

UNIVERZITA KOMENSKÉHO V BRATISLAVE
FAKULTA MATEMATIKY, FYZIKY A
INFORMATIKY

Výuková aplikácia demonštrujúca fyzikálny
princíp

Bakalárska práca

2016

Matej Kellner

UNIVERZITA KOMENSKÉHO V BRATISLAVE
FAKULTA MATEMATIKY, FYZIKY A
INFORMATIKY

Výuková aplikácia demonštrujúca fyzikálny
princíp

Bakalárska práca

Študijný program: Aplikovaná informatika

Študijný odbor: 2511 aplikovaná informatika

Školiace pracovisko: Katedra aplikovanej informatiky

Školiteľ: Mgr. Pavel Petrovič, PhD.

Bratislava 2016

Matej Kellner



Univerzita Komenského v Bratislave
Fakulta matematiky, fyziky a informatiky

ZADANIE ZÁVEREČNEJ PRÁCE

Meno a priezvisko študenta: Matej Kellner
Študijný program: aplikovaná informatika (Jednoodborové štúdium, bakalársky I. st., denná forma)
Študijný odbor: 9.2.9. aplikovaná informatika
Typ záverečnej práce: bakalárska
Jazyk záverečnej práce: slovenský
Sekundárny jazyk: anglický

Názov: Výuková aplikácia demonštrujúca fyzikálny princíp
Educational Application for Demonstration of a Principle from Physics

Cieľ: Špecifikovať, navrhnúť a implementovať webový výukový program pre stredoškolskú fyziku, ktorý vysvetľuje fyzikálny princíp pomocou interaktívnej simulácie. Interaktivita spočíva v nastavení rozličných parametrov, alebo predpokladov simulácie. Študent analyzuje oblasti vhodné pre uplatnenie interaktívnej simulácie a vyberie konkrétnu oblasť fyziky, ktorú na názorných príkladoch aplikácia bude vysvetľovať. V danej oblasti navrhne sadu simulovaných experimentov, svoj návrh skonzultuje s didaktikmi fyziky, implementuje a otestuje na študentoch v triede.

Literatúra: Michal Sejč: Výuková aplikácia demonštrujúca princípy v elektrických obvodoch, bakalárska práca, FMFI UK, 2015.
1. Lukáš Slovák: Výukový program demonštrujúci fyzikálny princíp, bakalárska práca, FMFI UK, 2011.

Kľúčové slová: educational application, web application, physics

Vedúci: Mgr. Pavel Petrovič, PhD.
Katedra: FMFI.KAI - Katedra aplikovanej informatiky
Vedúci katedry: prof. Ing. Igor Farkaš, Dr.

Dátum zadania: 01.10.2015

Dátum schválenia: 28.10.2015

doc. RNDr. Damas Gruska, PhD.
garant študijného programu

študent

vedúci práce

Čestné vyhlásenie

Čestne prehlasujem, že som túto bakalársku prácu vypracoval samostatne s použitím uvedených zdrojov.

V Bratislave

.....

Pod'akovanie

Chcel by som sa poďakovať predovšetkým môjmu školiteľovi Mgr. Pavlovi Petrovičovi, PhD., za pomoc pri práci, inšpiráciu a trpezlivosť pri tvorbe mojej bakalárskej práce. Ďalej by som sa chcel poďakovať doc. RNDr. Františkovi Kundracikovi, CSc., za korektnosť fyzikálnych experimentov a javov, didaktický dozor a rovnako by som sa chcel poďakovať všetkým, ktorí mi pri tvorbe mojej bakalárskej práce pomáhali.

Abstrakt

Cieľom bakalárskej práce bolo navrhnuť a implementovať webový výukový program pre stredoškolskú fyziku, ktorý vysvetľuje fyzikálny princíp pomocou interaktívnej simulácie. Interaktivita spočíva v nastavení rozličných parametrov, alebo predpokladov simulácie. Práca sa zameriava na experimenty s LED, fotorezistorom a Graetzov mostík. Študent má možnosť v interaktívnom editore skladať elektronické obvody zo súčiastok, analyzovať ich, simulovať ich činnosť, riešiť výpočtové úlohy z fyziky elektrického poľa. Učiteľ môže aplikáciu využiť v režime výuky, keď sa jeho aktivita automaticky prenáša na obrazovky pripojených študentov. Tutoriál v aplikácii krok za krokom nabáda študenta, aby plnil jednotlivé úlohy a tak sa zoznámil s prácou programu. Program bol priebežne opakovane konzultovaný s didaktikmi fyziky. Výsledný program je použiteľný vo výuke a bol odskúšaný na skupine žiakov strednej školy.

Kľúčové slová: Výuková aplikácia, webová aplikácia, fyzika

Abstract

The goal of this bachelor thesis was to design and implement a web educational application for Physics at secondary schools. It explains principles in Physics using interactive simulation. This interactivity lies in the possibility to configure various parameters or assumptions of the simulation before running it. Our work focuses on experiments with LED, photoresistors, and Graetz bridge. A student can compose electronic circuits in an interactive editor from electronic parts, analyze the circuits, simulate their performance, and solve computational tasks from the area electrical field. A teacher can use the application in a teaching mode when his or her activity is transmitted over to displays of connected students. A tutorial encourages the students to solve various tasks step by step in order to get used to the application. The author has regularly consulted his application during the development process with didacticians in the field of Physics. The resulting application can be directly used in educational process and it was verified on a group of secondary school students.

Keywords: educational applications, web applications, physics

Obsah

1.	Úvod.....	1
2.	Východiská.....	2
2.1	Teoretické východiská z oblasti fyziky	2
2.1.1	Princípy LED.....	2
2.1.2	Teória fotoodporu.....	7
2.1.3	Teória Graetzovho mostíka	7
2.2	Tvorba edukačného softvéru	8
2.3	Podobné práce.....	9
2.4	Existujúce systémy	10
2.4.1	EveryCircuit	11
2.4.2	Khan Academy	12
2.5	Použité programovacie jazyky a technológie	12
2.5.1	HTML, CSS, PHP	12
2.5.2	JavaScript	13
2.5.3	Bootstrap	13
3.	Špecifikácia cieľov.....	14
3.1	Základné princípy aplikácie.....	14
3.1.1	Zmesi v LED	15
3.1.2	Pokus s fotorezistorom	16
3.1.3	Graetzov mostík	16
3.1.4	Interaktívny návod.....	17
3.1.5	Miestnosti	17
4.	Návrh riešenia	18
4.1	Typy používateľov.....	18
4.2	Štruktúra aplikácie	19
4.3	Model aplikácie na serverovej časti.....	19
4.4	Zvolené technológie	21
4.5	Komponenty aplikácie	21
4.5.1	Komponent miestnosti.....	22
4.5.2	Komponent experimenty	22
4.5.3	Komponent kontakt	28
5.	Implementácia	29
5.1	Naplnenie implementácie a problémy pri implementácii.....	29

5.1.1	Miestnosti	30
5.1.2	Zmesi v LED	32
5.1.3	Pokus s fotorezistorom	33
5.1.4	Kontakt	34
5.2	Používanie aplikácie	34
6.	Testovanie	35
7.	Záver.....	37
8.	Použitá literatúra	38
9.	Prílohy	38

1. Úvod

Každým dňom prichádzame do styku s informačnými technológiami, ktoré sú čoraz pokročilejšie a závažnejšie ovplyvňujú naše životy. Človek si ani neuvedomí pri akých triviálnych denných aktivitách ich využije.

Pri práci s informačnými technológiami, ktoré sú úzko späté s fyzikálnymi princípmi a javmi, ako napríklad hardvér, polovodičové súčiastky a podobne. Často sa stretáme s prípadmi, kde by sme potrebovali pomoc pri pochopení zložitejších fyzikálnych dejov, ktoré tu nastávajú. Aby sme teda prácu úspešne zvládli s čo najväčšou úsporou času, potrebujeme informácie mať čo najlepšie podané, dostupné a pravdivé. Preto som si ako svoju bakalársku prácu zvolil práve výukový softvér konkrétne pre stredné školy elektrotechnické i elektrotechnických nadšencov. Elektrotechnická problematika je mi blízka. Konkrétnejšie oblasť elektroniky, obvodov a hlavne polovodičov, ktoré budem v mojej aplikácii popisovať. Na stredných školách elektrotechnických, chýbajú kvalitné výklady učiva najmodernejších polovodičových súčiastok hlavne z hľadiska financií a vývoja. Touto formou, ako napríklad formou webovej aplikácie, sa dajú podať kvalitné informácie a vidieť ich reálne využitie bez potreby utratenia finančných prostriedkov. Užívateľ a budú sprevádzať sady pomôcok k vyriešeniu danej problematiky a to náučným a motivačným prístupom. Aj takouto hravou formou sa dajú cielene získať informácie a pochopenie v elektrotechnickej oblasti. Hlavnou výhodou okrem finančnej stránky je dostupnosť kdekokoľvek a kedykoľvek.

Konkrétny cieľ mojej práce bolo navrhnuť webový výukový program pre stredoškolskú fyziku, ktorý vysvetľuje fyzikálny princíp pomocou interaktívnej simulácie. Konkrétne sú to nasledovné simulácie. Simulácia schémy LED a fotoodporu v závislosti od dopadajúceho vzdialeného svetla, ktoré pôsobí na túto schému a ovplyvňuje ho. Spočiatku si užívateľ sám zostrojí s dohľadom interaktívneho návodu, ktorý ho usmerňuje. Celá táto simulácia je nazvaná ako elektronická skladačka. Ďalšia simulácia bude vizualizovať usmernenie toku elektronického prúdu zo striedavého do jednosmerného prúdu. Zostáva posledná simulácia, ktorá poukazuje na zmeny parametrov LED v závislosti od ich chemického zloženia a vysvetlí princíp ich fungovania.

Okrem týchto konkrétnych interaktívnych simulácií bude mať učiteľ možnosť vytvoriť si vo webovej aplikácii triedu, kde za pomoci interaktívnej skladačky môže študentom, ktorý sú ako diváci v danej triede, v priamom prenose skladať a popisovať rozličné schémy. Snaha

o interaktívnu tabuľu s možnosťou vytvárania schém by mala byť prínosom pre vyučovací proces.

2. Východiská

Pri práci s informačnými technológiami, ktoré sú úzko späté s fyzikálnymi princípmi a javmi, ako napríklad hardvér, sa často stretne s prípadmi, kde by sme potrebovali využiť pomoc pri pochopení zložitejších fyzikálnych dejov, ktoré tu prebiehajú. Preto si povieme niečo k fyzikálnym princípom a javom, ktoré budem pri práci potrebovať.

2.1 Teoretické východiská z oblasti fyziky

Nasledujúca stať popisuje stručnú teóriu z oblasti fyziky a elektrotechniky, ktorá by sa mala vyskytnúť aj v mojej práci.

2.1.1 Princípy LED

LED (light emitting diode) je polovodičová súčiastka, ktorá vyžaruje svetlo. Polovodič je materiál, ktorý sa v čistej podobe zaraďuje elektrickou vodivosťou medzi vodiče a nevodiče. Jeho vodivosť sa silne mení s teplotou, dopadajúcim svetlom, usporiadaním kryštalickej mriežky a s obsahom prímiesí.

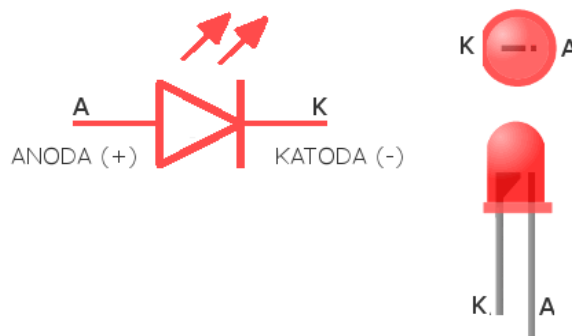
2.1.1.1 Zapojenie LED

Prvá skladačka, ktorú bude musieť študent poskladať bude zapojenie LED. Študent bude podľa určenej schémy skladať daný obvod. Bude mať k dispozícii typy elektronických súčiastok, ktoré sa v danej schéme vyskytnú. Zadanie ho bude usmerňovať, prípadne mu radiť, ako má správne postupovať. V prípade, že si študent nebude vedieť vôbec rady, bude

mať k dispozícii celý manuál, ako správne diódy zapájať. Zadanie ho však bude neustále usmerňovať. Skladanie bude pozostávať z preťahovania daných súčiastok na spájaciu plochu, ktorá je na to určená. Pod touto aplikáciou ho bude navigovať sled úloh. Výsledkom by malo byť komplexné vizualizovanie daného obvodu. Mala by to byť flexibilnejšia vizualizácia na základe vlastného zostavenia schémy podľa pokynov.

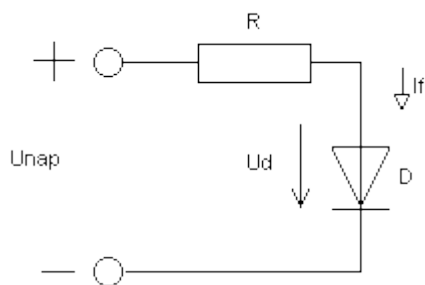
2.1.1.2 Teória o zapojení LED

Pri LED by sme si mali uvedomiť jednu základnú vec. LED nie je niečo ako žiarovka, že keď pripojíme napätie, tak nám svieti. V žiarovke svieti volfrámové vlákno, ktoré je prechodom prúdu rozžeravené na niekoľko tisíc stupňov Celzia. V LED to funguje úplne inak. Jednak si treba uvedomiť, že LED je polovodičová súčiastka, kde svetlo vzniká na prechode PN. LED; emituje svetelné žiarenie, ktoré je takmer o jednej vlnovej dĺžke. Toto žiarenie je emitované na základe niekoľkých zákonov, ktoré však nie je nutné rozoberať. Dôležité je však, že intenzita tohto žiarenia je závislá od prúdu, ktorý prechádza touto diódou a vďaka tomuto prechádzajúcemu prúdu vzniká na LED úbytok napätia, z čoho nám vyplýva dôležitá vec. LED nezapájame do zdroja napätia. Ak však iný zdroj nemáme, pripája sa do série pre LED prehradný odpor.



Obrázok 1. Schematická značka a zapojenie

Ukážeme si princíp zapojenia na jednoduchej schéme a pomocou Ohmovho zákona si odvodíme názorný vzorec.



Obrázok 2. Ukážka zapojenia LED

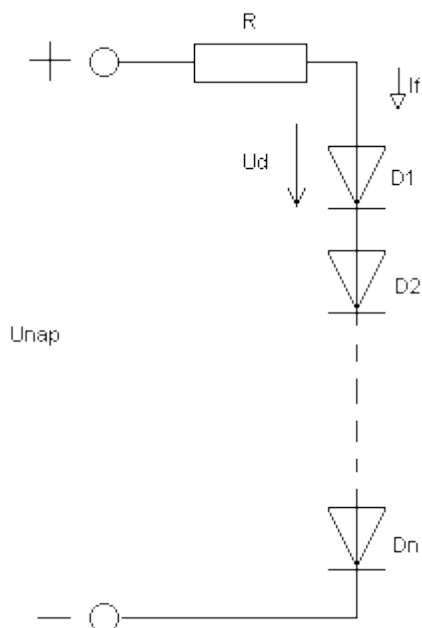
Táto schéma je základ pri zapojení LED, kde vysvetlím základné vzťahy a výpočty pre LED.

- U_{nap} - Napájacie napätie (musí byť jednosmerné napríklad zdroj napätia, batéria a pod.)
- I_f – Prúd tečúci cez LED. Tento údaj nám dáva výrobca. Väčšinou sa pohybuje v rozmedzí 5mA až 20mA
- U_d – Úbytok napätia na LED. Tento údaj nám tiež poskytuje výrobca a býva zväčša od 2V po 3.2V.

Teraz si podľa Ohmovho zákona vypočítame odpor R a poznáme aký veľký predradný odpor použiť. Pozor pri dosadzovaní hodnôt sa používajú základné veličiny.

$$R = \frac{U_{nap} - U_d}{I_f}$$

V prípade zapojenia viacerých LED do série sa vzorček upraví tak, že U_d sa vynásobí počtom LED.



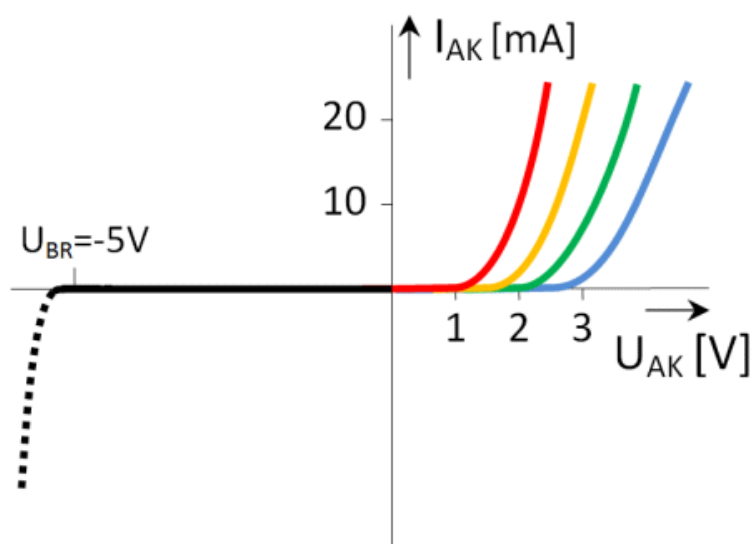
Obrázok 3. Ukážka zapojenia n počtu LED do série

V takomto prípade vyzerá vzorec nasledovne.

$$R = \frac{U_{nap} - n * U_d}{I_f}$$

2.1.1.3 Zmesi v LED a ich charakteristiky

LED (Light Emitting Diode) sú diódy, ktoré sú schopné vyžarovať svetlo (svietiť), keď cez nich prechádza v priepustnom smere PN prechodu malý prúd. Ten ovplyvňuje charakteristiku z hľadiska napätia, farby vyžarovania a pod. podľa [1]. Nie je LED ako LED, vyrábajú sa v rôznom tvarovom i farebnom prevedení. Najčastejšie sa dajú zohnať červené, žlté, zelené a modré. Ich farba vypovedá o ich chemickom zložení a každá zmes je ovplyvňovaná aj parametrom.



Obrázok 4. Volt-ampérová charakteristika LED

Parametre LED podľa farby sa nachádzajú v nasledujúcej tabuľke.

Chemické zloženie polovodiča	Vlnová dĺžka	Farba	Úbytok napätia pri 20mA
GaAs	850-940nm	Infračervená	1.6V
GaAsP	630-660nm	Červená	1.8V až 2.1V
GaAsP	605-620nm	Oranžová	2.2V
GaAsP:N	585-595nm	Žltá	2.4V
AlGaP	550-570nm	Zelená	2.6V
SiC	430-505nm	Modrá	3.0V až 3.5V
GaInN	450nm	Biela	3.0V až 3.5V
-	-	Ultrafialová	3.5V

Tabuľka 1. Parametre LED podľa farby podľa [1]

2.1.2 Teória fotoodporu

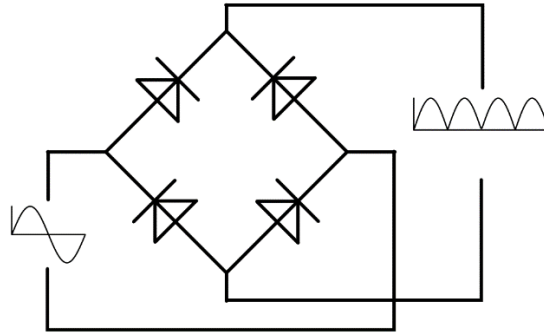
Fotoodpor alebo tiež inak fotorezistor, je pasívna elektronická súčiastka, ktorá mení svoj odpor v závislosti od intenzity dopadajúceho svetla. Jeho konštrukcia pozostáva z polovodičovej základne najčastejšie sulfidu kademnatého. Princíp fotoodporu je založený na fotoelektrickom jave, kde pri dostatočne krátkej vlnovej dĺžke narazí fotón do elektrónu vo valenčnom pásme atómu a odovzdá mu svoju energiu. Elektrón tak získa dostatok energie na prekonanie zakázaného pásma a preskočí do vodivostného. Tým pádom sa pohybuje ako voľný elektrón v priestore kryštálovej mriežky. Na jeho mieste zostalo voľné miesto s kladným nábojom – diera. Tieto voľné elektróny a diery môžu viesť elektrický prúd a tým znižujú elektrický odpor.



Obrázok 5. Schematická značka fotoodporu

2.1.3 Teória Graetzovho mostíka

Graetzov mostík je elektronické zapojenie fungujúce ako usmerňovač toku elektrického prúdu. Zapojenie štyroch usmerňovacích diód vytvorí dvojbrán, na ktorého vstup privedieme striedavé napätie. Na výstupe sa objaví jednosmerné napätie s určitým kmitočtom, ako na obrázku 4. . Graetzov mostík preklápa zápornú hodnotu striedavého prúdu na kladnú pričom zachováva amplitúdu aj frekvenciu. Na výstupe Graetzovho mostíka je teda absolútna hodnota vstupného napätia. Toto zapojenie je oveľa výhodnejšie, ako starší jednodiodový usmerňovač, ktorý vynechával priebeh zápornej pol vlny vstupu. Vykazuje aj väčšiu účinnosť.



Obrázok 6. Graetzov mostík

Nasledujúce zapojenie sa musí ešte vyfiltrovať voči kmitaniu, a to pripojením kondenzátorov na výstup.

2.2 Tvorba edukačného softvéru

„Edukačný softvér je vytvorený špeciálne pre vyučovanie ako nástroj pre učiteľov na učenie alebo pre študentov na učenie sa.“ [2]

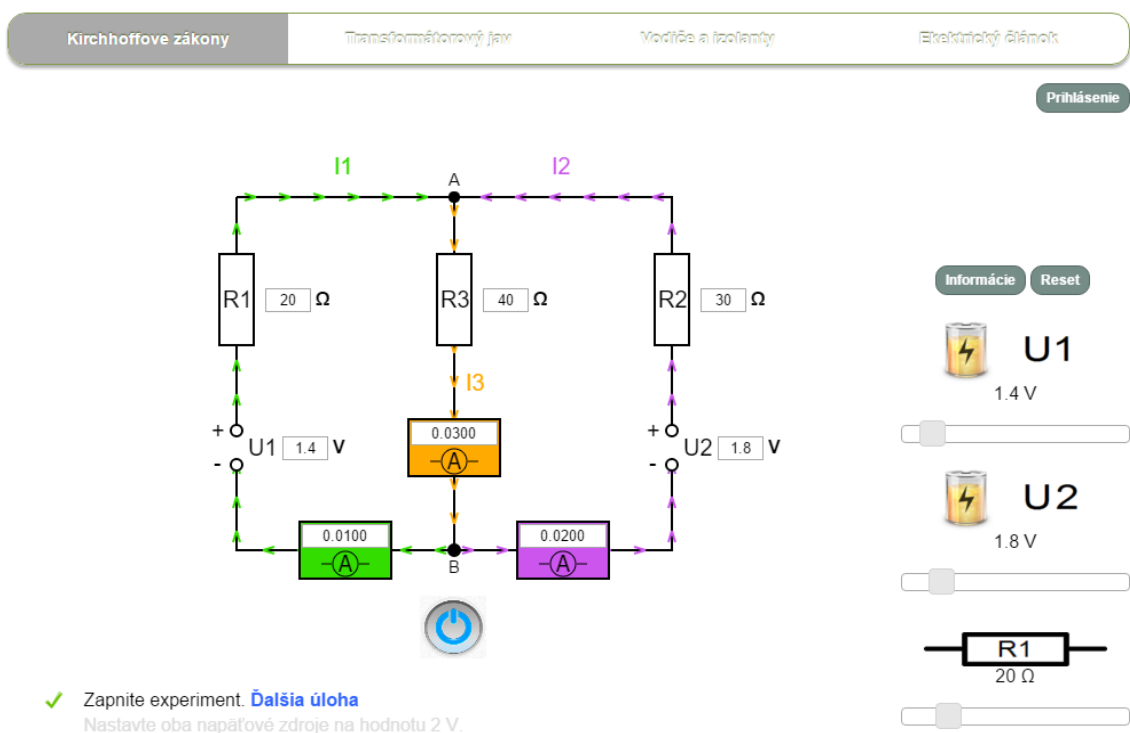
Vzhľadom na moju bakalársku prácu je potrebné sa riadiť nasledujúcimi materiálmi, aby pri tvorbe didaktického softvéru vznikala správnosť formy poskytovaných informácií. Moje aplikácie musia teda spĺňať edukačné kritériá. O správnosti mojich vizualizovaných aplikácií sa budem radiť s profesormi zo Strednej Priemyselnej Školy Elektrotechnickej v Bratislave a zároveň si nechám poradiť od didaktického konzultanta PaedDr. Petra Vankúša, PhD.

Edukačný softvér môže mať aj viacero zameraní. Môže poskytovať nové informácie užívateľovi a vysvetľovať mu danú tému, čím ho vzdeláva a je ním nahrádzaná výučba klasického výkladu učiteľom. Program môže byť zameraný aj na precvičovanie si už nadobudnutých vedomostí formou rôznych príkladov alebo hier. Medzi výukové programy patria aj simulácie javov napríklad práve z aktuálnej oblasti fyziky, ktoré poskytujú študentom

bližší pohľad na fungovanie javov z vizuálneho hľadiska. V dnešnej dobe by mal byť výukový program taktiež prispôsobený najnovším technológiám, ktoré dnešný používateľ používa, ako je prispôsobenie ovládania z rôznych zariadení v rôznych rozlíšeníach. Dôležité je aj aby bol edukačný softvér dobre ovládateľný a použiteľný, pričom by mal byť intuitívne ovládaný a prehľadný.

2.3 Podobné práce

Hlavnou inšpiráciou pri tvorbe mojej práce bola bakalárska práca na našej univerzite z minulého roka (2015), ktorú spravil Michal Sejč. Táto práca je aplikácia v JavaScripte, ktorá demonštruje princípy na elektrických obvodoch. Predovšetkým pozitívne hodnotím prepracovanosť ohľadom grafických detailov. Obsahovo si zvolil aj vhodné témy zaoberajúce sa fyzikálnou problematikou ako napríklad Kirchhoffove zákony. Tu je ukážka jeho aplikácie.



Obrázok 7. Ukážka bakalárskej práce od Michala Sejča

Podrobne vizualizoval danú schému, ktorá bola žiaľ statická. Prínosom je aj interakcia programu voči riešiteľovi. Parametre schémy sa nastavujú podľa zadania. Rozmýšľal som nad podobnou ideou, ale chcem spraviť prácu tak, že študent bude podľa zadania schému aj tvoriť. Celkové moje zhodnotenie tejto aplikácie vnímam pozitívne. Beriem ju ako aplikáciu, ktorá ma najviac inšpirovala.

Jeho druhá aplikácia „transformátorový jav“ je taktiež dobre prepracovaná. Okrem pohotovej interakcie je veľmi dobre odsimulovaný aj priebeh napätia. To isté sa dá povedať aj o aplikácii „vodiče a izolanty“ kde opäť detaily siahajú až na molekulárnu úroveň. V podstate sa tu jedná o jednoduché vstupy konkrétne dva a to teplota a napätie a pritom má študent celkový prehľad čo sa deje. Podané informácie sú stručné a informatívne. Čo sa týka poslednej aplikácie opäť ju vnímam veľmi pozitívne. Ide o prepracovaný elektrický článok kde je vidno aj ubúdanie a pribúdanie atómov na platničkách.

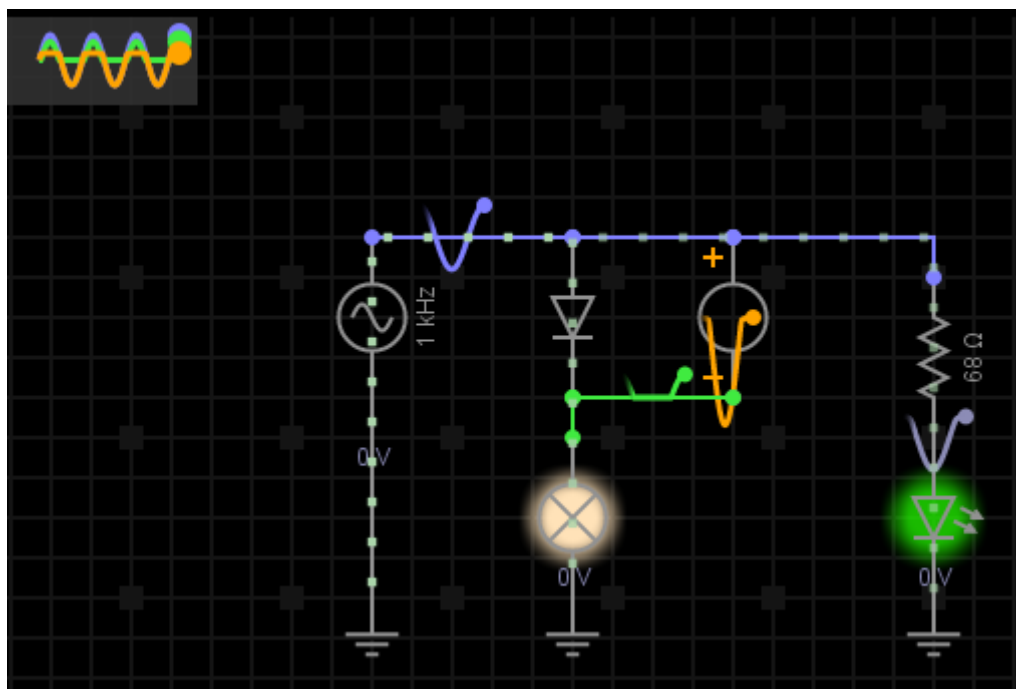
Ďalšiu prácu, ktorú som si taktiež dôkladne pozeral, je práca Mariána Jonisa rok 2015. Taktiež z našej fakulty a jeho cieľom bolo vytvoriť výukový program, ktorý demonštruje fyzikálne javy. Sú to konkrétne fyzikálne princípy z jadrovej fyziky a zameral sa na rádioaktívnu premenu, anihiláciu a coulombov zákon. Jeho práca je oproti práci Michala Sejča slabšia o grafické prepracovanie, ale predsa je tu čím sa inšpirovať. Zaujal ma predovšetkým spôsob komunikácie medzi vstupom a aplikáciou. Prácu chcel robiť pomocou JavaAppletu, čo by bolo nevýhodou a v práci to aj dobre popísal. Rozhodol sa nakoniec pre dynamický jazyk JavaScript.

2.4 Existujúce systémy

Výukové programy sú dôležité pre všetky druhy štúdiá. V dnešnej prepojenej dobe, kde nie je problém sa dostať k informáciám, slúžia ako výborná pomôcka pre študentov. Šetria čas a aj vedľa lepšie naučiť, keďže nie je potreba sa sústrediť iba na čítanie s porozumením. Pre danú tematiku som našiel zopár užitočných programov, ktoré spĺňajú elektrotechnické vizualizácie a zároveň sú aj interaktívne. Zároveň sa inšpirujem aj aplikáciami, ktoré majú didaktickú tematiku, aby som sa v tomto smere priučil.

2.4.1 EveryCircuit

Ako prvú by som spomenul aplikáciu EveryCircuit [3]. Táto aplikácia je ako na platformu Android, tak aj pre desktop PC ako webová aplikácia. Je určená na skladanie obvodov a ich vizualizáciu. Doposiaľ som program využil pri štúdiu na priemyselnej škole elektrotechnickej a bola mi prínosom. Pozitívne hodnotím grafickú prepracovanosť spolu s vizualizáciami obvodov v rôznych uzloch, čo je veľmi edukačné. Aplikácia je z hľadiska použiteľnosti pre používateľa intuitívna. Inšpiráciou pre mňa bolo nadväzovanie vodičov na elektronické súčiastky v schéme.



Obrázok 8. Ukážka vizualizácie obvodov EveryCircuit

2.4.2 Khan Academy

Khan Academy je vzdelávací nástroj na učenie matematiky, ktorý postupne sieťou súvisiacich pojmov, videí a cvičení učí matematiku. Jedná sa v podstate o niečo, ako interaktívne písanie na tabuľu s ukazovaním. Veľmi sa mi páči systém vysvetľovania a zároveň ukazovania do príslušných miest vďaka čomu má študent veľmi dobrý prehľad o tom čo sa práve deje. V minulosti som tento učebný nástroj využil a veľmi sa mi zapáčil. Vzhľadom na to, že je voľne dostupný je kvalitne prepracovaný.

2.5 Použité programovacie jazyky a technológie

Tvorba mojej webovej aplikácie vyžadovala mnohé programovacie jazyky a technológie. Bolo nutné si vopred premyslieť vhodný výber, aby sme predišli zbytočným komplikáciám.

2.5.1 HTML, CSS, PHP

Pri vývoji mojej webovej aplikácie je nutnosť použitia programovacích jazykov ako HTML5, CSS3 a PHP.

HTML (HyperText Markup Language) je značkový jazyk určený na vytváranie webových stránok a iných informácií zobraziteľných vo webovom prehliadači. HTML kladie viac dôraz na prezentáciu informácií ako na sémantiku.

CSS (Cascading Style Sheets) je rozšírenie pre jazyk HTML prevažne o dizajn. Je to jednoduchý mechanizmus na vizuálne formátovanie internetových dokumentov.

PHP (Hypertext Preprocessor) je open-source skriptovací jazyk, ktorý sa používa predovšetkým na programovanie klient-server aplikácií a pre vývoj dynamických webových stránok.

2.5.2 JavaScript

JavaScript je skriptovací programovací jazyk určený predovšetkým pre tvorbu webových stránok. Pôvodne sa vyvíjal zo spoločnosti Netscape Communications, až do dnešnej podoby známej ako JavaScript. Syntax jazyka sa podobá Jave, ale v skutočnosti sa tvorca inšpiroval skôr jazykom Self.

2.5.2.1 jQuery

jQuery je ľahká open-source knižnica, ktorá kladie dôraz na interakciu medzi JavaScriptom a HTML. Je vhodná na vytváranie animácií, spracovanie udalostí ako aj na jednoduchšiu navigáciu dokumentu.

2.5.2.2 Node.js

Node.js je JavaScriptový interpretér založený na Chrome V8 JavaScript engine. Patrí k nemu najrozsiahljší open-source ekosystém softvéru, ktorý je delený na balíčky npm. Node.js je konkrétne určený na beh programov na serveri, nie na browseri. Knižnica socket.io, ktorá je jeho súčasťou, umožňuje výmenu dát medzi serverom a klientom asynchrónnym spôsobom.

2.5.3 Bootstrap

Bootstrap je open-source sada nástrojov pre tvorbu webu a webových aplikácií. Obsahuje šablóny založené na HTML a CSS, slúžiace pre úpravu rôznych komponentov rozhrania rovnako ako ďalšie voliteľné rozšírenie JavaScriptu.

3. Špecifikácia cieľov

V špecifikácii cieľov sa popisuje konkrétna špecifikácia výslednej aplikácie. Popisuje sa jej detailné správanie pri každom zo simulovaných experimentov. Softvér bude obsahovať výukové aplikácie, v ktorých budú využité interaktívne simulácie a zároveň bude softvér slúžiť aj ako pomôcka pre výučbu elektronických obvodov formou interaktívnej tabule.

Cieľom našej bakalárskej práce bolo vytvoriť webový výukový program pre stredoškolskú fyziku, ktorý vysvetľuje fyzikálny princíp pomocou interaktívnej simulácie. Interaktivita spočíva v nastavení rozličných parametrov, alebo predpokladov simulácie. Pozostáva z experimentov, ktoré sa dajú graficky vizualizovať. Budú plne interaktívne, aby mohol študent pozorovať čo sa stane a na základe toho pochopiť daný princíp.

3.1 Základné princípy aplikácie

Bude sa jednať o webovú aplikáciu spustiteľnú na bežných webových prehliadačoch. Aplikácia bude obsahovať sadu interaktívnych experimentov, ktoré budú aj vizualizované.

Medzi ne patrí napríklad pokus s fotorezistorom, v ktorom bude študent intuitívne skladať patričnú schému podľa návodu. Spočiatku nevie, čo skladá, ale postupom zisťuje že sa mu otvárajú nové možnosti a nástroje, k poskladaniu výslednej schémy. Pri stavbe schémy musí študent zapojiť odbornú znalosť danej problematiky, aby problém vyriešil. Návod mu síce pomáha ale nevedie ho slepo k cieľu. Bude musieť napríklad vypočítať hodnotu odporu tak, aby bola jeho schéma korektná. K úspešnému vyriešeniu mu pomôže interaktívna kalkulačka aj pomocné vzorce. Po celú dobu ho kontroluje interaktívny návod, ktorý kontroluje, či niekde nespravil chybu. Ak áno, vráti ho späť ku kroku na ktorom zlyhal. V prípade korektného poskladania skladačky a vyriešenia pomocných úloh, študent pokračuje k otestovaniu. Schéma ním vytvorená sa premietne do simulácie reálneho zapojenia, kde ju môže ovplyvňovať. Pritom sleduje ako funguje, aké sú aktuálne parametre jednotlivých častí jeho schémy a má ich aj graficky znázornené v čase.

Aplikácia nebude slúžiť len na báze experimentov a vizualizácií. Bude mať aj výkladový charakter. V podstate sa jedná o to, že učiteľ chce študentom ukázať nejakú

komplexnú schému, a popísať k nej parametre. Ak by ju kreslil na tabuľu, a opisoval by súčiastky, tak by mu to zabralo veľa času. Preto bude mať aplikácia miestnosti, ktoré budú túto funkcionality sprostredkovať. Pre príklad učiteľ chce opisovať schému zosilňovača. Vytvorí preto miestnosť, ktorú nazve podľa riešenej problematiky. Ostatným študentom sa zobrazí v aplikácii daná miestnosť do ktorej vojdú. Učiteľ bude mať k dispozícii komplexnú elektronickú skladačku ako nástroj pre tvorbu schém a plochu na písanie. Všetko čo tu učiteľ vykoná, vidia študenti v reálnom čase

3.1.1 Zmesi v LED

V tejto webovej aplikácii si študent prejde interaktívnou teóriou a problematikou, odskúša si z akých chemických zmesí sa skladá NP polovodičový prechod a ako ovplyvňuje charakteristiku z hľadiska napätia, prúdu, farby vyžarovania a pod. Podľa tabuľky [1]. Aplikácia spočíva z jednoduchšej schémy zapojenia LED, v ktorej bude treba podľa pokynov meniť polovodičovú zmes a následne upraviť hodnotu napätia a prúdu tak, aby bola funkčná. Výsledkom pre študenta po úspešnom splnení úloh bude farebný efekt LED a jej parametre. Po odskúšaní zmesí LED bude musieť poskladať pomocou nástroja *Skladačka* schému podľa pripraveného návodu a ponastavovať na jej parametre. Po úspešnom poskladaní schémy sa mu prevedie jeho diagramová schéma do schémy reálneho zapojenia, kde si môže ďalej odskúšať funkcionality jeho výsledku. Študent dostane aj interaktívne vysvetlenie, prečo boli parametre schémy zvolené tak, ako ich mal nastavovať.

Túto aplikáciu by som chcel spraviť viac oddychovú, čo znamená že študent nevyvalí až toľko vedomostí k tomu aby dosiahol želaný efekt. Práve preto je aplikácia založená na učení hravou formou a študentovi poskytne prehľad o fungovaní LED.

3.1.2 Pokus s fotorezistorom

Pokus s fotorezistorom je v podstate skladanie elektronického obvodu, kde bude určitý druh súčiastok pre daný obvod. Študent bude ťahaním súčiastok na kresliacu plochu umiestňovať súčiastky podľa určitého návodu. V prípade, že si nebude vedieť dať rady, bude mať dostupnú sadu pomôcok pre úspešné poskladanie výslednej elektronickej skladačky.

Návod, teda hlavná pomôcka, bude interaktívny návod, ktorý bude študenta viesť a kontrolovať ho či danú schému zapája korektne. Pri riešení výpočtových úloh bude mať ako pomôcku vzorec pre výpočet aj s interaktívnou kalkulačkou.

V prípade úspešného vyriešenia elektronickej skladačky, bude môcť študent simulovať daný obvod, a tým pochopiť jeho funkčnosť. Simulácia spočíva v tom, že študent bude pohybovať so zdrojom svetla k poskladanej schéme s fotorezistorom a späť. Bude pritom sledovať ako sa ovplyvňuje jeho predtým poskladaný obvod s reálnymi súčiastkami tým ako bude so zdrojom svetla pohybovať. Pre lepšie zorientovanie v problematike bude môcť sledovať ako sa menia hodnoty v schéme aj graficky. Tento experiment bol pánom doc. RNDr. Františkom Kundracikom, CSc., aj v skutočnosti skonštruovaný a testovaný.

3.1.3 Graetzov mostík

Simulácia bude zameraná na prevod zo striedavého prúdu na jednosmerný. Na takýto prevod sa používa tzv. Graetzov mostík, čo je vlastne usmernenie prúdu na štyroch usmerňovacích diódach. Pri kladnej amplitúde striedavého prúdu pustia usmerňovacie diódy prúd do jednej vetvy a pri zápornej amplitúde zase do rovnakej vetvy. Tým vzniká usmernenie prúdu. Študenti elektrotechnických škôl uvítajú odsimulovanie daného obvodu, pretože je to jedna z často vyhľadávaných schém u študentov a nie každý v skutočnosti vie, ako to funguje. Táto aplikácia bude preto demonštrovať funkčnosť podobných usmerňovačov.

3.1.4 Interaktívny návod

Jedná sa o pomôcku pri riešení elektronických skladačiek teda schém elektronických obvodov. Návod bude sprevádzať študenta krokovo a bude mu poskytovať dôležité informácie ohľadom splnenia daného experimentu. Pri každom kroku bude kontrolovať aj predchádzajúce kroky, aby neprišlo k omylu. V prípade že príde, študenta vráti na krok pri ktorom pochybil. V prípade úspešného splnenia podľa návodu mu bude poskytnutý prístup k vizualizáciám daného experimentu.

3.1.5 Miestnosti

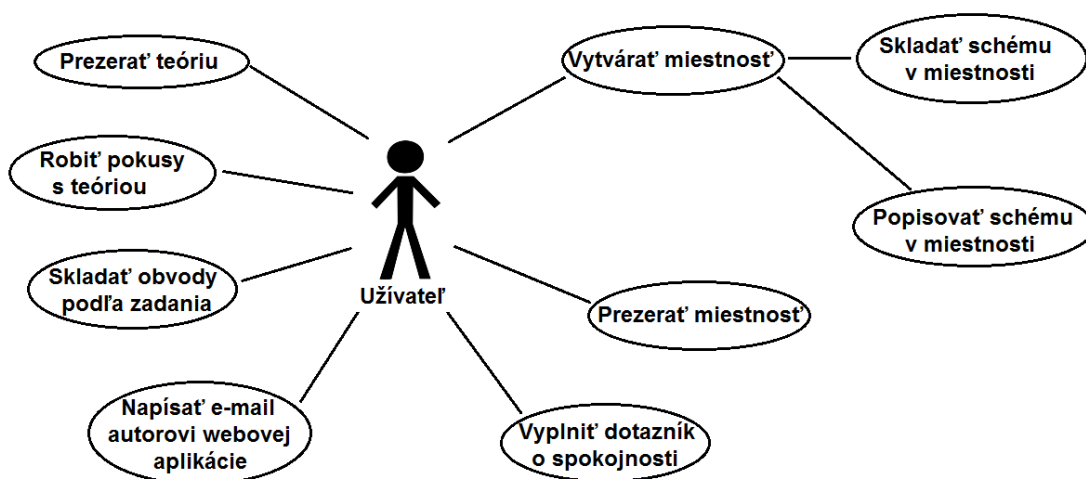
Nasledujúca aplikácia nebude experiment, ale nástroj pre výklad učiva alebo demonštráciu danej schémy elektronického obvodu. Učiteľ alebo študent spočiatku vytvorí miestnosť, ktorej dá meno podľa toho, čo v nej bude demonštrovať a klikne na *vytvor miestnosť*. Akonáhle klikne na tlačidlo, tak sa mu zobrazí komplexná aplikácia pre tvorbu elektronických obvodov kde bude vytvárať daný obvod. Po pravej strane bude mať miesto pre písanie textu kde bude popisovať čo práve robí, prípadne tam bude kopírovať parametre použitých súčiastok, ktoré v schéme použil. Všetci ostatní študenti, ktorí sa v čase učiteľovho predvážania v miestnosti sa chcú zúčastniť výkladu, si otvoria túto aplikáciu miestnosti, kde uvidia miestnosť s názvom, ktorý predtým vytvoril a vstúpia do miestnosti. Tu budú aktuálne sledovať čo robí. V prípade, že učiteľ miestnosť zavrie, budú študenti o tom informovaní. Aplikácia by mohla slúžiť nielen pre výklad učiteľa pre žiakov, ktorí sú aktívne zapojení vo vyučovacom procese, ale aj pre študentov, ktorí sú napríklad chorý doma a chceli by sa vzdelávať.

4. Návrh riešenia

V tejto kapitole je návrh riešenia našej aplikácie. Popisujú sa tu použité technológie a jednotlivé komponenty.

4.1 Typy používateľov

Aplikácia bude určená predovšetkým pre stredné školy elektrotechnické ako výuková aplikácia. Taktiež bude slúžiť aj učiteľom, ktorí budú svojim študentom vysvetľovať učivo, keďže aplikácia obsahuje efektívny nástroj pre výklad učiva prostredníctvom internetu. Pri tejto aplikácii sa však užívateľ nebude rozlišovať. Rovnako ako učiteľ, ktorý využíva pomôcky pre demonštráciu elektronických obvodov, ich budú môcť využívať študenti medzi sebou a aj elektrotechnický nadšenci. Touto formou sa zefektívni využitie aplikácie. Študent, respektíve užívateľ, teda bude môcť vytvárať miestnosti pre demonštráciu elektronických obvodov a popisovať ich. Zároveň môže prezerat' iné miestnosti ako divák. V prípade zvolenia experimentov bude pristupovať k prezeraniu si danej teórie a problematiky. Môže taktiež robiť pokusy s teóriou v prípade, že bude interaktívna. V experimentoch bude musieť skladať obvody podľa zadania a riešiť vzniknuté úlohy. Užívateľ sa bude môcť spojiť s autorom prostredníctvom predpísaného e-mailu v prípade otázok a v prípade spokojnosti môže vyplniť dotazník na stránke a odoslať ho autorovi.



Obrázok 9. Use-case diagram

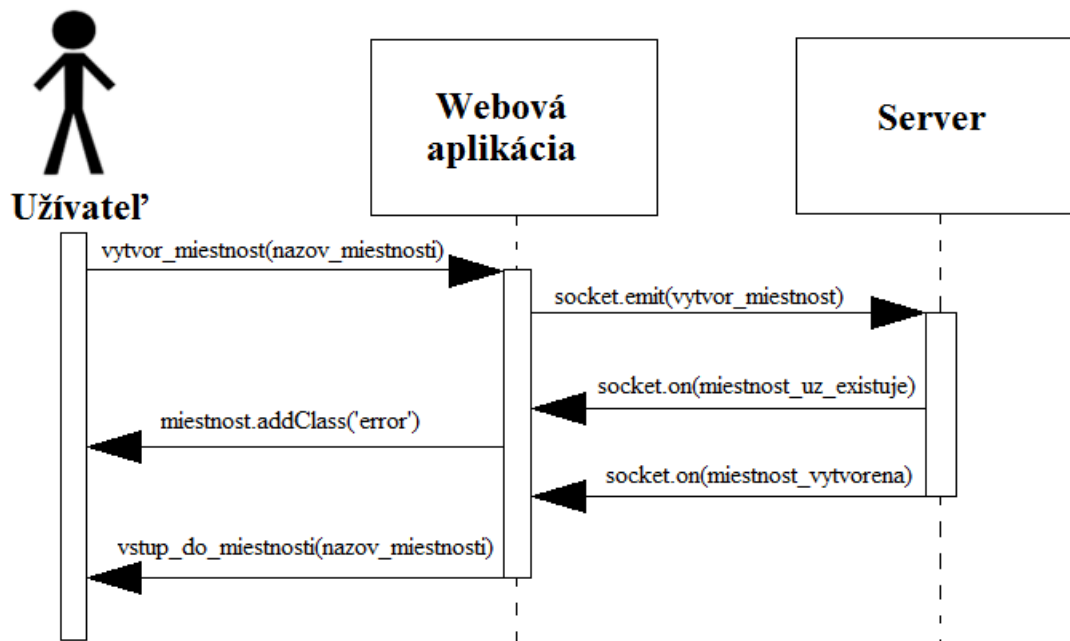
4.2 Štruktúra aplikácie

Vzhľadom nato, že táto webová aplikácia je pomerne rozsiahla a sú v nej použité rôzne technológie, rozhodol som sa pre štruktúru štandardnej webovej aplikácie. Základom aplikácie je teda `index.html`. Odtiaľto sa dá ďalej presmerovať na `miestnosti.html` a `experimenty`. Miestnosti v sebe zahŕňajú javascriptové knižnice `socket.io` a `fabric.js` a využívajú taktiež celú verziu elektronickej skladacky `skladacka_cela.js`, ktorá je naprogramovaná v javascripte pomocou jQuery. Fungovanie miestností je výlučne vecou `node.js` na strane servera. Experimenty sú napísané taktiež v html kóde a využívajú rôzne javascriptové knižnice. Experiment `zmesi_v_led.html` zahŕňa `skladacka.js`, vedenú interaktívnym návodom, ktorý má naprogramovanú funkcionálnu v `tutorial_skladacka_zmesi.js` a ako vstup dostáva string a funkciu z `vstup_tutorial_skladacka_zmesi.js`. Taktiež experiment obsahuje javascriptovú implementáciu drag and drop, ktorá dokáže hýbať elementami na obrazovke a presúvať ich na patričné miesto. Pri presune sa vyberajú údaje z .json súborov, ktoré sa elektrotechnickými vzorcami následne prepočítavajú a zobrazujú užívateľovi. Experiment `pokus s fotorezistorom` je implementovaný v `skladacka.html`. Tento experiment využíva rovnako elektronicnú skladacku prispôbenú potrebám, interaktívny návod aj so vstupom pre daný experiment. Rozdiel je však v tom, že študent bude mať ako pomôcku, ktorú v priebehu jeho tvorby využije a to interaktívnu kalkulačku na výpočty. Implementácia je zrealizovaná v súbore `kalkulacka.js`. Vo vizualizácii experimentu sa budú hodnoty načítavať z .json súboru. Zahrnuté sú rovnako aj grafy priebehov a slider, ktoré sú obsiahnuté v `slider.js`. Dizajn som riešil pomocou kaskádových štýlov. Použil som najaktuálnejšiu verziu bootstrap so šablónou `cerulean`.

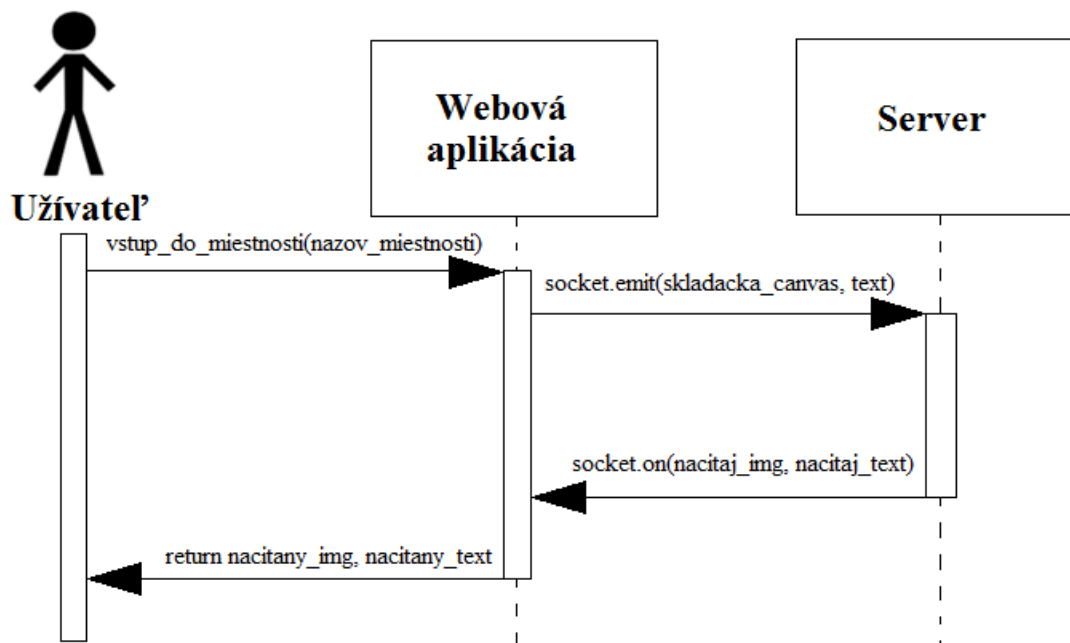
4.3 Model aplikácie na serverovej časti

Časť z mojej webovej aplikácie, vyžaduje podporu na strane servera, aby správne fungovala. Podporou sa myslí fungovanie `node.js`. Práve táto serverová aplikácia sa čoraz častejšie vyskytuje na serveroch z dôvodu vývoja nových webových aplikácií a rôznych funkcií. Moja aplikácia *miestnosti*, vytvára prostredníctvom knižnice `socket.io` novú miestnosť a tým preposiela na všetky ostatné porty žiadosť o zoznam vytvorených miestností

k prezeraniu, ktorý sa ostatným pripojeným užívateľom zobrazí a autorovi miestnosti priamo umožní vstup a pracovanie v miestnosti. Pre lepšiu predstavu nahliadnite do sekvenčného diagramu obrázok 10. Ostatní môžu tiež vytvoriť novú miestnosť a predchádzajúci proces sa zopakuje, alebo vstúpia do miestnosti za účelom prezerania. V takomto prípade vstúpenia do miestnosti užívateľ vidí takmer v reálnom čase diagram, kde autor vytvorenej miestnosti skladá schému prostredníctvom `cela_skladacka.js` a text, kde autor popisuje, čo robí. Proces prebieha tak, že autor skladá elektrický obvod a popisuje ho. V pravidelných časových intervaloch prostredníctvom knižnice `Fabric.js` sa odošle fotografia schémy elektrického obvodu a text. Tieto položky sa prostredníctvom knižnice `socket.io` pošlú na stranu servera, kde sa rozpošlú na všetky porty a do miestnosti, ktorú si užívateľ práve prezerá. Prezerateľ môže jednotlivu ktorékoľvek miestnosti. Pre lepšiu predstavu treba nahliadnuť do sekvenčného diagramu vyobrazenom na obrázku 11. V prípade prerušenia spojenia respektíve ukončenia výučby v danej miestnosti zo strany autora miestnosť zaniká. Pozorovatelia, ktorí sú práve v tomto čase v miestnosti dostanú informáciu o zrušení miestnosti. Tento proces pracuje rovnakým spôsobom ako vyššie popisované procesy.



Obrázok 10. Sekvenčný diagram vytvorenia miestnosti



Obrázok 11. Sekvenčný diagram prezerania miestnosti

4.4 Zvolené technológie

Pre našu webovú aplikáciu sme sa rozhodli kvôli dostupnosti kdekoľvek a bez nutnosti akejkoľvek inštalácie. Bolo teda potrebné zvoliť si programovací jazyk nato určený a to HTML a PHP. O dizajn a samotné aplikácie zase JavaScript a CSS spolu s využitím najmodernejších voľne dostupných knižníc.

4.5 Komponenty aplikácie

Hlavným prvkom celej aplikácie je hlavné okno aplikácie, ktoré je rozdelené na dve časti. Prvá časť je navigácia, ktorá sa dynamicky mení v závislosti od otvorenej podstránky. Druhá časť aplikácie je obsah stránky, ktorý sa individuálne mení z hľadiska konkrétnej vybranej aplikácie. Aplikácia pozostáva z troch hlavných komponentov. Z komponentu miestnosti, komponentu experimenty a komponentu kontaktu. Komponent experiment bude rozdelený na komponent zmesi v LED a komponent pokus s fotorezistorom.

4.5.1 Komponent miestnosti

Úlohou tohto komponentu je zabezpečiť používateľom možnosť vytvárať novú miestnosť pre výklad a demonštráciu elektronických obvodov alebo si ich len prezerat'. Funkcionalita tohto komponentu bude prístupná len za predpokladu, že na strane servera bude spustená serverová aplikácia node.js. Miestnosti sú realizované využitím samostatnej HTML podstránky miestnosti.html, kde každý používateľ má spočiatku stránku s možnosťou vytvorenia miestnosti. V prípade, že nejaká miestnosť už existuje, má každý používateľ okrem možnosti vytvorenia miestnosti aj možnosť prezerania už existujúcich dostupných miestností.

4.5.2 Komponent experimenty

Nasledujúci komponent zastrešuje súhrn experimentov. Rozdelenie nespočíva v samostatnom súbore, ale iba v prvku navigácia, ktorá sa po kliknutí vyroluje a študentovi tak poskytne možnosť výberu daného experimentu. Každý experiment figuruje ako samostatný komponent.

4.5.2.1 Komponent zmesi v LED

Zmesi v LED je komponent, ktorý je zahrnutý v súbore zmesi_v_led.html. Tento komponent je rozdelený na nasledujúce štyri časti. Úvod do problematiky, chemické odlišnosti LED, vyskladaj obvod a reálne zapojenie.

Úvod do problematiky je v podstate teória o LED, ktorá sa zakladá na základných znalostiach tejto polovodičovej súčiastky a študentovi poskytuje nové znalosti z oblasti zmesi obsiahnutej vo vnútri LED. Je založená na popísanom obrázku a prislúchajúcom texte k nemu. Táto časť ponúka konkrétnejšie vysvetlenie použitej zmesi po stlačení tlačidla vnútro

LED čipu. Toto rozvrhnutie je z dôvodu hierarchického usporiadania informácií, aby sa mohol študent lepšie sústrediť na informácie, ktoré sa mu podávajú. V prípade, že má všetky dostupné informácie odokryté, tak sa mu objaví na spodku stránky tlačidlo, ktoré ho po kliknutí presmeruje na druhú časť komponentu, konkrétne chemické odlišnosti LED.

Časť chemické odlišnosti LED konkrétnejšie špecifikuje predchádzajúcu časť s teóriou, ktorá je interaktívna. Študentovi sa naskytne pohľad na stránku, kde sa na ľavej strane stránky nachádza jednoduchá schéma zapojenia jednej LED s možnosťou spustenia kliknutím na tlačidlo v schéme on/off, ktorá je spočiatku neaktívna. Pod schémou je umiestnená prázdna tabuľka s parametrami schémy, ktorá sa bude neskôr dopĺňať v závislosti od vybranej súčiastky a zmesi jej prislúchajúcej. Rovnako sa bude prepočítavať aj hodnota odporu Ohmovým zákonom, umiestnená hneď nad odporom v schéme. Náhľad na obrázku 12.

Zmesi v LED diódach

Vyber si tubovité LED diódy z pravého stĺpca a postupne ich preťahuj do schémy na určené miesto. Všimaj si, ako sa mení hodnota predradného odporu, v závislosti od zmesi, ktorá je v LED dióde obsiahnutá.

Farba:	zelená
Úbytok napätia:	2.6V
Vlnová dĺžka:	550 - 570nm
Zmes:	AlGaP
Prúd prechádzajúci schémou:	0.018A

AlGaAs

GaAsP

GaAsP:N

AlGaP

SiC

GaInN

Vyskladaj obvod

Ak si si vyskúšal ako sa menia parametre LED diód, skús si zostaviť obvod, ktorý som ti prichystal.

Obrázok 12. Ukážka komponentu zmesi v LED, kde v interaktívnej časti teórie sa pre zelené LED prepočítali hodnoty

Na pravej strane stránky, sú v tabuľke LED s informáciou o zmesi PN prechodu, ktorá je v súčiastke obsiahnutá. Pod touto tabuľkou je tlačidlo, ktorým sa v prípade preskúšania si LED môže presmerovať na ďalšiu časť s názvom vyskladaj obvod. Popis rozloženia stránky je hotový a prejdem k popisu funkčnosti tejto interaktívnej časti. Študent preťahuje súčiastky z pravej strany stránky do schémy reálneho zapojenia na ľavej strane stránky. V prípade pustení obrázku sa všetky parametre schémy korektne prepočítajú. Preťahovanie obrázkov je implementované metódou drag and drop a pri spustení obrázka do schémy sa na základe asociatívneho poľa vyberajú dostupné a overené dáta ohľadom konkrétnych použitých diód. Následne sa dopĺňajú údaje do tabuľky a prepočítavajú ako napríklad hodnota odporu. Ak študent zapne schému tlačidlom on/off, uvidí na základe prepočítaných parametrov schémy, že dióda vykoná želaný efekt. Študent takouto interaktívnou metódou získava znalosti ohľadom úbytku napätia na konkrétnej LED, v závislosti od obsahnutej zmesi PN prechodu a mnoho ďalšieho. Ak si študent poskúšal súčiastky, môže pristúpiť k ďalšej časti kliknutím na tlačidlo vyskladaj obvod.

Vyskladaj obvod je v podstate praktická časť experimentu zmesi v LED. V tejto časti komponentu sa študentovi otvorí okno stránky, ktoré obsahuje na ľavej strane diagramovú skladačku elektronických obvodov, teda aplikáciu objektovo naprogramovanú v skladačka_zmesi.js. Pod skladačkou je umiestnená legenda, ktorá študentovi poskytuje základný prehľad ovládania skladačky. Na pravej strane stránky sa nachádza interaktívny návod, ktorý študenta naviguje ako má postupovať pri riešení danej schémy. Interaktívny návod ukazuje vždy aktuálny krok čiernou farbou, predchádzajúce vyriešené zelenou farbou a odľaknuté a nasledujúce sivou farbou. Tento návod je naprogramovaný v súbore tutorial_skladačka_zmesi.js, ktorý je úzko prepojený so skladačkou elektronických obvodov. Pre flexibilitu za účelom rýchleho vytvorenia iných návodov je vytvorený súbor vstup_tutorial_skladačka_zmesi.js, ktorý obsahuje asociatívne pole s textom kroku návodu, a jeho kontrolnou funkciou. Každý krok má samostatnú funkciu pre prípad, že študent postupom tvorenia jeho schémy pochybí. V takomto prípade ho návod vráti na krok, v ktorom neprebehla správne kontrolná funkcia a musí si ho opraviť. Z dôvodu rozmanitejšej a zložitejšej schémy budú študentovi poskytnuté vopred informácie o hodnotách nastavenia odporov aby mu v poslednej časti komponentu boli riadne vysvetlené. Teda študent ich spočiatku nastaví sám. V inej elektronickej skladačke bude musieť hodnotu odporu vopred vypočítať a následne zadať. V prípade úspešného poskladania danej schémy podľa návodu sa

študentovi zobrazí tlačidlo reálne zapojenie, ktoré ho presmeruje na poslednú časť. Náhľad na komponent sa nachádza v obrázku 13.

Zmesi v LED diódach

Riad sa podľa pokynov.

Červená LED Dióda (2V): chyť a pretiahni na plochu pre vloženie

Legenda

R Rotácia **Del** Mazanie
 Vodiče vytvoríš ťahaním medzi svorkami
 Dvojklikom na súčiastku jej nastaviš parametre

- Pridaj do diagramu zdroj napätia.
- Zapoj na kladný pól rezistor a pripoj ho vodičom.
- Do série s rezistorom zapoj sériovo dve biele LED diódy.
- Schému uzavri.
- Nastav odporu hodnotu 140Ω.
- Na kladný pól zdroja pripoj opäť odpor a za ním dve LED diódy, teraz však modré a schému uzavri. Takto vytvoríš paralelnú vetvu.
- Predradnému odporu modrých LED diód, nastav hodnotu 140Ω.
- Rovnako vytvor tretiu paralelnú vetvu pozostávajúcu z predradného odporu a dvoch LED diód teraz pre zmenu červených. a schému uzavri.
- Ich predradnému odporu nastav hodnotu 280Ω.

Obrázok 13. Ukážka komponentu zmesi v LED, kde sa tvorí elektronická schéma pomocou návodu a nástroja skladačka

Posledná časť reálne zapojenie študentovi poskytuje jeho poskladanú schému teraz však v osadení reálnych súčiastok k otestovaniu. Na stránke sa mu vľavo zobrazí jeho schéma s možnosťou spustenia on/off. Na stránke vpravo mu budú poskytnuté vysvetlivky k nastaveniam odporov vo vetvách po kliknutí na tlačidlo vysvetlivky k odporom. Študentovi bude v takomto prípade podaná informácia o výpočtoch pre dané odpory spolu so vzorcom Ohmovho zákona upraveného pre účely danej schémy aj s popisom.

4.5.2.2 Komponent pokus s fotorezistorom

Komponent pokus s fotorezistorom je zahrnutý v súbore skladacka.html. Názov tohto komponentu vyplýva ešte z predchádzajúceho návrhu, kde mal byť tento komponent ako jediná skladačka, ale v prípade terajšej verzie nepôsobí zmätočne. Samotný experiment teda pozostáva z troch nasledujúcich častí. *Úvod do problematiky*, *spusti experiment* a *spusti vizualizáciu*, ktoré budú v ponuke stránky komponentu.

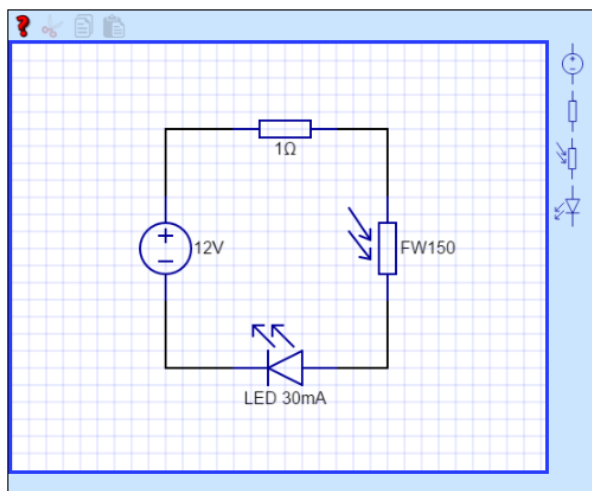
Úvod do problematiky je prvá časť experimentu. Po kliknutí na tlačidlo s týmto názvom sa študentovi zobrazí základná teória ohľadom problematiky fotorezistorov. Zobrazí sa mu hlavné okno s textom, popísaným obrázkom a tlačidlom presmerovania na druhú časť experimentu.

Druhá časť *spusti experiment* vyzerá nasledovne. Študentovi sa zobrazí okno rozdelené na dve časti. V ľavej časti sa nachádza aplikácia skladačka elektronických obvodov, pripravená práve pre účely tohto vybraného experimentu. V skladačke sú pripravené štyri komponentové súčiastky, ktoré bude študent pri práci používať. Zdroj napätia, odpor, fotorezistor a LED. Elektronická skladačka je naprogramovaná v súbore skladacka.js. Na pravej strane obrazovky sa nachádza interaktívny návod, ktorý naviguje a usmerňuje študenta pri práci. V prípade zlyhania niektorého už vykonaného kroku ho návod automaticky vráti v mieste zlyhania. Interaktívny návod je implementovaný v súbore tutorial_skladacka.js. V prípade potreby úprav som vyrobil vstupný súbor vstup_tutorial_skladacka.js, ktorý slúži ako vstup pre program. Obsahuje asociatívne pole s textom vypisovaného kroku a kontrolnou metódou, ktorá zachytáva udalosti v skladačke. Hneď pod interaktívnym návodom sa nachádza legenda, ktorá informuje používateľa o rýchlosti ovládania skladačky elektronických obvodov. V prípade úspešného splnenia krokov sa študent dostáva na posledný krok, ktorým je výpočet odporu v schéme. Výpočet odporu nie je triviálny a preto si vyžaduje nutnosť kalkulačky spolu so vzorcom pre výpočet a zoznamom premenných v obvode. Práve z tohto dôvodu som sa rozhodol, že akonáhle študent príde na posledný krok, tak sa mu zobrazí pod skladačkou elektronických obvodov interaktívna kalkulačka pre pomocné výpočty implementovaná v súbore kalkulačka.js. Vedľa nej sa zobrazí pomocný text s postupom riešenia a premennými, ktoré musí pre výpočet použiť. Študent možno nebude vedieť napriek takejto pomoci si dať rady. Preto môže kliknúť na tlačidlo pod textom s nápisom ukáž mi

vzorec. Po kliknutí sa miesto tlačidla sa objaví vzorec Ohmovho zákona, ktorý je už vopred pripravený pre potreby tejto schémy.

Pokus s fotorezistorom

Riadiť sa podľa pokynov elektronickej skladačky.



Pridaj do diagramu zdroj napätia.

Zapoj na kladný pól rezistor a pripoj ho vodičom.

Do série s rezistorom pridaj fotorezistor.

Schému uzavri s led diódou.

Nastav odporu hodnotu tak, aby diódou pretekal prúd 30mA.

Legenda

R Rotácia **Del** Mazanie

Vodiče vytvoríš tahaním medzi svorkami

Dvojklikom na súčiastku jej nastaviš parametre



Použi ohmov zákon pre výpočet prúdu na LED dióde

poznáš už, $U = 12V$, Úbytok napätia na LED = 3,2V a prúd pretekajúci schémou 30mA. Od konečného R odpočítaj R fotorezistoru $R(fr) = 140\Omega$, čo je minimálny odpor fotorezistoru.

$$R(\text{odporu}) = \left(\frac{U(\text{zdroj}) - U(\text{úbytok na LED})}{I(\text{prechádzajúci schémou})} \right) - R(\text{fotorezistoru})$$

Obrázok 14. Ukážka komponentu pokus s fotorezistorom, kde sa tvorí elektronická schéma pomocou návodu, nástroja skladačka, nástroja kalkulačka a pomocných vzorcov

Študent v prípade dosiahnutia výsledku odporu na kalkulačke, môže túto hodnotu skopírovať a prilepiť do parametrov odporu. Týmto dosiahne presný odpor, ale môže ho kľudne aj zaokrúhliť. Ak študent zadá správnu hodnotu odporu a potvrdí ju, tak v interaktívnom návode sa označí posledný krok za správny a poskytne sa študentovi tlačidlo spusti vizualizáciu, ktoré ho presmeruje na vizualizáciu elektronickej schémy, ktorú skladal v osadení reálnych súčiastok a môže ju odsimulovať.

Tretia časť komponentu pokus s fotorezistorom teda *spusti vizualizáciu* predstavuje odsimulovanie a vizualizovanie schémy, ktorú doteraz študent skladal, ale z hľadiska reálneho

zapojenia súčiastok. Táto schéma reálneho zapojenia sa nachádza na ľavej strane stránky. Na pravej strane sa nachádza zdroj svetla, teda lampáš, ktorý je spočiatku nastavený na vzdialenosť 30 centimetrov od fotorezistora. Študent bude hýbať s lampášom smerom k fotorezistoru a od neho a zistí presnú interakciu zapojeného obvodu v závislosti od vzdialenosti lampáša. Pohybujúci sa lampáš je javascriptový slider implementovaný v súbore slider.js. Pod sliderom sa nachádzajú dve tlačidlá. Parametre a grafy. Prvé z nich, teda parametre, vyroluje pod experimentom tabuľku, ktorá obsahuje kľúčové parametre meniacich sa ale aj nemenných hodnôt v závislosti od pohybu lampáša. Hodnoty sú načítané zo súboru hodnoty.json a následne sa elektrotechnickými vzorcami prepočítavajú. Tieto hodnoty sú reálne namerané hodnoty z práce pána doc. RNDr. Františka Kundracika, CSc., ktoré mi poskytol pre potreby mojej bakalárskej práce. Po kliknutí na druhé z tlačidiel s názvom grafy sa vyrolujú pod experimentom dva grafy. Prvý z nich je graf odporu fotorezistora v závislosti od vzdialenosti lampáša v čase. Tento graf poskytuje študentovi dokonalý prehľad o tom, aký odpor má fotorezistor práve v danej vzdialenosti. Druhý graf znázorňuje graf závislosti vodivosti fotorezistoru od množstva dopadajúceho svetla a je typu spline. Tento graf ukazuje taktiež aktuálnu vzdialenosť lampáša od fotorezistora, ale červeným ukazovateľom na grafe, ktorým demonštruje aktuálnu vodivosť fotorezistoru a taktiež množstvo dopadajúceho svetla na fotorezistor. Hodnoty oboch grafov sa taktiež načítavajú zo súboru hodnoty.json.

4.5.3 Komponent kontakt

Tento komponent je naprogramovaný v jazyku PHP. Jedná sa o dva prípady využitia komponentu. Prvým prípadom je možnosť kontaktovania autora webovej aplikácie prostredníctvom e-mailu, ktorý vygeneruje priamo webová aplikácia. Druhým prípadom je vyplnenie formulára dotazník, kde uvedie študent svoje meno, e-mail a vyplní otázky týkajúce sa spokojnosti ohľadom webovej aplikácie a klikne na tlačidlo poslať dotazník. Oba prípady sú implementované v samostatných súboroch kontakt.php a dotaznik.php.

5. Implementácia

V kapitole implementácia sa budeme venovať tomu, či sa nám podarilo naplniť špecifikáciu a aké problémy sa pri tom vyskytli. Budeme sa venovať aj postupu ich riešenia a aj popisovať jednotlivé kroky pre používateľa pre používanie tejto aplikácie.

5.1 Naplnenie implementácie a problémy pri implementácii

Implementácia sa podľa špecifikácie podarila skoro úplne s výnimkou experimentu Graetzovho mostíka. Experiment bol z hľadiska korektnosti veľmi náročný a nepodarilo sa odchytávať frekvencie striedavého prúdu na jednosmerný pomocou filtrov. Tento experiment som vedel navrhnuť len symbolicky, ale z hľadiska korektnosti by bol nevyhovujúci. Z toho dôvodu som sa rozhodol experiment vynechať.

Nasledujúcou vzniknutou komplikáciou v mojej aplikácii bola MySQL databáza, ktorú som chcel zo začiatku využiť v mojej aplikácii, ale po neskoršom zvážení som dospel k záveru, že všetky prvky, na ktoré som chcel využiť túto databázu sa dajú jednoduchšie a prehľadnejšie uložiť do jednotlivých .json súborov.

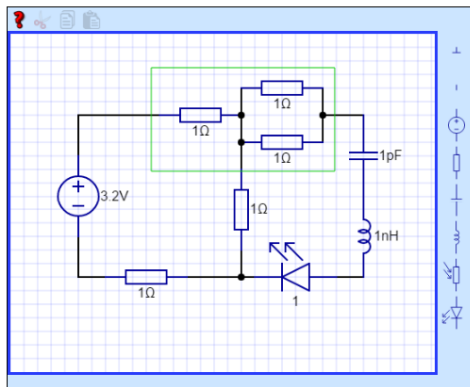
Ďalším vzniknutým problémom bola detekcia vytvorených prvkov na ploche skladačky elektronických obvodov. Skladačka sa mala skladať podľa konkrétneho interaktívneho návodu a problém bol každý jeden krok si jednotlivito ustrážiť a skontrolovať jeho správnosť. Konkrétne niektoré prvky sa dali spojiť s ostatnými prvkami dvoma rôznymi prípojnými bodmi komponentu skladačky, kde záležalo s ktorým bodom sa aký komponent spojí. Tieto rozdiely v bodoch si musí jednotlivé objekty pamätať a pri detekcii spoja medzi dvoma objektami sa musel v algoritme zohľadniť aj typ pripojeného bodu daného komponentu skladačky. Problém som vyriešil implementáciou pomocnej funkcie `is_connected()`, ktorá dostane ako vstup dva rôzne objekty, ktoré sú umiestnené na ploche a vnáraním sa do hĺbky cez všetky existujúce spojenia zistí, či existuje prepojenie medzi týmito dvoma komponentami a vráti výsledok.

Poslednou komplikáciou pri implementácii mojej aplikácie bol komponent miestnosti, ktorý vyžaduje nutnosť inštalácie node.js na strane servera. Spočiatku bol návrh tejto aplikácie bezproblémový, avšak s implementáciou to už také ľahké nebolo. Netriviálne boli aj metódy socket.io, ktoré odosielali dáta na porty servera a boli pre mňa ťažko pochopiteľné, keďže veci tohto typu sa vyvíjajú prevažne lokálne. Finálnym krokom po lokálnom preskúšaní bolo umiestnenie aplikácie na server kempelen, kde sme podnikli kroky pre úspešnú funkcionálnosť aplikácie.

5.1.1 Miestnosti

Implementácia tejto aplikácie sa úspešne podarila naplniť podľa špecifikácie. Používateľovi, ktorý miestnosť vytvoril, má na ľavej strane komplexnú aplikáciu skladačky elektronických obvodov, spolu s predpripravenými ôsmimi súčiastkami. Dodal som pod skladačku aj malú legendu s rýchlym návodom, ako efektívne používať túto aplikáciu. Na pravej strane má používateľ plochu na písanie textov pre študentov, ktorým demonštrovanú problematiku popisuje. Na obrázku 15 sa nachádza ukážka používateľa, ktorý niečo demonštruje ostatným študentom a na obrázku 16 ukážka študenta, ktorý si túto vytvorenú miestnosť prezerá.

Vyskladaj obvod a ukáž ho žiakom



Nasledujúca schéma demonštratívne vysvetľuje správanie sa aplikácie.

Použité súčiastky:

$R = 200 \text{ Ohm}$

$C = 15 \text{ pF}$

Legenda

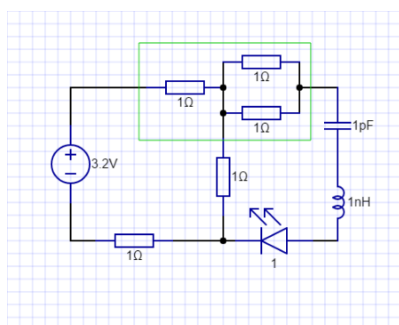
R Rotácia **Del** Mazanie

Vodiče vytvoríš tiahnutím medzi svorkami

Dvojklikom na súčiastku jej nastaviš parametre

Obrázok 15. Ukážka aplikácie miestnosti, kde učiteľ demonštruje danú problematiku vytváraním elektronickej schémy a jej popisovaním

Sleduj a uč sa



Nasledujúca schéma demonštratívne vysvetľuje správanie sa aplikácie.

Použité súčiastky:

$R = 200 \text{ Ohm}$

$C = 15 \text{ pF}$

Obrázok 16. Ukážka aplikácie miestnosti, kde študent prezerá miestnosť s výkladom

5.1.2 Zmesi v LED

Experimentu zmesi v LED sa taktiež podarilo implementovať podľa špecifikácie a to nasledovne. Pri otvorení experimentu sa používateľovi zobrazia štyri tlačidlá, ktoré presmerujú užívateľa na špecifickejšiu časť experimentu. Prvé dve tlačidlá sú v podstate interaktívna teória danej problematiky, aby mal študent plynulejší nábeh na experiment, ktorý ho v ďalších krokoch čaká. Študent si potom musí experiment sám vyhotoviť podľa návodu, ktorý ho naviguje a opravuje. V prípade úspešného vyriešenia danej elektronickej skladačky, môže prejsť do vizualizácie reálneho zapojenia schémy, ktorú v predchádzajúcom kroku zhotovil s možnosťou vizualizácie a pochopenia dodatkových informácií. Pre lepšiu orientáciu si odporúčam pozrieť obrázok 17, ktorý demonštruje takmer poskladanú schému v elektronickej skladačke podľa interaktívneho návodu.

Svet fyzikálnych experimentov Miestnosti Experimenty - Kontakt Dolazník

Zmesi v LED diódach

Riad sa podľa pokynov.

9V 140Ω 140Ω 1Ω

LED White LED Blue LED Red

LED White LED Blue LED Red

- Pridaj do diagramu zdroj napätia.
- Zapoj na kladný pól rezistor a pripoj ho vodičom.
- Do série s rezistorom zapoj sériovo dve biele LED diódy.
- Schému uzavri.
- Nastav odporu hodnotu 140Ω.
- Na kladný pól zdroja pripoj opäť odpor a za ním dve LED diódy, teraz však modré a schému uzavri. Takto vytvoríš paralelnú vetvu.
- Predradnému odporu modrých LED diód, nastav hodnotu 140Ω.
- Rovnako vytvor tretiu paralelnú vetvu pozostávajúcu z predradného odporu a dvoch LED diód teraz pre zmenu červených, a schému uzavri.
- Ich predradnému odporu nastav hodnotu 280Ω.

Legenda

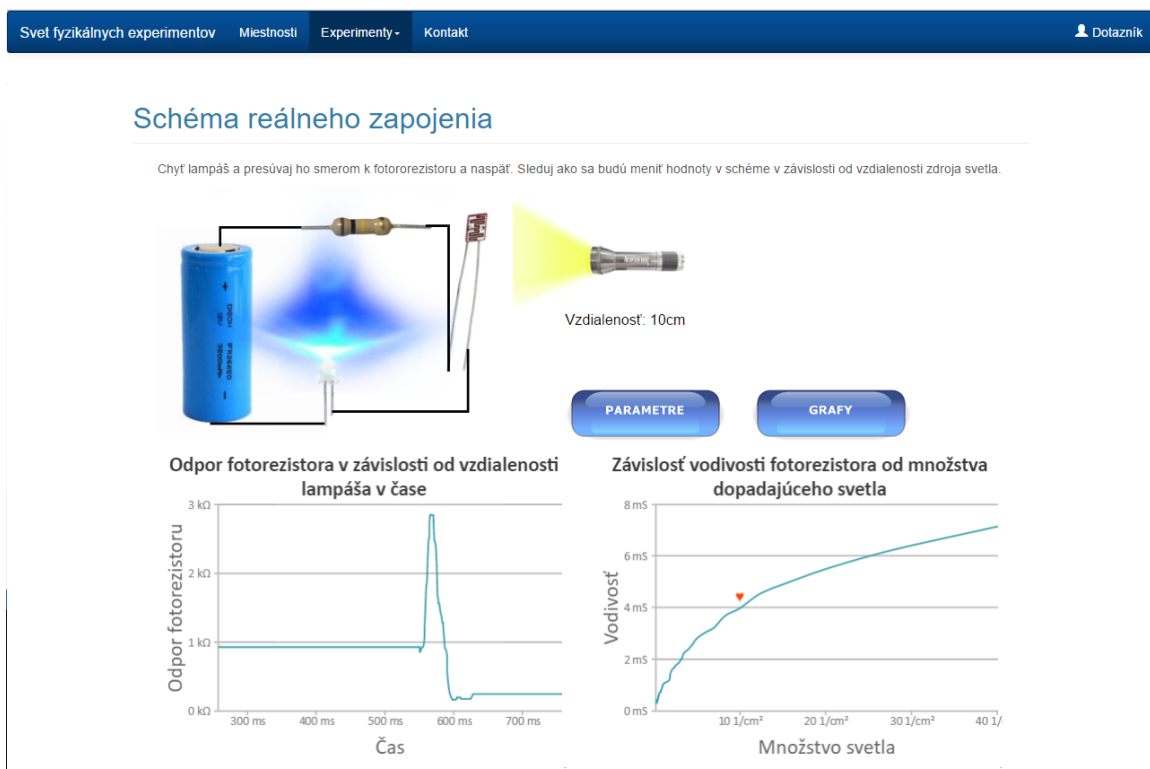
R Rotácia **Del** Mazanie
Vodiče vytvoríš tiahnutím medzi svorkami
Dvojklíkom na súčiastku jej nastaviš parametre

Obrázok 17. Ukážka aplikácie zmesi v LED, kde študent skladá určitú schému podľa interaktívneho návodu.

5.1.3 Pokus s fotorezistorom

Špecifikáciu tejto aplikácie sa nám podarilo splniť úplne. Experiment pokus s fotorezistorom vo veľkej miere čerpá z nameraných hodnôt z katedry experimentálnej fyziky, od pána doc. RNDr. Františka Kundracika, CSc., ktorým bol experiment skonštruovaný a testovaný. Pod jeho dohľadom vznikla táto moja aplikácia.

Aplikácia pozostáva z troch prvkov. Teórie ohľadom problematiky, zostavenia experimentu a vizualizácie experimentu. Teóriu sa nám podarilo zostručniť, aby sa študent dozvedel iba o tom, čím sa zaoberá. Pri zostavení schémy mu slúži interaktívny návod, ktorý ho vedie a usmerňuje a pri kroku nastavenia parametrov mu poskytne pomôcku, interaktívnu kalkulačku spolu so vzorcami, aby bol správne nasmerovaný. Pri správnom zostavení schémy sa študentovi zobrazí jeho schéma v osadení reálnych súčiastok spolu s lampášom, ktorý túto schému ovplyvňuje a vidí zmeny na parametroch číselne i graficky. Pri návrhu tejto aplikácie som sa držal špecifikácie a podarilo sa nám ju naplniť úplne. Na obrázku 18 vidíme vizualizačný krok experimentu pokus s fotorezistorom.



Obrázok 18. Ukážka aplikácie pokus s fotorezistorom, kde študent vizualizuje elektronický obvod, ktorý predtým poskladal

5.1.4 Kontakt

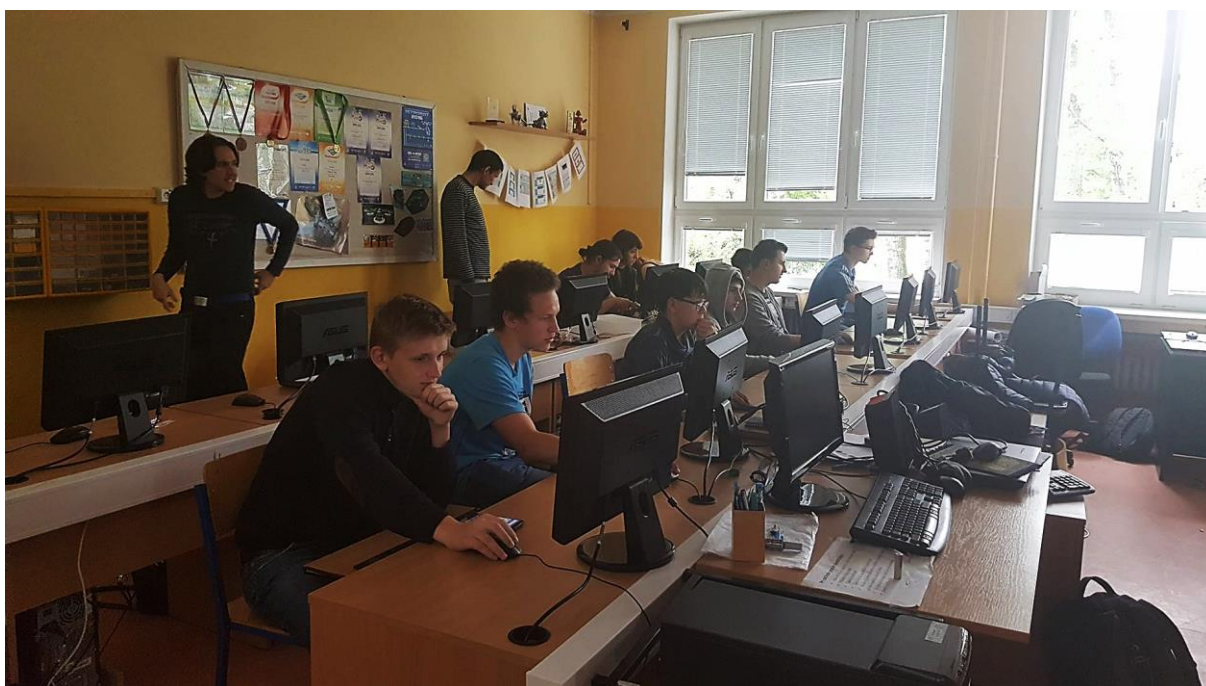
Nasledujúca implementácia taktiež naplnila špecifikáciu. Jej úlohou bolo skontaktovanie autora e-mailom za účelom rád pri pokusoch, prípadných otázok a ešte zaslanie formulára dotazníka spokojnosti ohľadom aplikácie. E-mail sa posielal pomocou funkcie mail() v PHP, ktorá ho odošle prostredníctvom programu postfix cez e-mailový relay server mail.dai.fmph.uniba.sk na KAI ďalej do internetu.

5.2 Používanie aplikácie

Aplikáciu možno používať po jej umiestnení na server. Vzhľadom k tomu, že nepoužíva databázu z dôvodu uložených dát v .json súboroch v aplikácií, nie je potrebné mať na serveri databázu pre fungovanie aplikácie. Kvôli odosielaniu e-mailov autorovi, treba mať na serveri nainštalované PHP. V prípade, že by chcel učiteľ, aby mu študenti posielali e-mail ako autorovi, keďže je moja webová aplikácia voľne dostupná, stačí v súboroch dotaznik.php a kontakt.php prepísať premennú „\$to = 'matej.kellner@gmail.com';“ za želaný e-mail. Posledná požiadavka pre správne fungovanie tejto webovej aplikácie, konkrétne aplikácie miestnosti, je potreba nainštalovania serverovej aplikácie node.js na server. Odporúčané spúšťanie tejto webovej aplikácie je prostredníctvom štandardných webových prehliadačov napríklad „Google Chrome“. Aplikácia využíva responzívny design „Bootstrap“, teda by mala byť bez väčších problémov dobre spustiteľná na mobilných zariadeniach ako smartfón, či tablet.

6. Testovanie

Aplikácia bola úspešne otestovaná na žiakoch spojenej školy sv. Františka z Assisi v Bratislave. Žiaci bez väčších problémov postupovali podľa pokynov aplikácie. Najprv si otestovali funkčnosť aplikácie miestnosti, ktorú hodnotili veľmi pozitívne. Neskôr z každého experimentu skúsili prejsť interaktívnu teóriu a potom prešli k praktickej časti. Po úspešnej praktickej časti sa plne venovali vizualizácií experimentov, ktoré si predtým poskladali. Najviac času študenti strávili skladaním skladačky, ktorú však s menšou pomocou zvládali. Napriek malým usmerneniam študenti úspešne vyriešili oba experimenty. Aplikácia sa im páčila ako po funkčnej, tak aj po dizajnovej stránke. Po testovaní som ich požiadal o vyplnenie online dotazníka, ktorý je súčasťou mojej aplikácie. V ňom mali študenti odpovedať na tri otázky. Čo sa im na aplikácii najviac páčilo, čo sa im naopak nepáčilo a čo by zmenili. Z vyplnených dotazníkov vyplynulo, že najviac sa študentom páčilo skladanie obvodov, interaktivita a vizualizácie. Študentom sa naopak nepáčila ovládateľnosť schém a niektorým aj kalkulačka, ktorá bola ako pomôcka pri riešení výpočtov. Odpoveďou na otázku čo by v aplikácii zmenili boli ovládateľnosť tvorenia schém elektronických obvodov, kalkulačku pre pomocné výpočty a audio komentár pre aplikáciu miestnosti.



Obrázok 19. Ukážka z testovania aplikácie v praxi, kde študenti riešia experimenty aplikácie

Z odozvy zo strany študentov som mal pozitívny dojem. Ich kritický pohľad na niektoré prvky aplikácie mi pomohol k lepšej orientácii, ako by sa dala aplikácia vylepšiť. Myslím, že ovládateľnosť aplikácie skladania elektronických obvodov mohla byť lepšie vysvetlená nejakým krátkym návodom. Ako vyplynulo, tak moja stručná pomôcka pre ovládanie tejto aplikácie bola až príliš stručná. Odpoveďou od jedného študenta, ktorý odpovedal na otázku dotazníka spokojnosti, že čo by na aplikácii zmenil bola: „Učebne by mohli mať aj audio komentár“. Táto myšlienka sa mi veľmi zapáčila z praktického hľadiska, aby aplikácia miestnosti mala aj túto funkcionality. Považujem tento výstižný ohlas za motiváciu pri rozšírení aplikácie, poprípade by sa mohla stať jedným z prvkov diplomovej práce.

7. Záver

Predmetom našej bakalárskej práce bolo vytvoriť výukový program, ktorý bude pomocou interaktívnych simulácií demonštrovať nejaké fyzikálne princípy, ktoré sú určené pre žiakov škôl s elektrotechnickým zameraním. Konkrétne sme si vybrali fyzikálne princípy elektronických súčiastok LED a fotorezistora, ktoré sú založené na polovodičovej báze. Pre každú zo súčiastok sme vytvorili samostatný interaktívny experiment. Interaktivita experimentov spočíva v okamžitom reagovaní na vstup užívateľa zmenou elementov a výpočtom nových výstupných hodnôt. Každý z experimentov obsahuje vlastnú teóriu, ktorá študentovi priblíži princíp fyzikálneho javu, ktorý sa tu odohráva a tým mu pomôže pri plnení neskorších praktických úloh a vizualizácie. Teória bola pre motivovanie študenta a lepšie pochopenie danej problematiky rozšírená o interaktívne prvky. Okrem experimentov bola aplikácia doplnená o nástroj pre demonštráciu elektronických obvodov spolu s popisom k nim, ktoré sa zdieľajú na diaľku. V danom nástroji si učiteľ vytvorí miestnosť, v ktorej bude demonštrovať daný obvod a všetci študenti, ktorí vstúpia do vytvorenej miestnosti môžu v reálnom čase sledovať jeho demonštráciu.

Všetky stanovené ciele sa nám podarilo splniť. Vytvorili sme webovú aplikáciu, ktorá interaktívne simuluje fyzikálne javy z elektrotechniky, kde žiakom umožňuje meniť vstupné parametre simulácie a tým mení výstupné hodnoty daných experimentov. Zároveň je aplikácia doplnená o nástroj, ktorý umožňuje učiteľovi vytvárať nové miestnosti pre demonštráciu elektronických obvodov. Aplikácia teda pozostáva z dvoch častí. Vytvárania nových miestností pre demonštráciu elektronických obvodov a dvoch interaktívnych experimentov. Pre korektné fungovanie aplikácie sa umiestnia zdrojové súbory aplikácie na akýkoľvek server s podporou Node.js. Zdrojové kódy našej aplikácie sú open-source a možno ich nájsť v elektronickej prílohe tejto práce. Aplikácia je prístupná aj na webovej stránke <http://kempelen.ii.fmph.uniba.sk/fyzika>, kde je možné ju vyskúšať.

Aplikácia, by mohla byť doplnená o ďalšie zaujímavé experimenty a fyzikálne princípy, keďže v oblasti fyziky je mnoho zaujímavých javov. Aplikácia je pripravená tak, aby bola do budúcnosti rozšíriteľná o ďalšie experimenty, ktoré by sa dali aj spolu s využitím elektronickej skladačky obvodov navrhnuť. Aplikácia by mohla byť rozšírená aj o administráciu a má veľký potenciál na rozšírenie tvorenia schém elektronických obvodov na diaľku s možnosťou ukladania a rozšírenia o audio komentár.

8. Použitá literatúra

- [1] B. Brestenská a kol.: Klasifikácia a hodnotenie edukačného softvéru, súčasť záverečnej správy o riešení úlohy štátneho výskumu. Využitie IKT technológií a sieťových platforiem novej generácie vo vzdelávaní, Asociácia projektu Infovek, 2005.
- [2] Sejš M. Výuková aplikácia demonštrujúca princípy v elektrických obvodoch (Bakalárska práca) FMFI UK Bratislava 2015
- [3] Jonis M. Výukový program demonštrujúci fyzikálny princíp (Bakalárska práca) FMFI UK Bratislava 2015
- [4] The Light Emitting Diode. Basic Electronics Tutorials. 1999 – 2016. Dostupné na: http://www.electronics-tutorials.ws/diode/diode_8.html Citované: 7.01.2016
- [5] EveryCircuit. MuseMaze, Inc. 2015. Dostupné na: <http://everycircuit.com/> Citované: 10.01.2016
- [6] W3schools JavaScript Tutorial. Refsnes Data. 1999 - 2016 Dostupné na: <http://www.w3schools.com/js/> Citované: 2.2.2016
- [7] CSS Bootstrap. Open-sourced framework by Twitter team. 2010 Dostupné na: <http://getbootstrap.com/> Citované: 10.2.2016
- [8] Node.js. Node.js Foundation. 2016 Dostupné na: <https://nodejs.org/en/> Citované: 10.2.2016
- [9] jQuery. The jQuery Foundation. 2016 Dostupné na: <https://jquery.com/> Citované: 10.2.2016

9. Prílohy

CD obsahujúce zdrojové kódy a súbory webovej aplikácie spolu s dokumentáciou potrebnou pre korektnosť vybraných experimentov