí aktivity chyběli a je nutné jim od základu vysvětlit zapojování stavebnice.

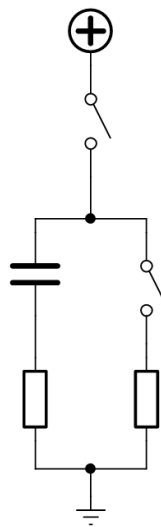
Samotná práce s kondenzátory začíná od druhého úkolu. Podle obrázku lze sestavit obvod, který nabije kondenzátor na hodnotu $6\overset{\circ}{V}$. Jakmile se tak stane, celý obvod se zastaví, neboť přes kondenzátor již neprochází elektrický proud (potažmo nedovolí pohyb řetězu stavebnice). Rychlost nabíjení lze ovlivnit pomocí zvýšení hodnoty *spin odporu* připojeného rezistoru.

Ve třetí úloze mají žáci za úkol sestavit podle obrázku obvod, ve kterém je možné nabitý kondenzátor vybit. Dva spínače v tomto obvodu by měly sloužit jako

přepínač, tedy nemělo by být možné, aby byly oba v poloze otevřeno. V takovém případě by totiž došlo k mechanickému zkratu. Tomu se však dá předejít modifikací obvodu podle obrázku 28. Cílem však je, aby bylo vidět jak nabití, tak i vybití kondenzátoru.



Obrázek 28: Modifikace úlohy 3 z přílohy C proti mechanickému zkratu (vytvořeno v [27])

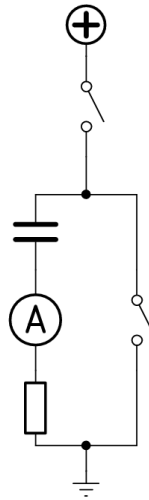


Obrázek 29: Modifikace úlohy 3 z přílohy C proti zkratu (schematické zobrazení)

Čtvrtý úkol požaduje pouze připojení ampérmetru přímo na kondenzátor, čímž lze měřit průběh *spin proudu* na kondenzátoru během jeho nabíjení a vybíjení. Pokud je obvod zapojen správně (obrázek 30), měl by zvuk vydávaný ampérmetrem začínat při nabíjení na vyšším tónu a postupně se snižovat a utíchat. Totéž při vybíjení, ampérmetr by se měl ale otáčet na druhou stranu.



Obrázek 30: Vzorové řešení úlohy 4 z přílohy C (vytvořeno v [27])



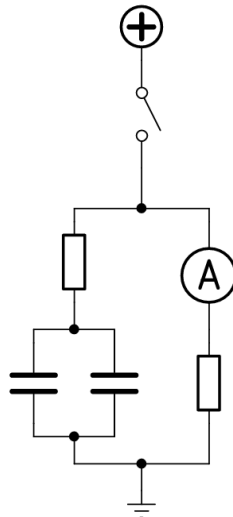
Obrázek 31: Vzorové řešení úlohy 4 z přílohy C (schematické zobrazení)

Úloha pět požaduje složení obvodu, který dodává *spin proud* ampérmetru a zároveň nabíjí kondenzátor. Ten v tomto případě slouží jako záloha baterie pro případ, kdy by byla odstavena či rozbita. Žáci jsou následně motivováni k navrhnutí využití podobného systému v reálném obvodu. Mohou buď mluvit o případech, jež znají (např. náhradní elektrické zdroje v nemocnicích), či vymyslet vlastní návrhy využití náhradního zdroje elektrického napětí.

Poslední úkol pracovního listu po žácích chce, aby zdvojnásobili kapacitu kondenzátoru, aniž by tento cíl byl explicitně vysloven. Paralelním zapojením dvou kondenzátorů jednak zdvojnásobí dobu, po kterou se nabíjí či vybíjí, ale zároveň zvýší i dodané *spin napětí* na ampérmetr, když odpojíme baterii. Úlohu tedy lze brát jako motivaci pro další rozbor chování více kondenzátorů zapojených v jednom obvodu a následnému vyslovení pravidel a vzorců pro jejich spojování.



Obrázek 32: Vzorové řešení úlohy 6 z přílohy C (vytvořeno v [27])

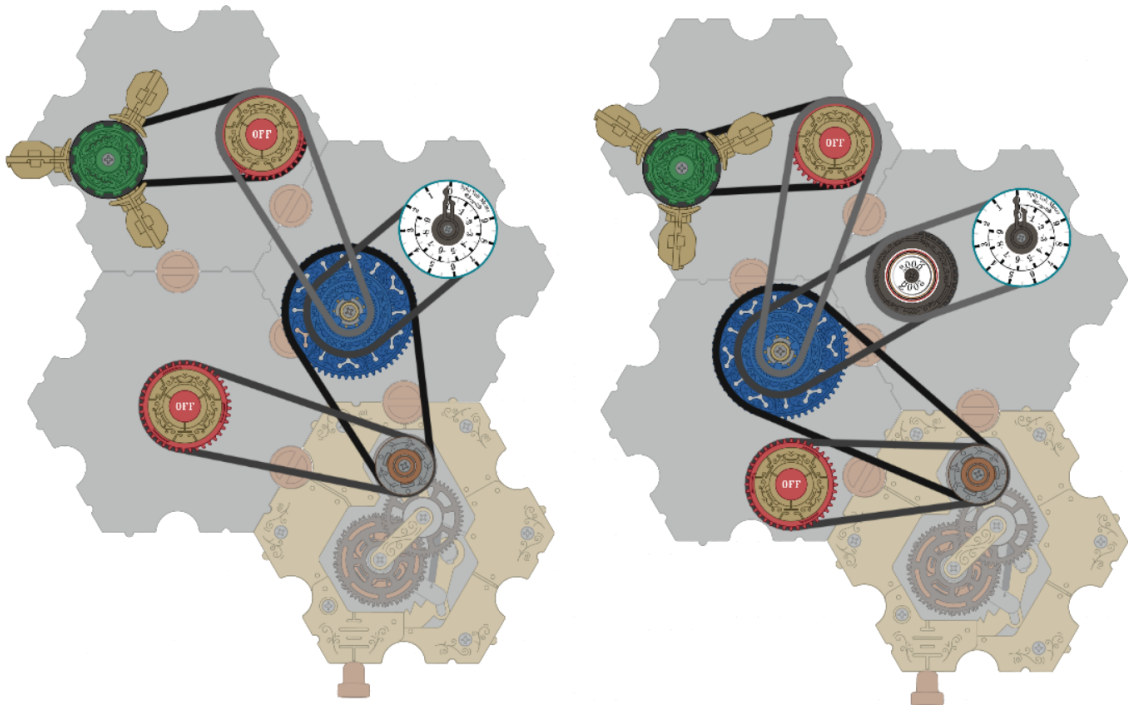


Obrázek 33: Vzorové řešení úlohy 6 z přílohy C (schematické zobrazení)

5.2.3 Metodický list - Oscilační obvody

Další možné využití stavebnice Spintronics ve výuce je demonstrační pokus. Ten je koncipován zejména pro žáky středních škol a gymnázií v rámci tematického celku *elektrina a magnetismus*, konkrétně jako podpora učiva *oscilační obvod* [44].

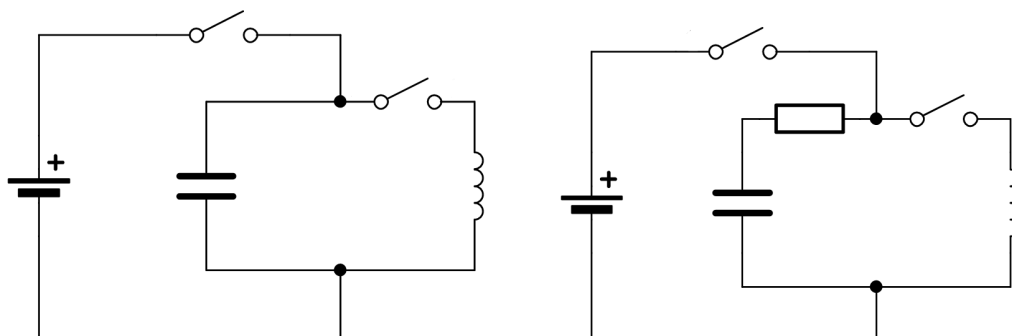
Zapotřebí je dataprojektor a počítač s připojením k internetu. Pokud je k dispozici alespoň jedna fyzická stavebnice Spintronics, jedná se samozřejmě o výhodu. V takovém případě je nutné připravit jeden, případně oba, z níže zobrazených obvodů (obrázek 34).



Obrázek 34: LC a RLC oscilační obvody v simulátoru (vytvořeno v [27])

Vlevo je klasický LC oscilační obvod, (příloha A, odkaz 3). Namísto přepínače, jež je zobrazen na schématu LC obvodu např. i v učebnici fyziky od nakladatelství Prometheus [44], je v tomto případě využito dvou spínačů. Nejprve by se měl sepnout spínač připojený přímo k baterii, ten zařídí nabití kondenzátoru, načež může být opět vypnut. V druhé fázi sepneme druhý spínač, který uzavře obvod mezi kondenzátorem a cívkou, čímž dá za vznik jejich vzájemným oscilacím. Jejich rychlost a dobu trvání lze v simulaci nastavit pomocí změny parametrů cívky anebo kondenzátoru (pomocí ikony s tužkou). U fyzické stavebnice sice tyto vlastnosti

měnit nelze², je však možné žákům ukázat, že se nejedná pouze o animaci, ale že takovýchto procesů (oscilací) lze dosáhnout i v realitě. To by mělo mít za následek to, že studenti snadněji přijmou analogii, než kdyby se jednalo kupříkladu o animaci umělecky interpretující fyzikální procesy.



Obrázek 35: Schémata LC a RLC oscilačních obvodů

Je dobré mít na paměti, že oba spínače by neměly být sepnuty najednou, pokud chceme prezentovat oscilační obvod. Pakliže se tak však stane, nejedná se o problém v rámci simulace, ani stavebnice. Pouze dojde k nabití kondenzátoru a následnému otáčení cívky ve směru hodinových ručiček, jež reprezentuje přívod kladného elektrického proudu na součástku. Při samotných oscilacích je pak směr tohoto otáčení v čase proměnný, stejně jako u reálného obvodu.

U prvního zapojení je taktéž možná modifikace, kdy je k baterii sériově připojen rezistor, který zaručí hladší, nikoliv skokové, nabíjení kondenzátoru. Tato úprava je spíše vhodná pro fyzickou verzi Spintronics, neboť u té může pomoci předejít mechanickému poškození součástek v důsledku prudkých pohybů.

Dále na obrázku 34 je RLC oscilační obvod (příloha A, odkaz 4). Na tom je možné předvést tlumené (elektrické) kmity, jejichž tlumení závisí na zvoleném rezistoru. Pokud by měl být tento pokus proveden taktéž pomocí stavebnice, je obtížnější měnit rezistory, tudíž je vhodnější použít simulaci, kde je možné změnit *spin odpor* rezistoru pouhým kliknutím.

Přesto je možné uskutečnit obvod fyzicky a umožnit o něco rychlejší výměnu rezistorů. Pokud je totiž připojen k řetězu z vnějšku (obrázek 36), lze jej snadněji vyndat a náhradu stačí ze stejného směru zatlačit do řetězu, dokud se nenapne.

²Pokud bychom neupravili cívku ze stavebnice, případně nevyrobili vlastní upravenou součástku.



Obrázek 36: Modifikace RLC obvodu pro snazší výměnu rezistoru (vytvořeno v [27])

Ze strany výkladu však postrádá toto přirovnání hlubší vysvětlení magnetických jevů, ke kterým dochází na cívce. Je možné se tedy zmínit o analogii mezi kinetickou energií a magnetickou energií [32], přesto se však Spintronics zdá vhodnější spíše pro zobrazení elektrických jevů na obvodu. Proto by měla být tato demonstrace doplněna o komentář k tomuto nedostatku a výklad vyučujícího k elektromagnetickým procesům, odehrávajícím se mezi kondenzátorem a cívkou, jež dávají za vznik elektromagnetickým oscilacím.

6 Výzkum

6.1 Koncepce a záměr výzkumu

Hlavním cílem výzkumu bylo zjistit, jestli je stavebnice Spintronics vhodným nástrojem pro předcházení miskonceptů na základě jejího analogického modelu elektrického obvodu. Vzhledem k šíři tohoto vymezení se autor rozhodl provést prvotní zkoumání zaměřené zejména na pohyb nosičů náboje uvnitř vodičů a elektrický odpor, resp. skládání rezistorů. Stále však zůstává dostatečný prostor pro případné další studie týkající se využití této stavebnice v rámci výuky fyziky. Ty jsou však nad rámec této diplomové a autor je ponechává pro budoucí vlastní bádání, případně pro jiné autory.

Výzkum byl navázán na pracovní list *Rezistory a jejich skládání* (viz příloha B). Žáci během něj nejprve vyplnili test na zjišťování prekonceptů spojených s pohybem elektrického náboje ve vodiči, elektrickým odporem a rezistory. Následně během vyučovací hodiny pracovala jedna polovina ve skupinkách s výše zmíněným pracovním listem a stavebnicí Spintronics, zatímco druhá představovala referenční skupinu a plnila modifikované úlohy (viz příloha E) pomocí stavebnice NTL ŽEM Elektřina 1.

Všem byla věnována bezpečnostní instruktáž k přidělené stavebnici a téže výklad k teorii (tj. k funkci rezistorů a měření pomocí příslušného ampérmetru). Následně žáci ve skupinách plnili práci zadanou pracovním listem, načež uklidili pomůcky a opět vyplnili konceptový test. Tímto způsobem se měl určit okamžitý dopad stavebnice Spintronics na porozumění výše uvedených konceptů.

Studie proběhla na dvě etapy v téže třídě, odpovídající sedmému ročníku základní školy, na Masarykově gymnáziu Plzeň. Žáci mají půlená laboratorní cvičení z fyziky, během kterých proběhl sběr dat. Vzhledem k faktu, že autor diplomové práce měl v době testování pouze dvě kompletní sady stavebnice, nebyl výzkum rozdělen klasickým způsobem, tedy zvlášť v kontrolní skupině a zvlášť ve skupině hlavní. Namísto toho byli v rámci jednoho laboratorního cvičení rozděleni žáci do čtyř skupin, na které jsou zvyklí, a dvěma z nich byly přiděleny stavebnice Spintronics, zatímco zbylým stavebnice NTL ŽEM Elektřina 1. Tento způsob

provedení má samozřejmě jistá úskalí, ke kterým je poskytnuto vyjádření v rámci zhodnocení jako celku.

Volba sedmého namísto osmého ročníku, pro který je pracovní list původně koncipován, byla opodstatněna dvěma důvody. Prvním je skutečnost, že autor práce v této třídě působí jako vyučující fyziky; druhým je možnost částečně odfiltrovat dřívější znalost o chování rezistorů v elektrickém obvodu. Žáci totiž tyto informace obdrželi společně s prací na stavebnicích, tudíž jediným rozdílným faktorem byla použitá stavebnice, nikoliv jejich domácí příprava.

6.1.1 Konceptový test

Konceptový test (viz příloha D), využitý při výzkumu, byl vytvořen na základě již existujícího testu *Determining and Interpreting Resistive Electric Circuits Concepts Test (DIRECT)* (úlohy 8–10) [45] a vybraných úloh s výskytem miskonceptů (úlohy 1–7) obsažených v publikaci *Žákovské prekoncepce ve výuce fyziky* [17]. Jednotlivé otázky byly vybírány tak, aby nám co nejvíce přiblížily žákovské představy týkající se pohybu náboje v elektrickém obvodu a účincích elektrického odporu. Mimo to byl kladen zvláštní důraz na aspekty, u kterých můžeme potenciálně očekávat zlepšení díky využití stavebnice Spintronics.

Jako jedno z takových cvičení můžeme uvést úlohu 9, jež byla převzata z testu *DIRECT* [45]. Tu by v teorii měli lépe zodpovědět studenti pracující se stavebnicí Spintronics. Můžeme totiž očekávat miskoncept, že nosiče elektrického náboje jsou do obvodu dodávány až z baterie a musí se do vodiče nejprve dostat. Stavebnice však vodiče a nosiče náboje reprezentuje totožným způsobem, což znamená, že by si žáci mohli uvědomit, že nosiče náboje jsou v obvodu přítomny a jsou elektrickým napětím pouze uspořádány a rozpořadány.

Obdobné zlepšení můžeme předpokládat i u otázky 1 [17]. U stavebnice je totiž vidět, že řetěz pouze roztočí součástku, žádný náboj (reps. článek řetězu) na ní však nezůstane. Lze tedy dobře pozorovat i skutečnost, že elektrický náboj i proud jsou před součástkou i po ní v elektrickém obvodu totožné (viz úlohy 2–6).

Je nutno podotknout, že úloha 4 je původně z testu *DIRECT* [45], ale pro účely této práce bylo použito české znění této otázky. To zahrnuje i schématické značení, které je bližší tomu, které se používá v českém školství.

6.2 Realizace výzkumu

Výzkum probíhal ve dnech 22. 4. a 29. 4. 2024. V obou dnech byli žáci rozděleni do čtyř skupin, z nichž dvě plnily pracovní list pomocí klasické stavebnice (NTL ŽEM Elektřina 1) pro zapojování elektrických obvodů a zbylé pomocí stavebnice Spintronics. V konečném výsledku bylo 14 studentů ve skupinách pracujících se stavebnicí Spintronics a 12 v kontrolních skupinách.

Všichni, kteří pracovali se stavebnicí Spintronics poprvé, se velmi rychle seznámili s jejím fungováním a během celého výzkumu projevili, bez ohledu na zadaná cvičení, velký zájem se stavebnicí samostatně experimentovat. Přesto proběhly vyučovací hodiny hladce. Za výjimku můžeme považovat pouze dva případy „mechanického zkratu“ na stavebnici, které byly způsobeny jednak nedostatečným zdůrazněním pravidel pro práci týkajících se zapojování uzlů, a jednak faktem, že s ní žáci pracovali poprvé. Díky zabudované brzdě v baterii se však incidenty nevymkly z kontroly.

Všechny skupiny byly kvůli časovému omezení na jednu vyučovací hodinu instruovány, aby úlohu 7 neplnily. Ta však byla v původním návrhu pracovního listu koncipována jako bonusová. Stěžejní poznatky již získaly vypracováním cvičení 5 a 6.

6.3 Výsledky a jejich zhodnocení

Na následujících stránkách se nachází tabulky s procentuálním vyčíslením podílu odpovědí v jednotlivých testových položkách. Správná odpověď pro danou otázku je vždy barevně označena. Pouze u otázek 2 a 3 jsou rozepsány i jednotlivé špatné odpovědi.

Mezi špatnými odpověďmi k druhé položce silně převažovala možnost, že ampérmetr 1 ukazuje vyšší hodnotu než ampérmetr 2. Tento prekoncept přetrval ve všech skupinách, což se shoduje s předpoklady zmiňovaných v pracích Mandíkové [22].

Nesprávné odpovědi k třetí otázce se silně lišily. Od představ symetrického rozdělení elektrického proudu, až k vzestupným či sestupným uspořádáním hodnot této veličiny. Zároveň se nevyklučovalo správné zodpovězení položky 2 a nesprávné zodpovězení položky 3, případně opačné, u téhož respondenta, nehledě na skupinu.

Tabulka 3: Výsledky pretestů kontrolní skupiny

	1	2	3	4	5	6	7A	7B	7C	8	9	10	11
A	0,00	–	–	0,00	0,92	0,42	0,25	0,17	0,25	0,25	0,00	0,67	0,42
B	0,67	–	–	0,00	0,00	0,17	0,17	0,58	0,17	0,67	0,08	0,17	0,08
C	0,33	–	–	0,33	0,08	0,42	0,58	0,25	0,58	0,08	0,33	0,00	0,00
D	–	–	–	0,50	–	–	–	–	–	–	0,58	0,08	0,50
E	–	–	–	0,17	–	–	–	–	–	–	–	0,08	–
	–	0,50	0,33	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	–	0,42	0,67	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–

Tabulka 4: Výsledky posttestů kontrolní skupiny

	1	2	3	4	5	6	7A	7B	7C	8	9	10	11
A	0,00	–	–	0,33	0,42	0,50	0,33	0,00	0,58	0,33	0,08	0,50	0,25
B	0,58	–	–	0,00	0,25	0,17	0,50	0,58	0,08	0,42	0,08	0,33	0,08
C	0,42	–	–	0,17	0,33	0,33	0,17	0,42	0,33	0,17	0,33	0,00	0,08
D	–	–	–	0,50	–	–	–	–	–	–	0,50	0,08	0,58
E	–	–	–	0,00	–	–	–	–	–	–	–	0,08	–
	–	0,42	0,42	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	–	0,58	0,58	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–

Jak je zejména ze srovnávací tabulky 7 vidět, v kontrolní skupině došlo ke zlepšení u pěti testových otázek a to řádově v jednotkách procent. Výraznější zhoršení nastalo hlavně u otázky 5. Oproti tomu žáci se stavebnicí Spintronics měli konzistentnější výsledky, kdy ke zlepšení v rozmezí od 14 % do 43 % došlo u osmi otázek, včetně již zmíněné otázky pět. K výraznějšímu zhoršení došlo zejména u úlohy 3 (o 22 %), která u kontrolní skupiny naopak dopadla lépe.

Poslední zmíněný výsledek je poněkud nečekaný, neboť vzhledem ke konstrukci sériových obvodů ve stavebnici Spintronics, bychom spíše čekali zlepšení v tomto směru.

Tabulka 5: Výsledky pretestů skupiny „Spintronics“

	1	2	3	4	5	6	7A	7B	7C	8	9	10	11
A	0,07	–	–	0,00	0,43	0,36	0,57	0,36	0,43	0,29	0,07	0,57	0,14
B	0,71	–	–	0,00	0,14	0,14	0,36	0,36	0,36	0,57	0,14	0,14	0,07
C	0,21	–	–	0,43	0,43	0,50	0,07	0,29	0,21	0,14	0,29	0,07	0,36
D	–	–	–	0,43	–	–	–	–	–	–	0,50	0,00	0,43
E	–	–	–	0,14	–	–	–	–	–	–	–	0,21	–
	–	0,57	0,29	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	–	0,43	0,71	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–

Tabulka 6: Výsledky posttestů skupiny „Spintronics“

	1	2	3	4	5	6	7A	7B	7C	8	9	10	11
A	0,00	–	–	0,14	0,57	0,64	0,50	0,21	0,21	0,36	0,29	0,71	0,14
B	0,57	–	–	0,00	0,21	0,07	0,14	0,57	0,29	0,43	0,14	0,29	0,07
C	0,43	–	–	0,00	0,21	0,29	0,36	0,21	0,50	0,21	0,21	0,00	0,36
D	–	–	–	0,86	–	–	–	–	–	–	0,36	0,00	0,43
E	–	–	–	0,00	–	–	–	–	–	–	–	0,00	–
	–	0,43	0,07	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	–	0,57	0,93	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–

K výsledkům testů však nelze přistupovat bez kritiky. Ačkoli se u obou skupin projevilo zlepšení v některých zkoumaných oblastech, nemusí to být známkou převahy jedné stavebnice nad druhou. Jednotlivé skupiny byly kvůli rozčlenění třídy relativně blízko sebe. Je tedy možné, že žáci zaslechli či zahlédli konání svých sousedů, což mohlo ovlivnit jejich výsledky v posttestu.

Dalším možným faktorem ovlivňujícím přesnost výsledků jsou samotné úlohy. Nejedná se totiž ve své podstatě o standardizovaný konceptový test, ačkoli z něj silně vychází. Otázky byly vybírány autorem této práce na základě toho, jaké žákovské představy by mohly být nejvíce formovány provedenou aktivitou. Do jisté míry

mohly být výsledky ovlivněny právě sestavením testu, který mohl být postaven s podvědomým záměrem ukázat klady stavebnice Spintronics.

Z těchto důvodů není možné prohlásit výzkum za konkluzivní. Přesto jeho výsledky dávají na první pohled větší váhu argumentu, že by se stavebnice Spintronics mohla uchytit coby pomůcka v rámci výuky fungování elektrických obvodů. Pro jeho definitivní potvrzení či vyvrácení je však zapotřebí preciznějšího zkoumání.

Tabulka 7: Srovnání posunu správných odpovědí kontrolní skupiny (K) a skupiny „Spintronics“ (S)

	1	2	3	4	5	6	7A	7B	7C	8	9	10	11
K	+	-	+	0,00	-	+	+	0,00	-	-	+	-	0,00
	0,09	0,08	0,09		0,50	0,08	0,08		0,25	0,25	0,08	0,17	
S	+	-	-	+	+	+	-	+	+	-	+	+	0,00
	0,22	0,14	0,22	0,43	0,14	0,28	0,07	0,21	0,29	0,14	0,22	0,14	

6.4 Návrh budoucího výzkumu

Vzhledem k nedostatečně prozkoumanému potenciálu Spintronics, jakožto pomůcky při výuce fyziky, si autor dovoluje přednést návrh budoucího výzkumu, jež by měl potenciálně přinést průkaznější data.

V první řadě by se studie mělo zúčastnit větší množství žáků. Ti by navíc měli být striktně rozděleni na kontrolní skupinu a skupinu, jež se dotýká vlastní badání. V menším měřítku by se jednalo alespoň o dvě paralelní třídy, přičemž v jedné by se učilo za použití analogie nabízené stavebnicí Spintronics a v druhé podle zažitých přirovnání (např. vodní analogie). Samozřejmě by pro zkvalitnění výsledků mělo být zahrnuto větší množství tříd, pokud možno i z různých typů škol (základních, středních, víceletých i čtyřletých gymnázií).

Jednotlivé třídy by byly součástí zkoumání po dobu probírání tématického celku, který se týká elektrických obvodů, přičemž před zahájením probírání takové látky by žáci měli vyplnit konceptový test. Jednalo by se buď o jeden z již existujících standardizovaných testů, případně nový, jež by měl být připraven ve spolupráci s více odborníky v rámci širšího týmu, aby se případné nesrovnalosti odstranily

ještě před prvním testováním.

Následovalo by nemonitorované období, během kterého by se studenti klasicky učili danému tématu, za využití Spintronics či jiných pomůcek. Na jeho konci by měli opět vyplnit konceptový test, případně ještě dotazník týkající se preferencí použitých výukových metod a pomůcek. Pro větší přesnost by se kromě kvantitativních uzavřených dotazníků mohlo využít i rozhovorů s namátkově vybranými jedinci.

Kromě testování efektů stavebnice na žákovské představy by se dále výzkum mohl zaměřit i na její vlastní implementaci do výuky z pohledu pedagogů. To by zahrnovalo pozorovanou obtížnost při modifikaci úloh zahrnujících elektrický obvod pro využití mechanické analogie, případně vlastní postřehy z řízení žákovského laborování.

Pro větší efektivitu by však učitelům, jež by se do výzkumu zapojili, měla být poskytnuta jak stavebnice Spintronics, tak základní instruktáž, jež by vyjasnila jejich dotazy a případné nejasnosti.

7 Závěr

V této práci se autor zaměřil na rozbor stavebnice Spintronics jakožto potenciální pomůcky pro výuku fyziky. K tomuto cíli bylo nejprve nutné shromáždit dostatečné informace o výukových modelech a analogiích. V rámci toho byl definován jednak pojem modelu a analogie, jednak druhy výukových modelů a jejich využití v rámci výukových metod. V neposlední řadě byly zmíněny možné výhody a nevýhody využívání analogických modelů během výuky, včetně všeobecných zásad pro předcházení možných nedorozumění na úrovni předávání vzdělávacího obsahu žákům.

Další teoretický podklad pro zbývající části práce byla kapitola zabývající se žakovskými prekoncepty a miskoncepty. Ta byla zaměřena nejprve na tyto dva pojmy jako takové a určila jejich důležitost v rámci didaktické transformace učiva. Vzhledem k míře jejich významnosti se autor krátce soustředil i na způsoby diagnostik těchto žakovských představ odpovídajícím jejich vnitřnímu chápání okolního světa. V ideálním případě by totiž pedagogové měli neodpovídající koncepty nahrazovat těmi vyhovujícími současnému vědeckému poznání, k čemuž slouží několik metod popsaných v této části diplomové práce.

K propojení teoretické a praktické části posloužil závěr této kapitoly, který se zabýval konkrétními mylnými představami žáků týkajícími se tématických celků elektrický obvod a elektrický proud. U některých případů se práce pokouší uvést i potenciální vysvětlení žakovského smýšlení, jež by mělo dále pomoci s jeho překonáváním.

Následovala stěžejní pasáž, tedy rozbor samotné stavebnice Spintronics. U té se autor nejprve zaměřil na detailní popis analogie mezi ní a elektrickým obvodem, od rozdílného přístupu ke schématickému značení, přes vztahy mezi veličinami popisujícími aspekty reálného elektrického obvodu a těmi popisující obvod z mechanické stavebnice. Mimo to navíc zhodnotil samotné konstrukci fyzické stavebnice včetně popisu chování jednotlivých dílků a jejich limitací, tak i zpracování návodů a motivačních úloh v nich obsažených. Byl rovněž předložen výčet konkrétních úloh, jež se jeví jako potenciálně nosné pro využití v pedagogické praxi.

V neposlední řadě se autor vyjádřil i k internetové simulaci stavebnice, která se

od té fyzické v několika aspektech mírně liší, avšak z velké části je možné ji vnímat jako pozitivní doplněk pro snadnější přípravu výukových materiálů zahrnujících tuto pomůcku. Přesto práce obsahuje kritické vyjádření k některým nedostatkům stavebnice, jež mohou potenciálně způsobit vznik nových miskonceptů u žáků, kteří by se pomocí ní měli učit.

V návaznosti na předchozí kapitulu byl popsán doporučený postup pro implementaci Spintronics do výuky fyziky. Jednalo se spíše o obecné doporučení, jak nejlépe využít možností analogického modelu, přesto v kombinaci se shrnutím zásad pro správné používání stavebnice a jejím detailním rozбором z předchozí kapitoly se jedná o ucelený manuál pro učitele fyziky, jež by chtěli své hodiny obohatit o mechanickou analogii elektrického obvodu. Pro ty jsou také určeny tři návrhy aktivit využívající stavebnice v rámci výukové hodiny.

V poslední kapitole byl popsán výzkum, jenž měl za cíl v pedagogické praxi ověřit potenciální dopad využití stavebnice Spintronics ve výuce na žákovské miskoncepty. Ten proběhl v rámci jedné třídy, jež byla rozdělena na dvě skupiny (výzkumnou a kontrolní). Ty se zapojily do výukové aktivity, ve které měly být rozvinuty jejich znalosti o rezistorech a jejich skládání, a to buď za pomoci Spintronics, případně pomocí klasické elektronické stavebnice. Žákovské prekoncepty byly měřeny pomocí konceptového testu, těsně před i po výukové hodině.

Ačkoli se ukázalo, že Spintronics mohou mít pozitivní dopad na žákovské představy o elektrickém obvodu, byl výzkum shledán nekonkluzivním. To bylo způsobeno malým vzorkem, dobou expozice žáků stavebnici, ale i dalšími neodstíněnými faktory. Z těchto důvodů byla v závěru celé práce navržena podoba navazujícího výzkumu, jež by měl poskytnout kvalitnější informace o využitelnosti Spintronics ve školské praxi.

Přesto se v celém rámci ukázalo, že Spintronics má coby mechanická analogie k elektrickému obvodu dostatečný potenciál stát se součástí kabinetů alespoň některých učitelů fyziky. Nejedná se o pomůcku, která by měla být přijata plošně. Dá se však očekávat, že se najdou pedagogové, kterým bude tato stavebnice vyhovovat a dokáží ji díky svému specifickému vyučovacímu stylu zakomponovat do výuky jako efektivnější metodu předcházení mylných žákovských představ o elektrických obvodech.

Seznam obrázků

1	Schéma relace modelování podle [3]	11
2	Didaktický trojúhelník [10]	11
3	Spintronics a schématická reprezentace jednoduchého obvodu [28] . .	23
4	Spintronics a schématická reprezentace jednoduchého paralelního obvodu (upraveno, původně převzato z [28])	24
5	Srovnání jednotek elektrického obvodu a <i>spin jednotek</i> [28]	25
6	Baterie a spojovací podložky	29
7	Vodič	30
8	Rezistory	30
9	Spínače	31
10	Ampérmetr	31
11	Uzel	32
12	Kondenzátory (resp. voltmetry)	33
13	Tranzistor	33
14	Dioda [39]	34
15	Náhrada diody	34
16	Cívka	35
17	Záporné <i>spin napětí</i> na rezistoru (vytvořeno v [27])	37
18	Správné umístění řetězu na součástkách [34]	44
19	Možnosti zapojení sériového obvodu (podle [34] vytvořeno v [27]) . .	44
20	Zapojení paralelního obvodu (podle [34] vytvořeno v [27])	45
21	Vzorové řešení úlohy 4 z přílohy B (vytvořeno v [27])	47
22	Vzorové řešení úlohy 5 z přílohy B (vytvořeno v [27])	48
23	Vzorové řešení úlohy 5 z přílohy B (schematické zobrazení)	48
24	Dvě vzorová řešení úlohy 6 z přílohy B (vytvořeno v [27])	49
25	Vzorové řešení úlohy 6 z přílohy B (schematické zobrazení))	49
26	Vzorové řešení úlohy 7 z přílohy B (maximální odpor nalevo, minimální napravo) (vytvořeno v [27])	50
27	Vzorové řešení úlohy 7 z přílohy B (maximální odpor nalevo, minimální napravo) (schematické zobrazení)	50

28	Modifikace úlohy 3 z přílohy C proti mechanickému zkratu (vytvořeno v [27])	52
29	Modifikace úlohy 3 z přílohy C proti zkratu (schematické zobrazení) .	52
30	Vzorové řešení úlohy 4 z přílohy C (vytvořeno v [27])	53
31	Vzorové řešení úlohy 4 z přílohy C (schematické zobrazení)	53
32	Vzorové řešení úlohy 6 z přílohy C (vytvořeno v [27])	54
33	Vzorové řešení úlohy 6 z přílohy C (schematické zobrazení)	54
34	LC a RLC oscilační obvody v simulátoru (vytvořeno v [27])	55
35	Schémata LC a RLC oscilačních obvodů	56
36	Modifikace RLC obvodu pro snažší výměnu rezistoru (vytvořeno v [27])	57

Seznam tabulek

1	Přepočítání <i>spin veličin</i>	26
2	Analogické vztahy mezi mechanickým a elektromagnetickým oscilátorem (převzato z [32])	28
3	Výsledky pretestů kontrolní skupiny	61
4	Výsledky posttestů kontrolní skupiny	61
5	Výsledky pretestů skupiny „Spintronics“	62
6	Výsledky posttestů skupiny „Spintronics“	62
7	Srovnání posunu správných odpovědí kontrolní skupiny (K) a skupiny „Spintronics“ (S)	63

Seznam použité literatury

1. JANČAŘÍKOVÁ, Kateřina. *Didaktické zásady v přírodovědném vzdělávání: metodická příručka pro učitele biologie, chemie, fyziky, geografie, informatiky, matematiky a lektory environmentální výchovy*. Praha: Pedagogická fakulta, Univerzita Karlova, 2022. ISBN 978-80-7603-289-7.
2. KOMENSKÝ, Jan Amos. *Věječka moudrosti, neboli, Umění moudře svá díla opět probírat: s připojeným krátkým spisovatelovým opětným probráním všech jeho didaktických myšlenek* [online]. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 1969 [cit. 2023-08-01]. Dostupné z: <https://ndk.cz/uuid/uuid:961b3970-6645-11e3-ac69-005056827e51>.
3. VACHEK, Jaroslav; LEPIL, Oldřich. *Modelování a modely ve vyučování fyzice*. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 1980. Edice metodických příruček.
4. KAŠPAR, Emil. *Didaktika fyziky: obecné otázky*. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 1978. Dostupné také z: <https://ndk.cz/uuid/uuid:9f17fd80-bfb8-11ec-90bf-5ef3fc9bb22f>.
5. *Slovník cizích slov* [online]. Praha: Encyklopedický dům, 1996 [cit. 2023-08-01]. ISBN 80-90-1647-8-1. Dostupné z: <https://ndk.cz/uuid/uuid:75525dd0-f7ab-11e7-b16e-5ef3fc9bb22f>.
6. SLEZÁKOVÁ, Jana. 2013. „Analogie (filozofie).“. *Encyklopedie lingvistiky* [online]. Ed. PROKOPOVÁ, Kateřina. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2021 [cit. 2023-08-01]. Dostupné z: [https://encyklopedieoltk.upol.cz/encyklopedie/index.php5/Analogie_\(filozofie\).html](https://encyklopedieoltk.upol.cz/encyklopedie/index.php5/Analogie_(filozofie).html).
7. MAŇÁK, Josef; ŠVEC, Vlastimil. *Výukové metody*. Brno: Paido, 2003. ISBN 80-7315-039-5.
8. ZORMANOVÁ, Lucie. *Výukové metody v pedagogice: tradiční a inovativní metody, transmisivní a konstruktivistické pojetí výuky, klasifikace výukových metod : s praktickými ukázkami*. Pedagogika. Praha: Grada Publishing, 2012. ISBN 978-80-247-4100-0.
9. MOJŽÍŠEK, Lubomír. *Vyučovací metody*. 3. upr. vyd. Pedagogická teorie a praxe. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 1988.

10. ŠVARCOVÁ, Iva. *Základy pedagogiky pro učitelské studium*. [online]. 1. vyd. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Praha 2005. ISBN 80-7080-573-0. [cit. 2023-11-11]. Dostupné z: http://147.33.74.135/knihy/uid_isbn-80-7080-573-0/pages-img/001.html.
11. ŠPÍNA, Petr. Trpasličí model elektrického proudu. *Školská fyzika* [online]. 2014, roč. 11, č. 1, s. 20. ISSN 2336-2774. Dostupné také z: https://sf.zcu.cz/data/2014/sf2014_01.pdf.
12. HAGLUND, Jesper. Good Use of a ‘Bad’ Metaphor. *Science & Education* [online]. 2017, roč. 26, č. 3-4, s. 205–214. ISSN 0926-7220. Dostupné také z: [doi:10.1007/s11191-017-9892-4](https://doi.org/10.1007/s11191-017-9892-4).
13. HEYWOOD, Dave. The Place of Analogies in Science Education. *Cambridge Journal of Education* [online]. 2010, roč. 32, č. 2, s. 233–247. ISSN 0305-764X. Dostupné také z: [doi:10.1080/03057640220147577](https://doi.org/10.1080/03057640220147577).
14. DOSTÁL, Jiří. MODELS, MODELLING AND SIMULATIONS IN THE EDUCATION. *Journal of Technology and Information Education*. 2011, roč. 3, č. 3, s. 4–7.
15. ČÁP, Jan; MAREŠ, Jiří. *Psychologie pro učitele*. Vyd. 2. Praha: Portál, 2007. ISBN 978-80-7367-273-7.
16. DYKSTRA, Dewey I.; BOYLE, C. Franklin; MONARCH, Ira A. Studying conceptual change in learning physics. Online. *Science Education*. 1992, roč. 76, č. 6, s. 615–652. ISSN 0036-8326. Dostupné také z: <https://doi.org/10.1002/sce.3730760605>.
17. MANDÍKOVÁ, Dana; TRNA, Josef. *Žákovské prekoncepce ve výuce fyziky*. Brno: Paido, 2011. ISBN 978-80-7315-226-0.
18. JIŘÍ, MAREŠ; OUHRABKA, Miroslav. Žákovo pojetí učiva. *Pedagogika*. 1992, roč. 1, s. 83–94. ISSN 2336-2189. Dostupné také z: <https://pages.pedf.cuni.cz/pedagogika/?p=3566%20title=>.
19. KALHOUS, Zdeněk; OBST, Otto. *Školní didaktika*. Praha: Portál, 2002. ISBN 80-7178-253-X.

20. *Rámcový vzdělávací program pro základní vzdělávání* [online]. Praha: MŠMT, 2023 [cit. 2024-03-02]. Dostupné z: <https://www.edu.cz/rvp-ramcove-vzdelavaci-programy/ramcove-vzdelavacici-program-pro-zakladni-vzdelavani-rvp-zv/>.
21. *Rámcový vzdělávací program pro gymnázia* [online]. Praha: MŠMT, 2021 [cit. 2024-03-02]. Dostupné z: <https://www.edu.cz/rvp-ramcove-vzdelavaci-programy/ramcove-vzdelavaci-programy-pro-gymnazia-rvp-g/>.
22. MANDÍKOVÁ, Dana. *Prekoncepty žáků a studentů v oblasti elektřiny* [online]. In: Sborník z konference Didfyz 2006 – Rozvoj schopností žáků v přírodovědném vzdělávání. UKF Nitra, 2007 [cit. 2024-03-02]. Dostupné z: <http://kdf.mff.cuni.cz/~mandikova/prekoncepty/prekoncepty.php>.
23. WAINWRIGHT, Camille L. *Toward learning and understanding electricity: Challenging persistent misconceptions* [online]. In: The Annual Meeting of the Association for Science Teacher Education (ASTE), Clearwater, Florida, 2007 [cit. 2024-03-02]. Dostupné z: <https://fg.ed.pacificu.edu/wainwright/Publications/MisconceptionsArticle.06.pdf>.
24. *About Upper Story* [online]. Upper Story Ltd., 2024 [cit. 2024-03-05]. Dostupné z: <https://upperstory.com/about/>.
25. *Spintronics* [online]. Upper Story Ltd., 2024 [cit. 2024-03-04]. Dostupné z: <https://upperstory.com/spintronics/>.
26. *Spintronics Simulator* [online]. Upper Story Ltd., 2024 [cit. 2024-03-04]. Dostupné z: <https://upperstory.com/spintronics/simulator/>.
27. *Spintronics Simulator* [online]. Upper Story Ltd., 2024 [cit. 2024-03-04]. Dostupné z: <https://simulator.spintronics.com/>.
28. *The Science of Spintronics* [online]. Upper Story Ltd., 2024 [cit. 2024-03-04]. Dostupné z: <https://upperstory.com/spintronics/science/>.
29. SEDLÁK, Bedřich; ŠTOLL, Ivan. *Elektřina a magnetismus*. Vyd. 3., V nakl. Karolinum 2. Praha: Karolinum, 2012. ISBN 978-80-246-2198-2.

30. ONDROUCH, Jan; PODEŠVA, Jiří. *Aplikovaný mechanik jako součást týmu konstruktérů a vývojářů: teorie a příklady k předmětu "Technické kmitání"*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2012. ISBN 978-80-248-2762-9.
31. UHLÍŘ, Ivan. *Elektrické obvody a elektronika*. Vyd. 2., přeprac. Praha: Nakladatelství ČVUT, 2008. ISBN 978-80-01-03932-8.
32. REICHL, Jaroslav; VŠETIČKA, Martin. *Elektromagnetický oscilátor* [online]. Encyklopedie fyziky, 2008 [cit. 2024-04-16]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/354-elektromagneticky-oscilator>.
33. *Upper Story Store - Spintronics* [online]. Upper Story Ltd., 2024 [cit. 2024-03-13]. Dostupné z: <https://store-eu.upperstory.com/collections/spintronics>.
34. Upper Story Ltd. *Spintronics Act One Puzzle Book*. 2022.
35. Upper Story Ltd. *Spintronics Act Two Puzzle Book*. 2022.
36. Upper Story Ltd. *Spintronics Power Pack Puzzle Book*. 2022.
37. *Upper Story Store - Spintronic Resistor (50 - 1000 Ω)* [online]. Upper Story Ltd., 2024 [cit. 2024-03-17]. Dostupné z: <https://store-eu.upperstory.com/products/spintronic-resistor-50-1000>.
38. *Upper Story Store - Spintronic Junction* [online]. Upper Story Ltd., 2024 [cit. 2024-03-18]. Dostupné z: <https://store-eu.upperstory.com/products/spintronic-junction>.
39. *Upper Story Store - Spintronic Diode* [online]. Upper Story Ltd., 2024 [cit. 2024-03-20]. Dostupné z: <https://store-eu.upperstory.com/products/spintronic-diode>.
40. *Hints and Solutions* [online]. Upper Story Ltd., 2024 [cit. 2024-03-24]. Dostupné z: <https://upperstory.com/spintronics/solutions/>.
41. PULIZZI, Fabio. Spintronics. *Nature Materials*. 2012, č. 11, s. 367. Dostupné také z: <https://doi.org/10.1038/nmat3327>.
42. *EveryCircuit* [online]. MuseMaze, Inc., 2023 [cit. 2024-04-12]. Dostupné z: <https://everycircuit.com/app>.

43. RANDA, Miroslav; KOHOUT, Jiří; KOHOUT, Václav; KRATOCHVÍL, Pavel; MASOPUST, Pavel et al. *Fyzika 8: pro základní školy a víceletá gymnázia*. Plzeň: Fraus, 2018. ISBN 978-80-7489-392-6.
44. LEPIL, Oldřich; ŠEDIVÝ, Přemysl. *Fyzika pro gymnázia*. 8. vydání. Praha: Prometheus, 2020. ISBN 978-80-7196-485-8.
45. ENGELHARDT, Paula; BEICHNER, Robert. Students' Understanding of Direct Current Resistive Electrical Circuits. *American Journal of Physics*. 2003, roč. 72. Dostupné z DOI: 10.1119/1.1614813.

A Obvody v online simulátoru Spintronics

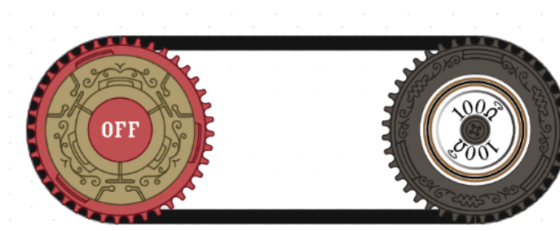
1. Rozdílné hodnoty celkového *spin odporu* oproti teorii: <https://simulator.spintronics.com/?linkID=15374>
2. Porušení Kirchhoffova zákona: <https://simulator.spintronics.com/?linkID=15375>
3. LC oscilační obvod: <https://simulator.spintronics.com/?linkID=15393>
4. RLC oscilační obvod: <https://simulator.spintronics.com/?linkID=15304>

B Pracovní list - Rezistory a jejich skládání

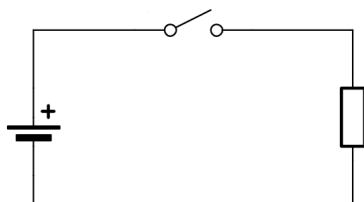
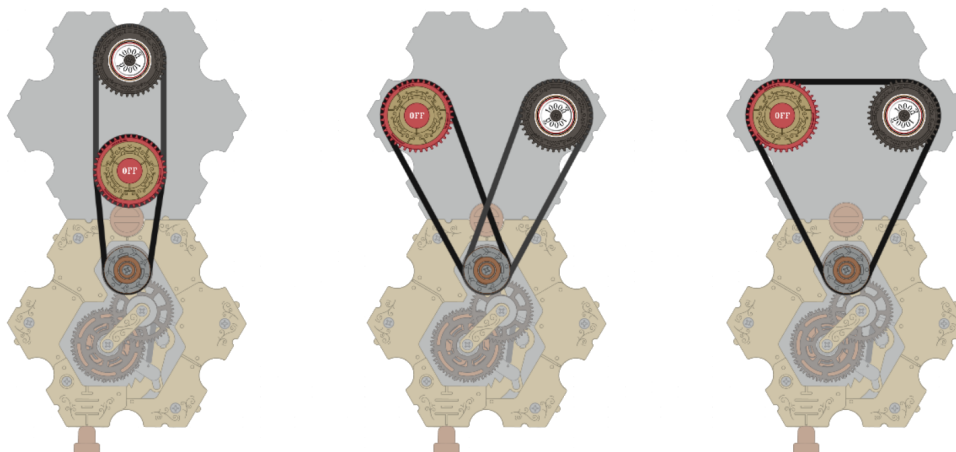
Vypracovali:	Datum:
	Třída:

Pomůcky: Stavebnice Spintronics (baterie, spojovací prvky, spojovací řetěz, spínač, 4 rezistory ($100\ \Omega$, $200\ \Omega$, $2 \times 500\ \Omega$), 2 uzly, ampérmetr).

Úloha 1: Propojte dvě součástky (spínač a rezistor $100\ \Omega$) tak, aby byl řetěz mezi nimi napnutý, ale nebrzdil jejich pohyb.

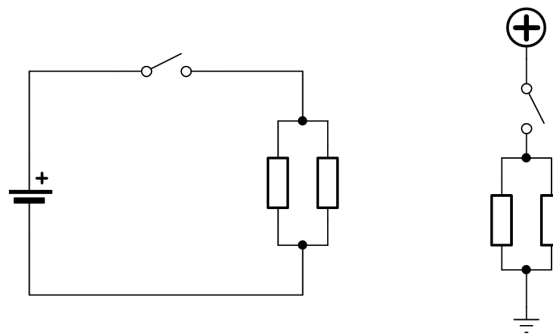
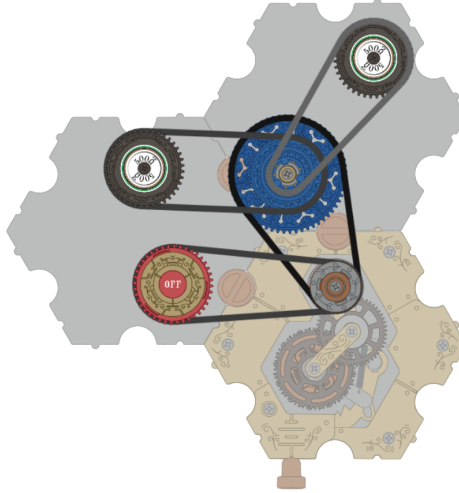


Úloha 2: Vytvořte obvod, ve kterém budou za sebou (v sérii) zapojeny spínač a rezistor ($100\ \Omega$) k baterii. Vyzkoušejte všechny z níže uvedených možností a porovnejte je se schématickým značením.



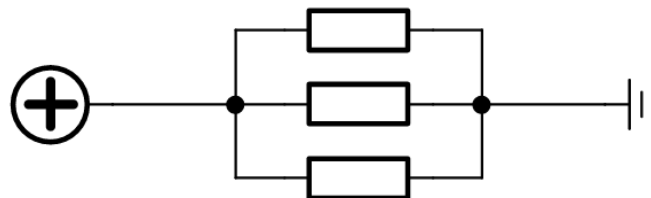
Úloha 3: Vytvořte obvod, ve kterém budou vedle sebe (paralelně) zapojeny dva rezistory ($500\ \Omega$) k baterii. K té přímo připojte i spínač podle obrázku níže. Opět porovnejte výsledky se schématickým značením.

Dávejte pozor, aby se oba rezistory otáčely stejným směrem jako baterie.



Úloha 4: Vytvořte obvod podle schématu níže. Nejprve jej překreslete pomocí druhého možného značení a následně zapojte pomocí stavebnice Spintronics. Použijte rezistory $100\ \Omega$, $200\ \Omega$ a $500\ \Omega$.

Bonusové cvičení: Zaříd'te, aby se všechny rezistory otáčely stejným směrem.



Úloha 5: Sestavte obvod, ve kterém budou v sérii zapojeny rezistor ($500\ \Omega$) a ampérmetr. Pozorujte rychlost řetězu a výšku tónu ampérmetru a porovnejte je s dřívější znalostí Ohmova zákona.

Dále rozšířte tento obvod o další rezistor ($500\ \Omega$) a porovnejte rychlost řetězu a výšku tónu oproti předchozímu zapojení. Následně vyberte správné tvrzení.

Celkový odpor v obvodu se dvěma sériově zapojenými rezistory se oproti zapojení s jedním rezistorem **snížil/zvýšil/zůstal stejný**.

Úloha 6: Sestavte obvod, ve kterém budou paralelně zapojeny dva rezistory ($500\ \Omega$) a mezi nimi a baterií bude v sérii ampérmetr. Pozorujte rychlost řetězu a výšku tónu ampérmetru a porovnejte je oproti předchozí úloze. Následně vyberte správné tvrzení.

Celkový odpor v obvodu se dvěma paralelně zapojenými rezistory se oproti zapojení s jedním rezistorem **snížil/zvýšil/zůstal stejný**.

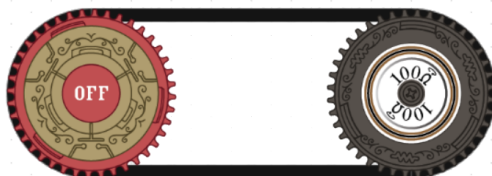
Úloha 7: Ve zbývajícím čase se pokuste pomocí znalostí z předchozích úloh sestavit obvod tak, aby v něm byl odpor: a) co největší; b) co nejmenší. Své zapojení zdůvodněte.

C Pracovní list - Kondenzátory

Vypracovali:	Datum:
	Třída:

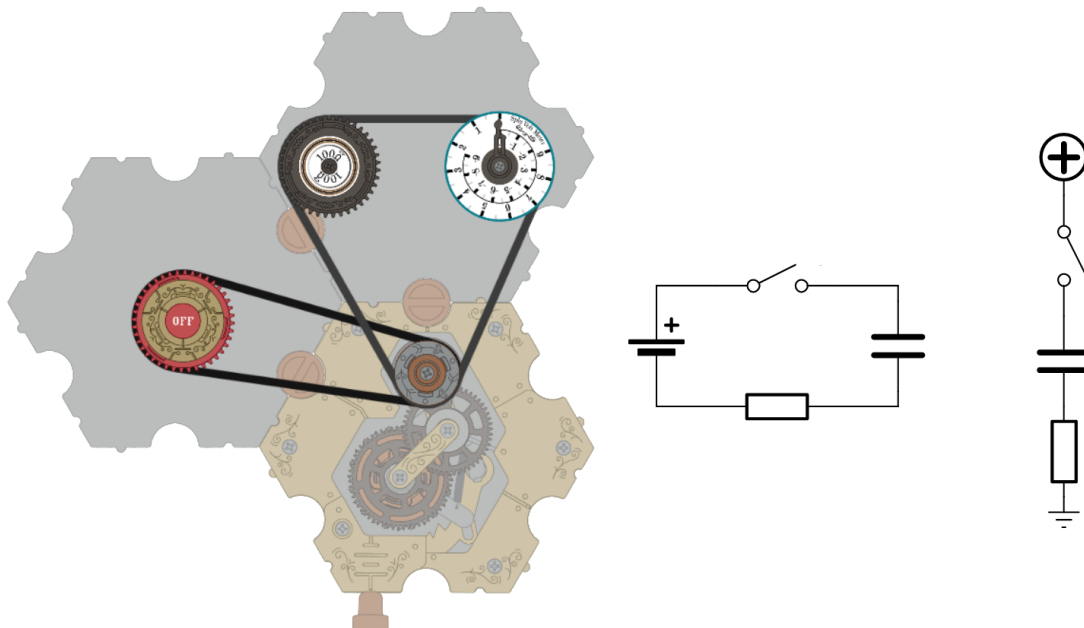
Pomůcky: Stavebnice Spintronics (baterie, spojovací prvky, spojovací řetěz, 2 spínače, 2 rezistory ($100\ \Omega$, $200\ \Omega$), 2 uzly, ampérmetr, 2 kondenzátory).

Úloha 1: Propojte dvě součástky (spínač a rezistor $100\ \Omega$) tak, aby byl řetěz mezi nimi napnutý, ale nebrzdil jejich pohyb.



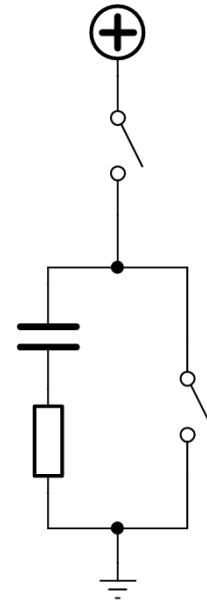
Úloha 2: Vytvořte obvod, ve kterém budou za sebou (v sérii) zapojeny spínač, rezistor ($100\ \Omega$) a kondenzátor k baterii. Porovnejte sestavený obvod se schématickým značením. Co se stane s obvodem, jakmile se kondenzátor nabije?

Bonusové cvičení: Zaříd'te, aby se kondenzátor nabíjel delší dobu a vysvětlete, jak jste toho dosáhli.



Úloha 3: Vytvořte obvod podle schématu níže. Použijte rezistor o hodnotě $100\ \Omega$. Než spustíte obvod, zamyslete se. Co by se stalo, kdybychom nechali oba spínače v poloze „zapnuto“?

Dále nechte nejprve kondenzátor nabít sepnutím spínače připojeného přímo k baterii, následně jej vypněte a sepněte druhý spínač. Co se s obvodem stalo?



Úloha 4: K obvodu z předchozí úlohy připojte ampérmetr tak, aby měřil proud na kondenzátoru. Zjistěte, kdy prochází kondenzátorem elektrický proud. Liší se nějak během nabíjení a vybíjení? Pokud ano, jak?

Úloha 5: Sestavte obvod na obrázku níže. Po nabití kondenzátoru vypněte spínač a sledujte, co se děje s obvodem. Vysvětlete, co se stalo. Kde by se podle vás mohl takovýto jev využít?



Úloha 6: Upravte obvod z předchozí úlohy následovně: odeberte kondenzátor a místo něj umístěte další uzel. Na ten připojte dva kondenzátory tak, aby byly k sobě zapojeny paralelně.

Dále zapněte spínač a po nabití obou kondenzátorů jej opět vypněte. Co se stalo s obvodem. Porovnejte s předchozím zapojením délku doby nabíjení a vybíjení.

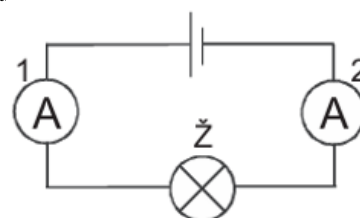
D Testové otázky použité pro výzkum

1. Na vedlejším obrázku jsou vzájemně propojeny žárovka a baterie. Žárovka svítí. Vyber tvrzení, které považuješ za správné:

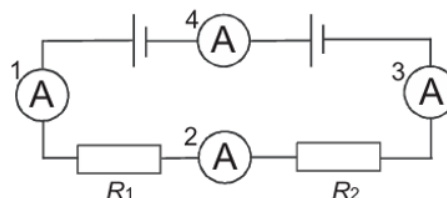
- A. Proud z baterie prochází jen do žárovky, kde je zcela spotřebován.
- B. Proud prochází z baterie do žárovky, kde je částečně spotřebován, částečně se vrací zpět do baterie.
- C. Proud v obvodu prochází přes žárovku zpět do baterie.



2. Porovnejte výchylky ampérmetrů na vedlejším obrázku.

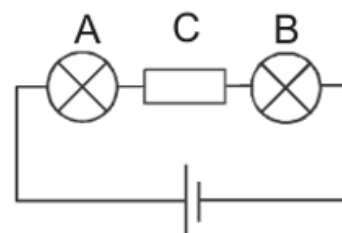


3. V obvodu na vedlejším obrázku jsou zapojeny dva rezistory o stejném odporu ($R_1 = R_2$). Ampérmetr 1 ukazuje proud $I_1 = 2$ A. Jaké proudy ukazují zbývající ampérmetry?



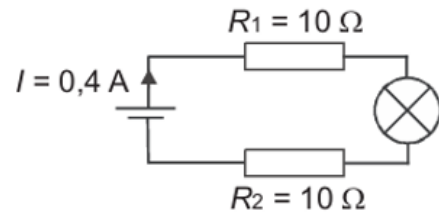
4. Co se stane s jasnem žárovek A a B na obrázku, jestliže zvýšíme hodnotu odporu C? Předpokládejme, že obě žárovky jsou totožné.

- A. A zůstane stejný, B pohasne
- B. A pohasne, B zůstane stejný
- C. vzroste u A i B
- D. sníží se u A i B
- E. zůstane stejný u A i B



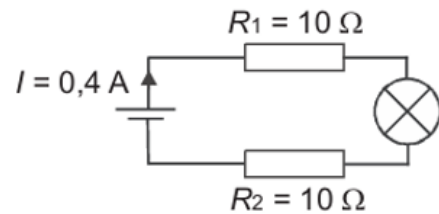
5. V obvodu na obrázku jsou oba odpory stejné ($R_1 = R_2 = 10 \Omega$). V tomto případě obvodem prochází proud $I = 0,4 \text{ A}$. Zaměníme-li odpor R_1 s odporem $R_3 = 20 \Omega$, elektrický proud bude:

- A. menší než $0,4 \text{ A}$
- B. roven $0,4 \text{ A}$
- C. větší než $0,4 \text{ A}$



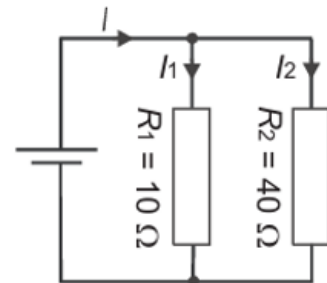
6. V obvodu na obrázku jsou oba odpory stejné ($R_1 = R_2 = 10 \Omega$). V tomto případě obvodem prochází proud $I = 0,4 \text{ A}$. Zaměníme-li odpor R_2 s odporem $R_3 = 20 \Omega$, elektrický proud bude:

- A. menší než $0,4 \text{ A}$
- B. roven $0,4 \text{ A}$
- C. větší než $0,4 \text{ A}$



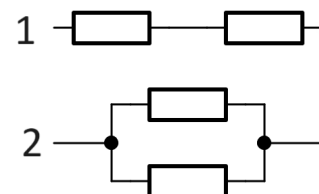
7. Vyberte správnou odpověď u všech tří tvrzení. Nahradíme-li odpor $R_2 = 40 \Omega$ v obvodu na obrázku odporem $R_3 = 50 \Omega$, pak:

- A. proud I se: a) zvětší b) nezmění c) zmenší
- B. proud I_1 se: a) zvětší b) nezmění c) zmenší
- C. proud I_2 se: a) zvětší b) nezmění c) zmenší



8. Porovnejte odpory ve větvi 1 a větvi 2. Která z nich má menší odpor? (pozn. větev je část obvodu)

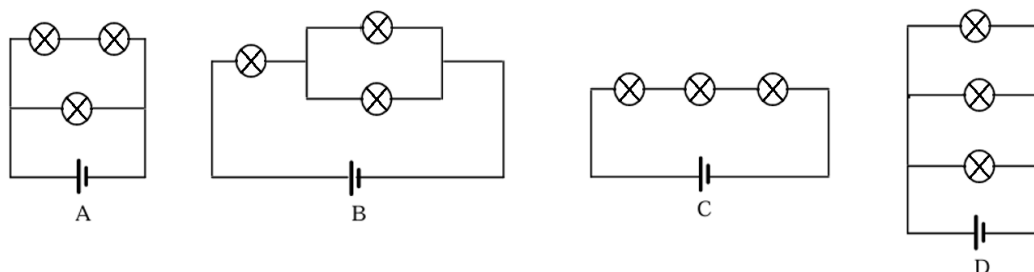
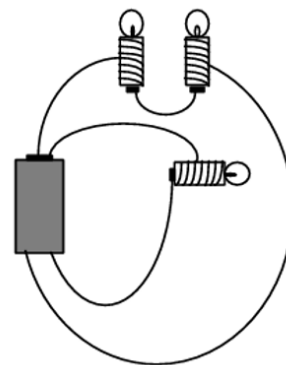
- A. větev 1
- B. větev 2
- C. žádná, jsou totožné



9. Proč se světlo u vás doma rozsvítí téměř ihned potom, co zmáčkneš vypínač?
- A. Elektrický náboj je již ve vodičích. Když uzavřu obvod, dojde k rychlému uspořádání povrchového náboje uvnitř obvodu.
 - B. Elektrický náboj uchovává energii. Když uzavřu obvod, tato energie je uvolněna.
 - C. Elektrický náboj se ve vodiči pohybuje velmi rychle.
 - D. Obvod doma má vodiče uspořádané paralelně. Proto jím elektrický náboj již proudí.

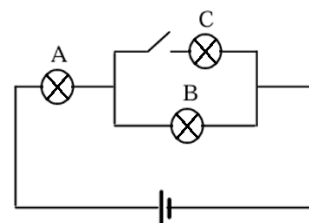
10. Které ze schémat nejlépe zobrazuje obvod na obrázku?

- A. A
- B. B
- C. C
- D. D
- E. Žádný z výše uvedených



11. Co se stane s jasnem žárovky A a B, když sepneme spínač? Předpokládejme, že obě žárovky jsou totožné.

- A. A bude stejně jasná, B pohasne
- B. A se rozzáří více, B pohasne
- C. A i B pohasnou
- D. A i B zůstanou stejně jasné



E Pracovní list - Rezistory a jejich skládání (modifikovaná verze)

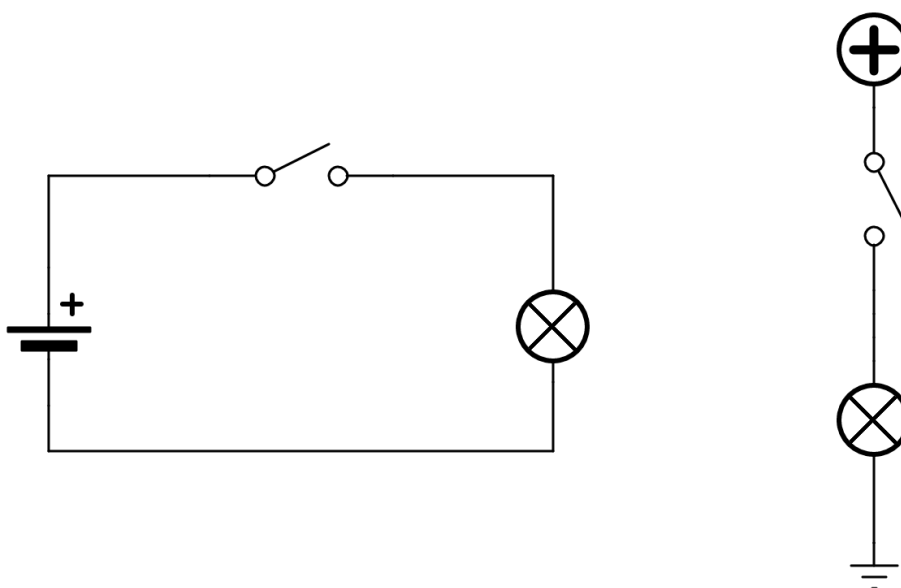
Vypracovali:	Datum:
	Třída:

Pomůcky: Stavebnice NTL ŽEM Elektřina 1 (deska, spínač, 2 žárovky, 3 rezistory (100 Ω , 500 Ω , 1 k Ω)), baterie 9 V, ampérmetr, spojovací vodiče.

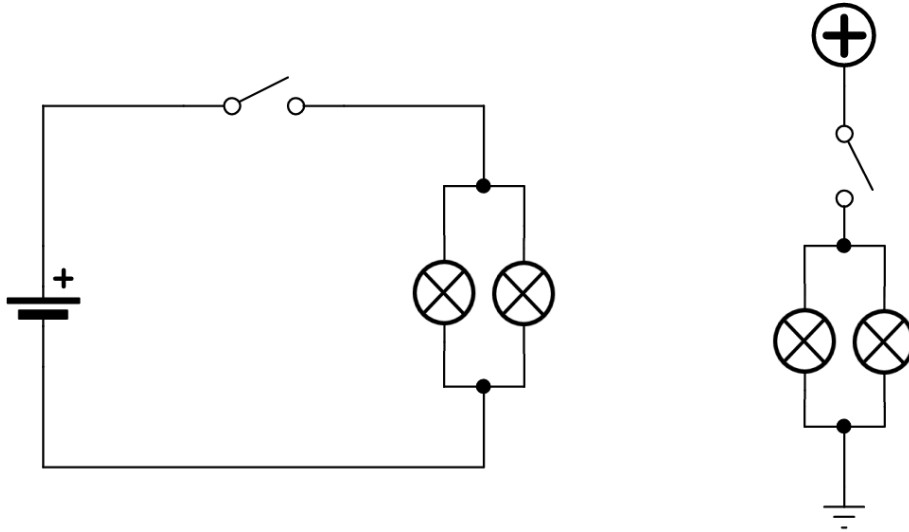
Úloha 1: Sestavte jednoduchý obvod s baterií a žárovkou.



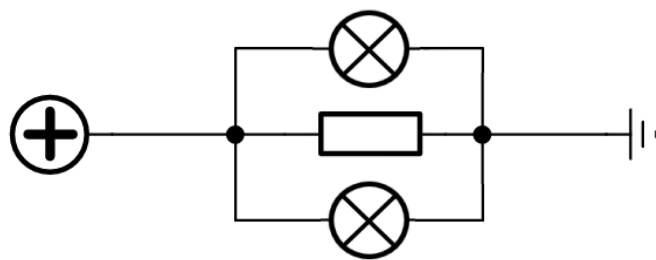
Úloha 2: Vytvořte obvod, ve kterém budou za sebou (v sérii) zapojeny spínač a žárovka. Následně je porovnejte se schématickým značením.



Úloha 3: Vytvořte obvod, ve kterém budou vedle sebe (paralelně) zapojeny dvě žárovky k baterii. K té přímo připojte i spínač, podle schématu níže.



Úloha 4: Vytvořte obvod podle schématu níže. Nejprve jej překreslete pomocí druhého možného značení a následně zapojte pomocí stavebnice. Použijte rezistor $100\ \Omega$.



Úloha 5: Sestavte obvod, ve kterém budou v sérii zapojeny rezistor ($100\ \Omega$) a ampérmetr. Zapište si hodnotu naměřeného elektrického proudu na ampérmetru a porovnejte ji s dřívější znalostí Ohmova zákona.

Dále rozšiřte tento obvod o další sériově zapojený rezistor ($500\ \Omega$) a hodnotu na ampérmetru oproti předchozímu zapojení. Následně vyberte správné tvrzení.

Celkový odpor v obvodu se dvěma sériově zapojenými rezistory se oproti zapojení s jedním rezistorem **snížil/zvýšil/zůstal stejný**.

Úloha 6: Sestavte obvod, ve kterém budou paralelně zapojeny dva rezistory ($100\ \Omega$ a $500\ \Omega$) a mezi nimi a baterií bude v sérii ampérmetr. Pozorujte hodnotu naměřeného elektrického proudu na ampérmetru a porovnejte ji oproti předchozí úloze. Následně vyberte správné tvrzení.

Celkový odpor v obvodu se dvěma paralelně zapojenými rezistory se oproti zapojení s jedním rezistorem **snížil/zvýšil/zůstal stejný**.

Úloha 7: Ve zbývajícím čase se pokuste pomocí znalostí z předchozích úloh sestavit obvod tak, aby v něm byl odpor: a) co největší; b) co nejmenší. Svě zapojení zdůvodněte.