



České
vysoké
učení technické
v Praze

F3

Fakulta elektrotechnická
Katedra řídicí techniky

Bakalárska práca

Riadiaca jednotka svetelného zdroja pre fototerapiu

Annamária Miheličová

Vedúci práce: Ing. Jan Havlík, Ph.D.
Študijný program: Kybernetika a robotika
Máj 2021

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Miheličová** Jméno: **Annamária** Osobní číslo: **483455**
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**
Zadávající katedra/ústav: **Katedra řídicí techniky**
Studijní program: **Kybernetika a robotika**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Řídicí jednotka světelného zdroje pro fototerapii

Název bakalářské práce anglicky:

Control Unit for Phototherapy Light Source

Pokyny pro vypracování:

- 1) Seznamte se s problematikou fototerapie a možnostmi jejího využití v léčbě duševních onemocnění.
- 2) Navrhněte a realizujte řídicí elektroniku pro fototerapeutický světelný zdroj.
- 3) Ověřte funkčnost navrženého zařízení.

Seznam doporučené literatury:

- [1] Benedetti, F., Barbini, B., Colombo, C., & Smeraldi, E. (2007). Chronotherapeutics in a psychiatric ward. *Sleep Medicine Reviews*, 11(6), 509–522. <https://doi.org/10.1016/j.smrv.2007.06.004>
- [2] Cajochen, C., Freyburger, M., Basishvili, T., Garbazza, C., Rudzik, F., Renz, C., Kobayashi, K., Shirakawa, Y., Stefani, O., & Weibel, J. (2019). Effect of daylight LED on visual comfort, melatonin, mood, waking performance and sleep. *Lighting Research and Technology*, 51(7), 1044–1062. <https://doi.org/10.1177/1477153519828419>
- [3] Nussbaumer-Streit B, Forneris CA, Morgan LC, Van Noord MG, Gaynes BN, Greenblatt A, Wipplinger J, Lux LJ, Winkler D, G. G. (2019). Light therapy for preventing seasonal affective disorder. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD011269.pub3>. Thomas M. Penders, MS, MD; Cornel N. Stanciu, MD; Alexander [4] M. Schoemann, PhD; Philip T. Ninan, MD; Richard Bloch, PhD; and Sy A. Saeed, M. (2016). Bright Light Therapy as Augmentation of Pharmacotherapy for Treatment of Depression: A Systematic Review and Meta-Analysis. *THE PRIMARY CARE COMPANION FOR CNS DISORDERS*, 18(5).

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

Ing. Jan Havlík, Ph.D., katedra teorie obvodů FEL

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **20.01.2021**

Termín odevzdání bakalářské práce: **21.05.2021**

Platnost zadání bakalářské práce:

do konce letního semestru 2021/2022

Ing. Jan Havlík, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

prof. Ing. Michael Šebek, DrSc.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Mgr. Petr Páta, Ph.D.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Studentka bere na vědomí, že je povinna vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

_____ Datum převzetí zadání

_____ Podpis studentky

Podakovanie

Rada by som sa poďakovala Ing. Janovi Havlíkovi, Ph.D. za príležitosť byť súčasťou projektu, za podporu, trpezlivosť, odborné vedenie a pomoc pri realizácii práce. Zároveň moju veľú vďaku vyjadrujem mojej rodine, priateľovi a kamarátom za neútlachajúce slová povzbudenia počas celého štúdia.

Prehlásenie

Prehlasujem, že predloženú prácu som vypracovala samostatne a uviedla som všetku použitú literatúru a zdroje v súlade s Metodickým pokynom o dodržiavaní etických princípov pri príprave vysokoškolských záverečných prác.

Praha, 18. máj 2021

.....
Annamária Miheličová

Abstrakt

Farmakologická liečba duševných ochorení môže byť v budúcnosti podporovaná nefarmakologickým spôsobom liečby v podobe fototerapie. Práca obsahuje vysvetlenie tejto problematiky a jej účinnosť. Hlavným cieľom je predstaviť hardwarovú a softwarovú realizáciu riadiacej jednotky pre špeciálne navrhnutý fototerapeutický svetelný zdroj. Riadenie je realizované prostredníctvom DALI zbernice riadiacej predradníky vo fototerapeutickom svetle. Následne je implementovaná softwarová časť umožňujúca individuálne nastavenie terapie pre pacienta a zvolenie potrebného režimu. S vytvoreným zariadením je možné komunikovať prostredníctvom webového rozhrania vytvoreného na princípe asynchrónneho webservru.

Kľúčové slová: fototerapia, DALI, riadiaca jednotka, svetelná sauna, ESP8266

Vedúci práce: Ing. Jan Havlík, Ph.D.
FEL / Praha 6, Technická 2

Abstract

Pharmacological treatment of mental diseases can be supported by phototherapy as a non-pharmaceutical therapy in the future. This thesis includes an explanation of the above-mentioned problem and its effectiveness. The primary purpose of the thesis is to introduce hardware and software realization of the specially designed phototherapy unit control. Controlling of the device is constructed by using DALI bus controlled ballasts. Firmware was implemented to enable individual therapy settings for each patient and allow doctors to choose the required therapy mode for them. Communication with the unit control is provided by a web interface based on an asynchronous web server.

Keywords: light-therapy, DALI, control unit, light sauna, ESP8266

Title translation: Control Unit for Phototherapy Light Source

Obsah

1 Úvod	1	5 Návrh a realizácia riadiacej elektroniky pre fototerapeutický svetelný zdroj	19
1.1 Cieľ bakalárskej práce	1	5.1 Hardwarové riešenie	19
1.2 Motivácia	2	5.1.1 Mikrokontrolér ESP-8266	19
2 Fototerapia a jej využitie pri liečbe duševných ochorení	3	Wemos D1 mini	19
2.1 Vplyv osvetlenia na prirodzený biorytmus človeka	3	5.1.2 Rozhranie pre DALI zbernicu	21
2.2 LED osvetlenie a jeho účinky	4	5.1.3 Pripojenie riadenia ventilátorov a senzoru teploty	22
2.3 Fototerapia	5	5.1.4 Ventilátory ECblue	22
2.3.1 Bright-light therapy	5	5.1.5 Teplomer DS18B20	23
2.3.2 Hormóny melatonín a sérotonín	6	5.2 Softwarové riešenie	24
2.3.3 Sezónna afektívna porucha	7	5.2.1 Inicializačná časť softwaru	24
2.3.4 Prevedenie terapie oslnivým svetlom	7	5.2.2 Riadiaca časť softwaru	25
2.3.5 Bezpečnosť terapie a vedľajšie účinky	8	5.2.3 Inicializácia	25
3 Metodika práce	9	5.2.4 Slučka LOOP	27
3.1 Technológia terapeutického LED zdroja	9	5.2.5 Implementácia terapeutického režimu	28
3.1.1 Problém bežne dostupného svetla	9	6 Webové rozhranie	31
3.1.2 Unikátnosť plnospektrálneho LED svetla	10	6.1 Popis asynchrónneho webservru	31
3.2 Popis zariadenia	10	6.1.1 Implementácia	31
3.2.1 Svetelná sauna	11	6.2 Uživatelské rozhranie aplikácie	32
3.2.2 Rozdelenie svetelnej plochy sauny	12	7 Overenie funkčnosti zariadenia	35
3.2.3 Priebeh fototerapie v svetelnej saune	12	7.1 Laboratórne testovanie	35
3.2.4 Civilný režim osvetlenia	12	7.1.1 LED panely s DALI predradníkmi	35
3.2.5 Ďalšie režimy riadenia osvetlenia v saune	12	7.2 Testovanie v reálnych podmienkach	38
3.3 Mobilné jednotky	13	8 Záver	41
3.3.1 Svetelný kufor	13	Literatúra	43
3.3.2 Svetelná lampa	14	A Svetelná sauna	47
4 DALI	15	B Riadiaca jednotka	49
4.1 Úvod do systému DALI	15		
4.2 Základné parametre	15		
4.2.1 Kódovanie Manchester	15		
4.2.2 Princíp Master - Slave	16		
4.2.3 Formát paketu	16		
4.2.4 Formát adresy	17		
4.2.5 Formát dát	17		
4.2.6 Príkazy pre riadenie DALI zbernice	18		

Kapitola 1

Úvod

Na duševné ochorenia trpí v posledných rokoch vedome alebo nevedome čoraz viac ľudí. Napriek závažnosti tohto problému je táto téma v populácii vo veľkej miere stále tabu. Ľudia sú odkázaní na farmakologickú liečbu. Avšak s pokrokom technológií sa vytvárajú nové možnosti aj pri liečbe týchto ochorení. Jednou z nich je terapia vysoko oslnivým svetlom, známa pod názvom Bright-light therapy. Výrazné zlepšenie stavu pacienta sa dostaví po niekoľkých dňoch, pri najpopulárnejšej farmakologickej liečbe je rovnaký účinok po 6 týždňoch [1]. Okrem terapeutických účinkov má terapia svetlom význam aj pri prevencii pred depresiami, synchronizácii cirkadiálneho rytmu človeka a tvorby melatonínu a sérotonínu medzi zdravou populáciou.

V roku 2018 bola spoločnosťou Spectrasol vyvinutá špeciálna technológia terapeutického LED zdroja, ktorého jedinečnosť spočíva v zastúpení všetkých zložiek svetelného spektra. Neskôr prišiel projekt, ktorý sa zaoberá zapracovaním tohto unikátneho svetla do terapeutických metód s cieľom zefektívniť liečbu psychických porúch a v neposlednom rade aj ich samotnému zamedzeniu.

1.1 Cieľ bakalárskej práce

Cieľom tejto práce je navrhnúť a realizovať riadiacu elektroniku pre spomínaný fototerapeutický zdroj. Vytvorená elektronika má za úlohu riadiť osvetlenie v pomôckach určených na terapiu a na osvetlenie vnútorných priestorov. Navrhnutá elektronika sa bude nachádzať v troch rôznych zariadeniach, v svetelnej saune a mobilných jednotkách predstavujúcich svetelný kufor a lampu. Úlohou bolo vytvoriť jednotné riadenie fototerapeutického zdroja s dostatočne veľkou svetelnou plochou uplatniteľné v každom zo spomínaných zariadení, avšak s miernymi zmenami pre jednotlivé účely. Táto práca sa zaoberá kompletným vývojom riadenia elektroniky pre svetelnú saunu predstavujúcu svetelnú komoru, ktorá je v čase vývoja umiestnená v Národnom ústave duševného zdravia (NUDZ) v Klecanoch.

Hardwarové prevedenie elektroniky je vytvorené pomocou DALI zbernice riadiacej predradníky umiestnené v saune. Okrem DALI zbernic k hardwarovému návrhu patrí pripojenie ventilátorov na chladenie zariadenia a teplomer na snímanie teploty ochladzovaných predradníkov. Softwareová časť má za úlohu riadenie jednotlivých príkazov na nastavenie a reguláciu osvetlenia. Ďalšou časťou je navrhnuté webové rozhranie vytvorené pomocou asynchronného webserveru. Na základe tejto aplikácie je umožnené zdravotníckemu personálu nastaviť potrebnú terapeutickú liečbu individuálne pre každého pacienta.

■ 1.2 Motivácia

Možnosť podieľať sa na tomto projekte je pre mňa výzvou a motiváciou zároveň. Výzvu pre mňa predstavovala práca s novými prvkami, s ktorými som sa počas svojho štúdia nestretla, ako napríklad tvorba webového rozhrania, či komplexný vývoj zariadenia. Mojou hlavnou motiváciou bola predstava pomoci ľuďom zlepšovať ich zdravotný stav a byť pri zrode terapeutických pomôcok od ich návrhu až po uchopiteľný výsledok. Oblasť vývoja lekárskej techniky ma nadchla a chystám sa týmto odborom zaoberať aj vo svojej budúcnosti.

Kapitola 2

Fototerapia a jej využitie pri liečbe duševných ochorení

Duševné ochorenia majú v posledných rokoch rastúcu tendenciu. Trpí nimi čoraz väčšia časť populácie a je nevyhnutné ich liečiť. Jednou z hlavných príčin je prostredie, v ktorom ľudia trávajú väčšinu svojho dňa. V uzavretých priestoroch je nedostatok vhodného osvetlenia spôsobujúceho narušenie biorytmu človeka. Pri hľadaní terapeutických riešení bolo zistené, že oslnivé svetlo je vhodným prostriedkom pri liečbe duševných ochorení. Správne načasovanie fototerapie podporuje tvorbu hormónov melatonínu a sérotonínu, ktoré riadia vnútorné hodiny človeka.

Táto kapitola sa zaoberá vplyvom osvetlenia, nežiadúcimi účinkami nedostatočného svetla na cirkadiálny systém človeka, objasňuje princíp fototerapie, jej účinky pri liečbe chorôb, ako napríklad sezónna afektívna porucha a bezpečnosť samotnej terapie.

2.1 Vplyv osvetlenia na prirodzený biorytmus človeka

Osvetlenie je bežnou súčasťou nielen domácností, ale aj priemyselných budov a pracovísk, v ktorých ľudia trávajú čas. Svietidlá priamo vplývajú na cirkadiálny rytmus človeka. Z dlhodobého vývoja je zrejmé, že ľudské telo a zrak sa musia prispôbovať na menej svetla počas dňa a naopak viac svetla počas noci, čo spôsobuje rôzne poruchy ľudského biorytmu. Slabé osvetlenie pri práci spôsobuje väčšie namáhanie očí, ospalosť, rôzne druhy bolesti hlavy, ktoré môžu byť spúšťačom ďalších nervových či psychických ochorení. V najhoršom prípade môže dôjsť k syndrómu vyhorenia [2] alebo až k strate zraku. [3]

Výsledky štúdie [4] dokazujú, že pracovníci, ktorí mali svoje pracovisko v blízkosti okien s dostatkom denného svetla či osvetlenia, vykazujú lepšiu fyzickú aktivitu a väčšiu kvalitu spánku oproti ľuďom, ktorých pracovisko nebolo osvetlené. U týchto ľudí sa vyskytli psychické problémy, menšia životná vitalita a horší spánok. Dôležitý aspekt, ktorý je potrebné brať do úvahy je to, že nedokážeme denným svetlom osvetliť každú pozíciu v miestnosti, kde sa človek nachádza a tým zaistiť rovnaké podmienky. Vytvoriť rovnaké prostredie počas dňa vplyvom denného svetla a umelého osvetlenia je sťažené zmenou miery intenzity slnečného žiarenia dopadajúceho do miestnosti. [2]

Vplyv osvetlenia na zdravie je pre verejnosť viditeľná aj na základe vlastnej nálady počas jednotlivých ročných období. Už po týždni je možné pozorovať zmeny v časovej synchronizácii denného rytmu. Posunutie hodín v tele človeka má za dôsledok zníženú mieru regenerácie, zvýšený pocit únavy a ospalosť. Sú to nepatrné zmeny, ktoré majú na svedomí zhoršenie psychického zdravia človeka. Tieto skutočnosti sú časté dôsledky nevhodnej svetelnej hygieny

interpretované ako iná príčina. [1]

Na základe tohto problému je potrebné vyvinúť osvetlenie, ktoré sa bude meniť spoločne so slnečným svitom. Ľudia, ktorí pracovali, či trávili časť svojho dňa pod týmto osvetlením mali lepšiu náladu, spánok a zachovali si svoj cirkadiánnu rytmus [2].

2.2 LED osvetlenie a jeho účinky

Svietenie pomocou LED osvetlenia je stále na začiatku rozvoja v porovnaní s inými druhmi osvetlenia, ktoré sú známe a používané niekoľko desiatok rokov. V procese vývoja tohto osvetlenia je dôležité dbať aj na svetelný dopad a jeho účinky na človeka už v počiatočnom štádiu, aby bolo možné predísť nežiadúcim účinkom, ktoré umelé osvetlenia spôsobujú. Príliš jasné LED osvetlenie môže spôsobiť bolesť hlavy, očí a v niektorých prípadoch epileptické záchvaty. Na druhej strane je treba podotknúť, že oproti iným konvenčným osvetleniam má LED osvetlenie hneď niekoľko výhod. Pre ľudí je menej toxické, emituje malé alebo takmer žiadne UV žiarenie, negeneruje elektrické alebo magnetické pole, ktoré je pre ľudstvo škodlivé. [3] Toto sú jedny z hlavných dôvodov, prečo je výhodné zaradiť LED osvetlenie do domácností, či pri navrhovaní priemyselných budov. Pri správnom zastúpení jednotlivých zložiek farebného spektra dokážeme využiť jeho kladné vlastnosti a tak prispieť k zníženiu rizika duševných, ale aj telesných ochorení a problémov.

Posledné pokroky polovodičových LED technológií nám umožňujú vytvoriť vyššie spomínaný efekt prispôsobenia sa dennému osvetleniu pre danú geolokáciu, či sledovať dynamiku slnečného osvetlenia počas pracovného dňa a na základe toho vytvoriť ideálne podmienky pre zachovanie ľudského biorytmu [2].

Ľudské oko sa dokáže v krátkom čase adaptovať na rôzne úrovne osvetlenia. Po prispôbení sa na určitý jas je schopné rozoznávať predmety. Nadmerné úrovne jasů a osvetlenia môžu viesť k oslneniu, ktoré pri dlhšom vplyve spôsobuje poruchy videnia. Okrem toho, nesprávne nastavené osvetlenie vedie k bolestiam hlavy, migrénom, zmenám nálad alebo ovplyvňuje duševnú rovnováhu človeka.

Ďalším problémom, na ktorý je treba brať ohľad pri svietení extrémne žiarivým osvetlením, je takzvané blikanie. Počas krátkeho okamihu pod takýmto svetlom nemusí byť tento jav vôbec zaznamenaný, čo je individuálnou záležitosťou každého človeka. Viac senzitívny jedinci si tento jav všimnú po relatívne krátkej dobe, na iných to nemusí vedome vplývať. Existuje prahová hodnota kritickej frekvencie blikania, nad ktorou ľudské oko už spomínané blikanie nevníma. [3] Na základe výskumu bolo zistené, že tento problém spôsobuje frekvencia okolo 60 Hz a menej. Veľmi vysoká detekcia blikania je na medziach 50 Hz až 60 Hz, pričom nad úrovňou 100 Hz a viac je tento úkaz takmer nepozorovateľný. [5] Hoci senzitívni ľudia nezaznamenávajú nad touto úrovňou problém s blikajúcim LED osvetlením, stále môže negatívne vplývať na celkovú rovnováhu človeka.

Bežne dostupné osvetlenia tohto druhu spôsobujú v určitej miere blikanie. Jeho intenzita závisí od zariadenia, ktoré riadi LED osvetlenie. U týchto komerčne dostupných zariadení je to možné tento jav sledovať najmä pri pomalom postupnom zhasínaní, či rozsvetovaní. Pre minimalizáciu blikania je vhodné použiť dostatočné množstvo napájania a vysokofrekvenčný predradník, ktorý produkuje zníženú percentuálnu moduláciu svetelného výkonu. [3]

Problémy nadmerného osvetlenia a blikania sú pri LED osvetleniach jednoducho riešiteľné. Malé, jednotlivé LED spôsobujú veľmi žiarivé osvetlenie, preto je potrebné dbať na správnu intenzitu a umiestnenie takéhoto svetla. Odporúča sa ich umiestňovať do svietidiel, ktoré obsahujú tieniace prvky alebo použiť difúzory. Difúzory rozptýlia svetlo do priestoru a mierne stlmia ich intezitu. Dôležité je, aby LED osvetlenie nebolo umiestňované pred človeka, ale vytváralo pomocou stienenia dostatočné osvetlenie miestnosti, ktoré na základe svojich vlastností umožňuje dostatočne a vhodne presvetliť priestor.

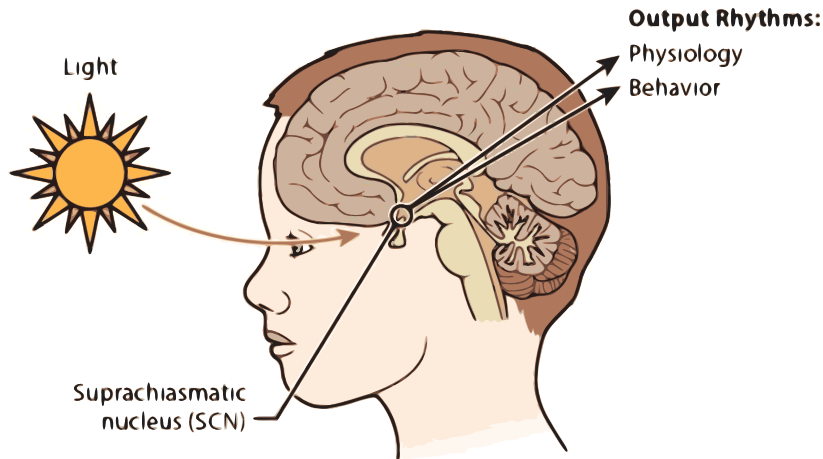
2.3 Fototerapia

Dostatok jasného alebo slnečného svetla je vysoko účinná liečba a prevencia pred depresívnymi poruchami. Ukázalo sa, že účinky tejto liečby sa dostavili a zlepšili stav pacienta už po niekoľkých dňoch. Pri najpopulárnejšej liečbe antidepresívami sa tento stav dostaví v priemere po 6 týždňoch. [1] Dôležité je pripomenúť, že fototerapia má minimálne nežiadúce účinky. Liečba je účinná v 70 % – 90 % prípadoch ochorenia sezónnej afektívnej poruchy (SAD). Okrem toho sa preukázali jej pozitívne dopady pri liečbe veľkej depresívnej poruchy spoločne s antidepresívami alebo bipolárnej depresii nesezónneho charakteru. Fototerapia je vhodná počas tehotenstva ako prevencia popôrodných depresí, jej samostatnej liečby, pri poruchách spánku, či nespavosti.

2.3.1 Bright-light therapy

Terapia oslnivým svetlom vznikla ako efektívny spôsob úpravy narušeného cirkadiálneho rytmu a liečby ťažkých psychických porúch. Najprv slúžila na liečbu sezónnej afektívnej poruchy zimného typu. Táto porucha vzniká ako dôsledok nedostatku prirodzeného svetelného žiarenia. Neskôr boli zistené aj priaznivé účinky pri liečbe chronickej depresie, antepatrálnej depresie, bipolárnej depresie či porúch spánkového cyklu. Oslnivé svetlo má okrem terapeutických účinkov na jedincov trpiacich depresiami aj pozitívny vplyv na zdravú časť populácie. Na základe výskumov za posledných niekoľko rokov boli zistené efektívne účinky pri resynchronizácii biologických hodín, zvýšenie bdelosti, zlepšenie spánku a pôsobenie sérotonínu [6].

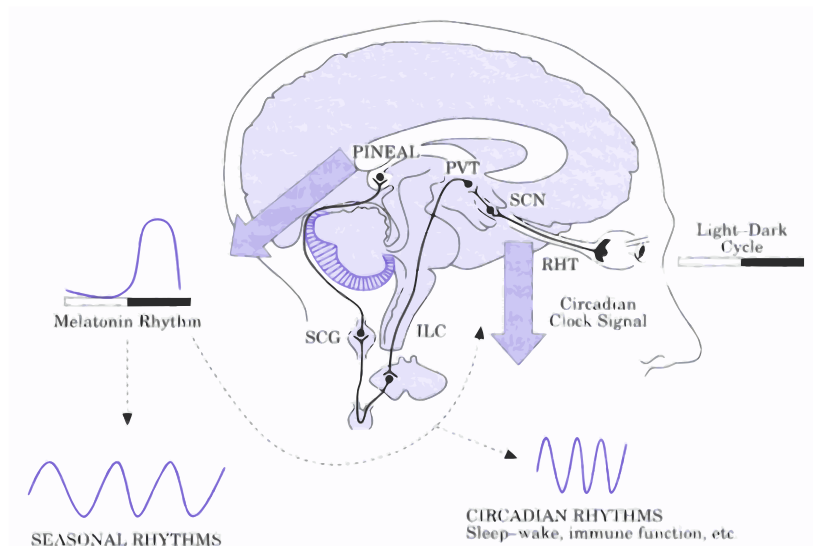
Ludské telo je riadené hodinami nazývanými suprachiasmatic nucleus (SCN, viz obrázok 2.1). Táto oblasť mozgu zodpovedá za fyziologické funkcie ako sú hormóny, spánok či telesná teplota. Nachádza sa v hypothalamuse, slovensky podlôžko. [7] SCN je dôležitou súčasťou ľudského tela, obsahuje približne 10 000 neurónov, ktoré sa nachádzajú v prednom hypothalamuse. Je tiež zodpovedný za riadenie funkcií cirkadiálneho rytmu, aj keď sú úplne izolované od zeitgeberov (bilogické hodiny, ktoré synchronizujú biologický rytmus). [8] Cirkadiálny systém je primárne riadený svetlom, ktoré zachytáva zeitgeber. Informácie o priebehu dňa sa do mozgu dostávajú cez sietnicu, ktorá obsahuje melanopsín, čo je typ proteínu. Následne je informácia o prísune svetla prenesená pomocou retino-hypotalamického traktu (RHT) do SCN. [9]



Obrázok 2.1: Zobrazenie umiestnenia SCN v mozgu človeka [10]

2.3.2 Hormóny melatonín a sérotonín

Melatonín je centrálny hormón, ktorý riadi ľudské hodiny. Vzniká a vylučuje sa počas takzvanej tmavej časti denného cyklu. Primárnou funkciou tohto hormónu je sprostredkovať informácie týkajúce sa denného cyklu do všetkých buniek spôsobom zobrazeným na obrázku 2.2. Melatonín vzniká a distribuuje sa do buniek prijatím svetelnej informácie, ktorá je poslaná cez RHT do SCN. V SCN je prijatá aktivita synchronizovaná s cirkadiánnym oscilátorom, ktorý má presne 24 hodín. Zosúladená informácia sa pomocou neurónov prenesie do celého mozgu, zahrňujúceho oblasť epifýzy (pineal), ktorý riadi melatonínový rytmus. Následne, okrem distribúcie melatonínu do všetkých buniek tela, sú informácie vrátené späť do SCN, kde sú využité pre cirkadiánnu cyklus, ktorý ovplyvňuje spánkový rytmus, emócie či imunitný systém. [11]



Obrázok 2.2: Distribúcia melatonínu prenášajúca fotoperiodickú informáciu [11]

Melatonín pred samostaným roz distribuovaním do buniek v tele vzniká premenou predchádzajúceho dôležitého hormónu sérotonínu. Hormón sérotonín sa okrem iných miest v ľudskom

tele nachádza aj v centrálnej nervovej sústave (CNS). Na tomto mieste je zodpovedný za zmeny nálad, správania sa a správnu funkciu cirkadiálneho rytmu počas celého roka. Na rozdiel od iných orgánov obsahujúcich sérotonín, CNS je schopná prijímať tento dôležitý hormón len z dostatočného svetelného žiarenia. To spôsobuje jeho klesajúcu hladinu počas zimného obdobia, kedy organizmy v tejto fáze roka pociťujú najväčší svetelný deficit. Nedostatok sérotonínu spôsobuje zmeny nálad, správania a zvýšenu agresivitu aj u zdravých ľudí. Pacientom s duševnými chorobami spôsobuje ťažké depresie, stavy úzkosti a spúšťa sezónnu afektívnu poruchu (SAD).

2.3.3 Sezónna afektívna porucha

SAD je ochorenie, ktorým trpí určitá podskupina pacientov postihujúcich duševné ochorenia. Pacienti majú bipolárne, či unipolárne poruchy, čo znamená, že počas letných dní sa prejavujú manické stavy a v zimnom období stavy úzkosti. Najčastejší typ tejto poruchy je jesenno-zimná depresia. Táto porucha je v populácii častá. Udáva sa, že na ňu trpí 0,4 % – 16 % svetového obyvateľstva. Hodnoty ľudí trpiacich na toto ochorenie sa líši podľa spôsobu diagnostiky, veku, pohlavia. [6].

Najčastejšími symptómami, ktoré sprevádzajú toto ochorenie, sú zlá nálada, nízka životná energia a nezáujem o svoj a okolitý svet. Depresívne obdobie sužuje pacientov každý rok v rovnakom čase na určitý časový úsek. U väčšiny sa prejavuje hypersomniou, naberaním na váhu, zvýšenou chuťou do jedla a agresiou. [9]

Z výsledkov článku [12] plynie, že je úzka spojitosť medzi dostatočne oslnivým svetlom a postačujúcou tvorbou melatonínu potrebného na zmiernenie priebehu SAD. Štúdia [13] je založená na tom, že autori spomínaného článku sa pokúsili o udržanie vysokej hladiny melatonínu počas dňa, čím predĺžili jeho nočné vylučovanie a fázové oneskorenie uvoľňovania. Na základe posúvania sekrécie melatonínu odhalili, že silné ranné svetelné žiarenie môže zlepšovať prejavy duševných ochorení a porúch.

2.3.4 Prevedenie terapie oslnivým svetlom

Terapia oslnivým svetlom je spôsob nefarmakologickej liečby ochorenia duševne chorého pacienta. Princípom liečby je osvetľovanie pacienta dostatočne silným svetlom. Rovnako ako pri liečbe iných ochorení, aj v tejto oblasti existuje množstvo komerčne dostupných prístrojov, ktoré sú schopné dosahovať 5 000 lx – 10 000 lx. Pri týchto svetlách je výrobcami odporúčané pozeráť priamo do svetelného zdroja, čo môže spôsobiť rôzne iné zdravotné problémy, ako bolesti hlavy, či migrény. Tieto ťažkosti spôsobujú namáhanie očí, ktorých častou príčinou je vysoký kontrast medzi okolím a svetelným zdrojom. Zdroj svetla je príliš malý a nevytvorí dostatočne veľkú osvetlenú plochu spôsobujúcu plynulý prechod medzi jednotlivými intenzitami osvetlenia priestoru.

Pri terapii oslnivým svetlom je dôležité dodržiavanie určitých podmienok zo strany pacientov pre správne a účinné prevedenie liečby. Intenzita osvetlenia je stanovená na 10 000 lx po dobu približne 30 minút. Zdroj svetla nemusí byť v úrovni očí pacienta. Svetlo by malo na sietnicu liečenej osoby dopadať pod uhlom 30° – 60°. Okrem správneho nastavenia terapeutického priebehu osvetlenia je vhodné, aby pacienti podstupovali liečbu v ranných a doobedných hodinách, pretože sa tým zvyšuje účinok osvetlenia na pacienta, ktorý dokáže v kratšom čase zmierniť priebeh ochorenia. Efekt terapie oslnivým svetlom vo vysokom štádiu psychických ochorení po skončení liečby nemusí pretrvávať. Na základe tohoto faktu je dôležitým faktorom

podchytenie depresí a iných ochorení v počiatočnom štádiu. V tomto prípade má terapia vyššiu pravdepodobnosť účinku, zníženie rizika a prevencie pred ťažkým priebehom ochorenia. [9]

Pri slabšej intenzite svetla je potrebné zvyšovať čas strávený pod týmto svetlo. Pri hodnote 2 500 lx je to 2.5 hodiny denne a pri 5 000 lx, 1 hodina počas dňa. Všeobecne sa prvé výsledky terapie oslnivým svetlom dostavia v rozmedzí 2 - 3 týždňov. [6] Štúdia [14] zistila, že je nutné ľudí liečených oslnivým svetlom osvecovať pravidelne v rovnakom čase. Táto skutočnosť je v zmieňovanom článku prirovnávaná k podávaniu antidepresív, ktoré je potrebné užívať v zhodnú dobu.

■ 2.3.5 Bezpečnosť terapie a vedľajšie účinky

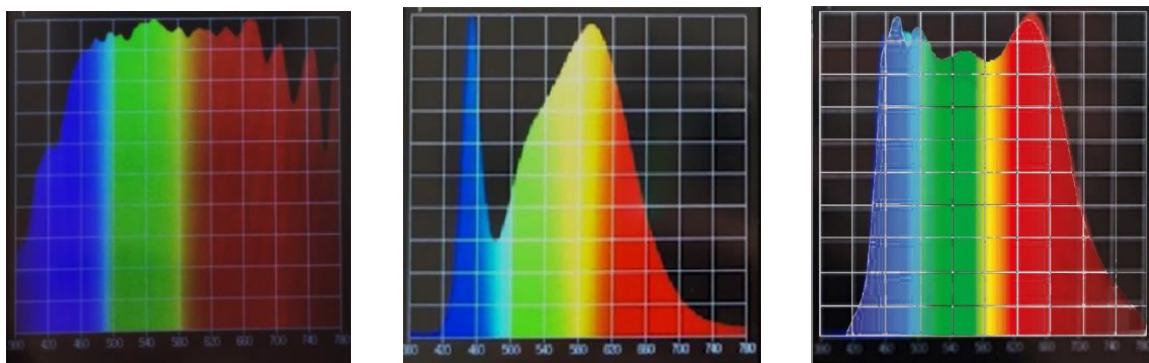
Pacientmi je uvádzané, že terapia je všeobecne veľmi dobre znášaná a akceptovaná. Možné vedľajšie účinky existujú, ale sú zriedkavé. Najčastejšie uvádzaná je bolesť hlavy, pocit namáhaných očí, nevoľnosť a zvýšená nervozita. V niektorých prípadoch je potrebné podstupovať terapiu oslnivým svetlom vo večerných hodinách. Títo pacienti udávali ako najčastejší vedľajší účinok zhoršený spánok. Nevyhnutné je poznamenať, že terapia takto oslnivým svetlom musí byť nariadená a schválená lekárom. [9] Účinky na každého pacienta môžu byť rôzne, liečba je prispôbovaná každému pacientovi individuálne a je nevyhnutné predtým konzultovať zdravotný stav liečenej osoby s odborníkom.

Kapitola 3

Metodika práce

3.1 Technológia terapeutického LED zdroja

Špeciálna technológia fototerapeutického zdroja použitá na liečbu duševného ochorenia bola vyvinutá pánom Hynkom Medříckým v roku 2018. Svetelný zdroj predstavuje vyvážené farebné spektrum, ktoré svojím zložením pripomína slnečnú letnú oblohu. Pre lepšiu predstavu je spektrum zobrazené na obrázku 3.1c.



(a) : Spektrum slnečného svetla na poludnie

(b) : Spektrum bežnej neutrálnej bielej LED

(c) : Plnospektrálna LED

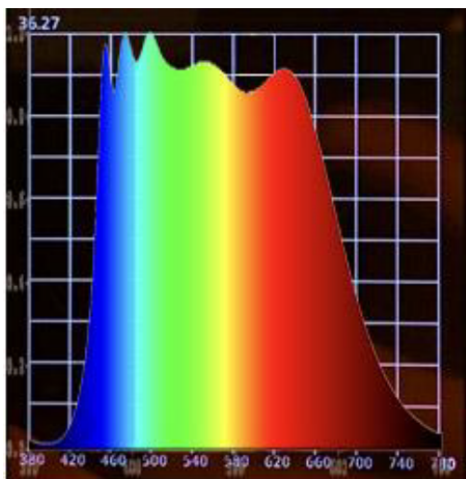
Obrázok 3.1: Zobrazenie prirodzeného a umelého svetelného spektra, zdroj [1]

Význam jednotlivých svetelných spektier zobrazených na obrázku 3.1 je nasledujúci. Spektrum zobrazené na 3.1a predstavuje slnečné svetlo, ktoré má farebnú teplotu (CT) približne 5500 K a priemernú hodnotu indexu farebného vyjadrenia (CRI Ra) 100. Bežné LED osvetlenie na obrázku 3.1b má korelovanú farebnú teplotu (CCT) 4500 K a jej CRI Ra je viac než 80. Plnospektrálna LED zobrazená na obrázku 3.1c má hodnotu CCT 5500 K a CRI Ra predstavuje dosah väčší než 90. [1]

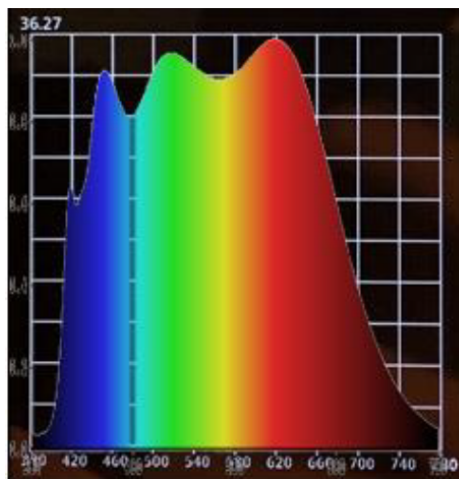
3.1.1 Problém bežne dostupného svetla

Staršie svietidlá žiarivkového pôvodu majú vysokú svietivosť, ale nedostatočné spektrum. Z toho dôvodu sa začalo využívať LED osvetlenie na princípe GaN. Problém, ktorý nastáva pri tomto LED osvetlení je možné pozorovať na obrázku 3.1b. V oblasti 470 nm — 500 nm nastáva obrovský prepád. Spomínaná škála predstavuje azurovú farbu svetelného spektra, ktorá je citlivou oblasťou pri vnímaní svetla a jej nedostatok môže spôsobovať zrakové problémy.

Tento problém sa pokúšala vyriešiť spoločnosť Seoul Conductor, ktorá posunula špičku svetelného spektra do kratších vlnových dĺžok a tým vytvorila rovnomerné spektrum zobrazené na obrázku 3.2b. Avšak, okrem rovnomerného svetla, vznikli aj vlnové dĺžky s dĺžkou kratšou ako 450 nm a tým bolo znemožnené používanie vytvoreného osvetlenia pri fototerapii. Posun by mohol spôsobiť vážne poškodenie očného pozadia kvôli potrebe vysokého osvetlenia využívaného pri fototerapii. [1]



(a) : Svetelné spektrum vyvinuté firmou Spectrasol (zakladateľ: Hynek Medřický)



(b) : Svetelné spektrum vyvinuté firmou Seoul Conductor

Obrázok 3.2: Zobrazenie svetelného spektra firmy Spectrasol (ČR) a Seoul Conductor (Južná Kórea) pre porovnanie azúrovej oblasti a vlnových dĺžok, zdroj [1]

3.1.2 Unikátnosť plnospektrálneho LED svetla

Unikátnosť svetla firmy Spectrasol zobrazeného na obrázku 3.2a spočíva v rovnomernom rozložení farebného spektra. Na spomínanom obrázku je možné pozorovať, že farebné spektrum je v rozmedzí 450 nm – 650 nm rovnomerne rozložené bez prepadu v azúrovej oblasti, ktorá je pre liečebné potreby nevyhnutne dôležitá. Technológia pripomína spektrum slnečného žiarenia vďaka vyššiemu zastúpeniu vlnových dĺžok v oblasti 460 nm – 500 nm. [1]

3.2 Popis zariadenia

Tento unikátny plnospektrálny zdroj svetla, ktorého návrhom riadiacej elektroniky sa bude zaoberať táto práca je umiestnený v spomínaných zariadeniach. Úlohou je nájsť spôsob riadenia vhodný pre všetky prístroje, ktorý sa bude líšiť potrebným škálovaním a miernymi zmenami, aby zariadenia spĺňali svoj účel. Každý produkt bude v nasledujúcej časti popísaný samostatne, aby bolo možné ukázať funkčnosť jednotlivých zariadení.

Začneme svetelnou saunou, ktorej prvý návrh je už momentálne testovaný v NUDZ v Klecanoch. Ďalšími produktami, ktoré budú využívať navrhnuté riadenie, sú mobilné zariadenia svetelný kufor a lampa vyvinuté v najbližšom období.

■ 3.2.1 Svetelná sauna

Svetelná sauna, zobrazená na obrázku 3.3, umožňuje terapeutickú liečbu pacientom nachádzajúcich sa v ústave disponujúcim týmto zariadením. Je to samostatne stojací objekt o rozmeroch $3 \times 3 \times 3$ m umožňujúci emitovať vysokú intenzitu svetelného osvetlenia využívajúci plnospektrálne LED. Úlohou bolo vytvoriť riadiacu elektroniku fototerapeutického zdroja, ktorá bude lekárskeму personálu pomáhať liečiť duševné ochorenia pacientov. Na základe umiestnenia predradníkov v saune bolo potrebné prispôsobiť riadenie jej osvetlenia. Z tohto dôvodu bola využitá technológia riadenia osvetlenia podporovaná DALI zbernicami, ktorých funkcionality je popísaná v kapitole 4.



Obrázok 3.3: Vizualizácia svetelnej sauny, autor: UCEEB ČVUT

Sauna, ktorá je počas vývoja umiestnená na chodbe neprístupnej pre verejnosť v Národnom ústave duševného zdravia, je prototyp zariadenia určeného pre rannú alebo dennú fototerapiu. Liečba je prevádzaná pod dohľadom lekára, ktorý túto liečbu pacientovi odporučí. Mobilná miestnosť je vhodná pre 1 - 4 pacientov.

Pre maximalizovanie účinku fototerapie je využitý všetok priestor ako svetelná plocha. Z dôvodu vytvorenia efektívnejšej simulácie dennej oblohy pre fototerapeutický režim a jednoduchšie riadenie osvetlenia je rozdelený do dvoch častí, na strop a predný panel.

Pacient, ktorý využíva svetelnú saunu pre terapeutické účely, sa posadí na sedačku. Personál zodpovedný za ovládanie sauny mu pomocou webovej aplikácie spustí terapiu. V aplikácii je možné nastaviť intenzitu svietivosti a čas, ktorý má pacient stráviť pod silným svetelným zdrojom.

■ 3.2.2 Rozdelenie svetelnej plochy sauny

Svetelná plocha je rozdelená do dvoch skupín. Jedna skupina predstavuje strop sauny a druhá predný panel. Toto rozdelenie bolo potrebné urobiť, aby sa splnili požiadavky na terapeutický a civilný režim a režim Mraky (Clouds). Každý predradník, ktorý sa podieľa na riadení osvetlenia sauny je inicializovaný na náhodne pridelenú adresu. Adresa sa prideliuje na základe automatického generovania čísel predstavujúcich adresy pomocou DALI zbernice. Na každú vyslanú adresu sa prihlási práve jeden predradník bez pridenej adresy. Po pridelení už nereaguje na možnosť získania adresy. Vyslaním signálu sa prihlásia tie, ktoré ešte nemajú adresu. Ak sa o adresu neprihlási už žiaden predradník, DALI zbernica vyhodnotí, že všetky predradníky už majú pridelenú krátku adresu určenú ku komunikácii a proces ukončí.

Na strope je umiestnených 20 svetelných panelov obsahujúcich celkovo 40 predradníkov s číslami 0 - 39. Predný panel obsahuje 10 svetelných panelov s pridelenými hodnotami od 40 - 59. Čísla od 0 - 39 sú pridelené skupine 0 a čísla 40 - 59 sú skupina 1. Pomocou využitia DALI technológie je možné so skupinami pracovať ako s celkom, vysielat pre danú skupinu hromadný príkaz pre všetky predradníky a jednoduchým spôsobom ovládať jednotlivé režimy.

■ 3.2.3 Priebeh fototerapie v svetelnej saune

Miestnosť, v ktorej sa sauna nachádza má oveľa nižšiu intenzitu osvetlenia, než samostatná sauna v terapeutickom režime. Pre pohodlnú a pomalú adaptáciu pacienta trvá nábeh terapeutického režimu približne 30 sekúnd postupným zvyšovaním intenzity svetla v saune. Po uplynutí času terapie sa postupne vypína terapeutický režim po dobu asi 2 sekúnd. Pomalé vypínanie slúži, rovnako ako v prípade nábehu terapeutického režimu, k plynulej adaptácii na menej intenzívne svetlo.

Pokiaľ je pred spustením terapeutického osvetlenia zapnuté civilné osvetlenie, terapeutické osvetlenie sa spustí od jeho intenzity do intenzity požadovanej pre terapiu. Po vypršaní času pre liečbu sa intenzita svetla vráti naspäť do civilného osvetlenia.

■ 3.2.4 Civilný režim osvetlenia

Civilný režim osvetlenia je možné ovládať len v prípade administrátorského práva prístupu do aplikácie určenej na ovládanie riadenia osvetlenia. Podobne, ako terapeutický režim, obsahuje možnosť nastavenia intenzity svietivosti svetla. Tento režim bol vyvinutý pre popoludňajšie využitie priestorov sauny alebo v prípade nevyužívania týchto priestorov pre terapeutické účely. Vďaka plnospektrálnemu LED osvetleniu má aj civilný režim priaznivé účinky na ľudí zdržiavajúcich sa v saune, napríklad počas pracovných povinností alebo čakania na ošetrenie. Vo vývojovej fáze bolo civilné osvetlenie riadené skupinou ovládajúcou strop sauny. Neskôr, pre priaznivejší efekt osvetlenia, sa civilný režim rozšíril aj na predný panel.

■ 3.2.5 Ďalšie režimy riadenia osvetlenia v saune

Okrem civilného a terapeutického režimu existuje ďalší režim pre riadenie osvetlenia v saune, nazývaný Mraky alebo aj Clouds. Účelom je navodiť atmosféru pripomínajúcu letnú oblohu s prechádzajúcimi mrakmi a tým, čo najlepšie simulovať prirodzenú atmosféru vonkajšieho osvetlenia. Tento režim využíva rozdelenie svetelnej plochy na dve časti a je ho možné spustiť len počas terapeutického režimu.

Režim mraky obsahuje dva algoritmy vyvolávajúce požadovaný stav. Pri tvorbe tohto režimu sa pracuje so skupinou predradníkov určenou pre strop. Pomocou DALI zbernice je možné ho zapínať ako celok a v navrhnutých algoritmoch ovládať jednotlivé predradníky. Pre oba navrhnuté algoritmy bolo potrebné vytvoriť si maticu dvojíc čísel predradníkov nachádzajúcich sa na jednom svetelnom paneli.

■ Náhodné mraky

Prvý z dvoch navrhnutých režimov vytvorenia imitácie oblohy je postavený na náhodnom znižovaní intenzity svietivosti niektorého z panelov umiestnených na strope sauny. Po zoslabení svietivosti panelu sa po uplynutí piatich sekúnd zoslabí ďalšia dvojica svetiel a predchádzajúca sa rozsvieti na intenzitu terapeutického režimu. Takýmto náhodným zoslabovaním a zosilňovaním intenzity osvetlenia prebieha prvá vytvorená imitácia oblohy, pokiaľ nie je ukončený režim Mraky.

■ Imitácia mrakov v podobe plaziaceho sa hada

Druhá implementácia je pre lepšiu predstavivosť nazvaná 'Pohybujúci sa had po oblohe.' Telo pohybujúceho sa svetelného hada sa skladá zo štyroch častí. Najmenej je osvetlená hlava, ktorá má vždy najnižšiu intenzitu. Nasledujúce dve časti tela majú o niečo vyššiu intenzitu. Chvost, teda štvrtý diel tela hada, má za úlohu vrátiť pôvodnú intenzitu svetla. Had, podobne ako náhodný režim, sa posúva po 5 sekundách. Hlava sa premiestni na základe náhodného výberu na jedno z voľných okolitých polí. Tam, kde sa predtým nachádzala hlava, sa bude nachádzať prvá časť tela a týmto spôsobom sa posunie celý had.

Spôsob vytvárania imitácie oblohy v oboch prípadoch prebieha, pokiaľ je zapnutý režim Clouds, súčasne s terapeutickým režimom. Pokiaľ by nastalo vypnutie režimu Clouds pri stále prebiehajúcej terapii, svetelné panely s nižšou intenzitou než je požadovaná pre terapeutický režim sa v priebehu pár sekúnd dostanú na tú istú intenzitu svietivosti. Presná implementácia je popísaná v kapitole 5.2.5.

■ 3.3 Mobilné jednotky

Mobilné jednotky budú prístupné pacientom a používateľom v ich obydliach. V prípade terapeutickú funkcie zariadenia bude možné vlastnosti osvetlenia konzultovať s ošetroujúcim lekárom, ktorý bude mať možnosť zasahovať do procesu aj vzdialeným prístupom. Zatiaľ čo svetelná lampa slúži na udržiavanie zdravých svetelných podmienok v domácnosti, svetelný kufor bude primárne slúžiť pacientom pokračujúcim v domácej liečbe.

■ 3.3.1 Svetelný kufor

Svetelný kufor je zariadenie, ktoré má slúžiť pre pacientov počas ich domácej liečby. Pacient dostane pokyny od ošetrojúceho lekára potrebné pre správny postup samostatnej liečby. Zariadenie bude v reálnom čase zbierať dáta o vykonávaní liečby pacienta a tie odosielať lekárovi. Okamžitý prehľad dát umožní lekárovi vzdialenú kontrolu pacienta a prípadný zásah do liečby. Lekár týmto spôsobom bude môcť zistiť, či príčinou neúčinnnej liečby je jej nesprávne nastavenie pre potreby pacienta alebo jej nedodržiavanie.

Okrem terapeutického využitia má tento prístroj potenciál aj pri vyrovnávaní sa so zmenou časových pásiem, takzvaný jetlag. Zariadenie bude používané pred cestou cez niekoľko časových

pásiem. Postupným vystavovaním sa takto intenzívnemu svetlu bude možné posunúť vnútorný rytmus človeka prirodzene, narozdiel od terajšej skokovej zmeny. Predpokladá sa, že táto forma pomalého prirodzeného posunutia biorytmu bude oceňovaná najmä u športovcov, ktorí sa pripravujú na súťaže v rôznych častiach sveta.

■ 3.3.2 Svetelná lampa

Svetelná lampa je posledný z prístrojov určený pre fototerapiu, v ktorom sa bude nachádzať navrhnuté riadenie osvetlenia v tejto práci. Od ostatných zariadení sa odlišuje tým, že svietidlo bude určené do domácností aj bez lekárskej podpory pre zachovanie zdravého svetelného prostredia počas celého dňa. Táto funkcia je vytváraná na základe automatického prispôsobovania intenzity svietivosti svetla podľa dennej doby. Informácie o čase bude zariadenie získavať zo siete, ku ktorej bude pripojené. [1]

Kapitola 4

DALI

DALI je skratkou pre Digital Addressable Lighting Interface. Slúži na riadenie a automatizáciu osvetľovania malých a veľkých priestorov.

4.1 Úvod do systému DALI

Jednotlivé predradníky sú prepojené vodičom na napájanie, aby mohli pomocou nízkeho napätia komunikovať s riadiacou jednotkou. Úlohou riadiacej jednotky je priradiť každému predradníku samostatnú adresu, aby mohla byť v spojení s jednotlivými predradníkmi, pridelať im úlohy a získavať informácie jednotlivo. Predradníky môžu byť užívateľom spojené do skupín, ktoré je možné riadiť riadiacou jednotkou ako skupinový celok. Predradník má informáciu o tom, do akej skupiny patrí a akú funkciu má vykonávať. Výhoda DALI predradníkov je možnosť zmeniť priradenie k určitej skupine. [15]

4.2 Základné parametre

Komunikácia je založená na princípe multimaster zbernice, ktorá je napájaná zo spoločného zdroja s prúdovým obmedzením. Zariadenia obsahujú usmeňovač, čo znamená, že nezáleží na polarite napájania. Prenosový protokol sa opiera o kódovanie Manchester, ktoré je viac popísané v nasledujúcej kapitole.

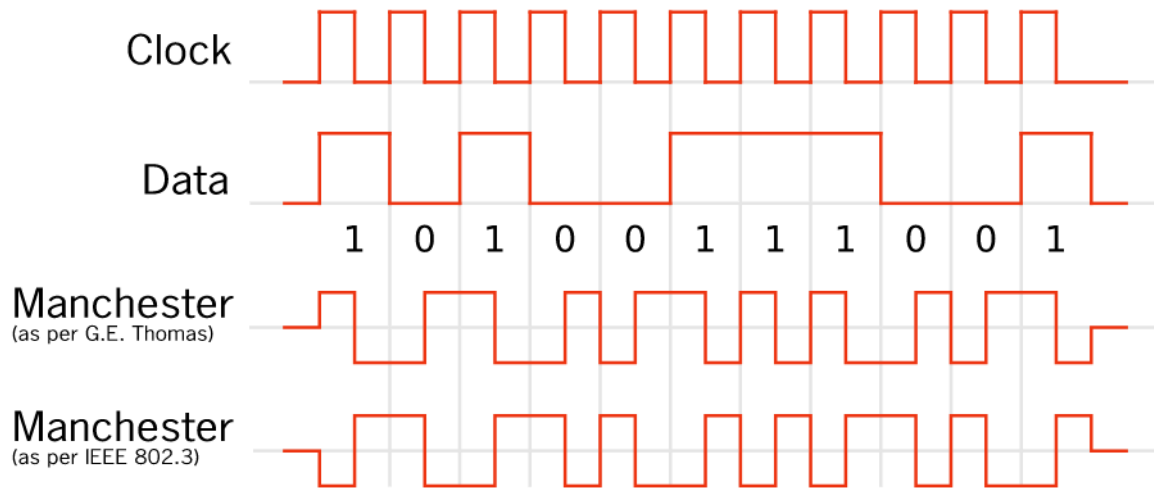
DALI je systém založený na princípe Master-Slave, ktorý je taktiež popísaný nižšie. Každý Master je schopný kontrolovať 64 predradníkov, ktoré majú pridelenú vlastnú adresu. [16]

4.2.1 Kódovanie Manchester

Kódovanie Manchester je spôsob kódovania dát pre prenos údajov po komunikačnej riadiacej zbernici alebo počítačovým sieťovým systémom. Manchesterovský kód umožňuje spojenie pôvodného dátového signálu so synchronizačným signálom, ktorý vytvorí synchronnú komunikáciu všetkých systémov v sieti zobrazenej na obrázku 4.1. Pre spomínanú synchronizáciu sú využité informácie o interných hodinách. Časovú periódu je možné rozdeliť do rovnomerných intervalov, kde každý reprezentuje dáta v Manchestrovskom kódovaní. [17]

V tomto kódovaní sú prenášané dáta alebo digitálne informácie vyjadrené pomocou binárnych stavov 1 alebo 0. Hodnoty bitu sú vyjadrené tak, že do polovice intervalu pôvodného signálu je vložená hrana, ktorá predstavuje zmenu signálu. V DALI zberniciach použitých v tejto práci je využité konkrétne kódovanie Manchester IEEE 802.3, zobrazené na obrázku 4.1

dole. Pri prechode signálu v hrane z vysokej úrovne na nízku, vyjadruje hrana hodnotu 0. Pokiaľ signál prechádza z nízkej úrovne na vysokú, hodnota bitu sa zmení na 1. Synchronizácia je zabezpečená tým, že hrana sa vždy nachádza uprostred každého bitového intervalu.



Obrázok 4.1: Princíp Manchester kódovania [18]

■ 4.2.2 Princíp Master - Slave

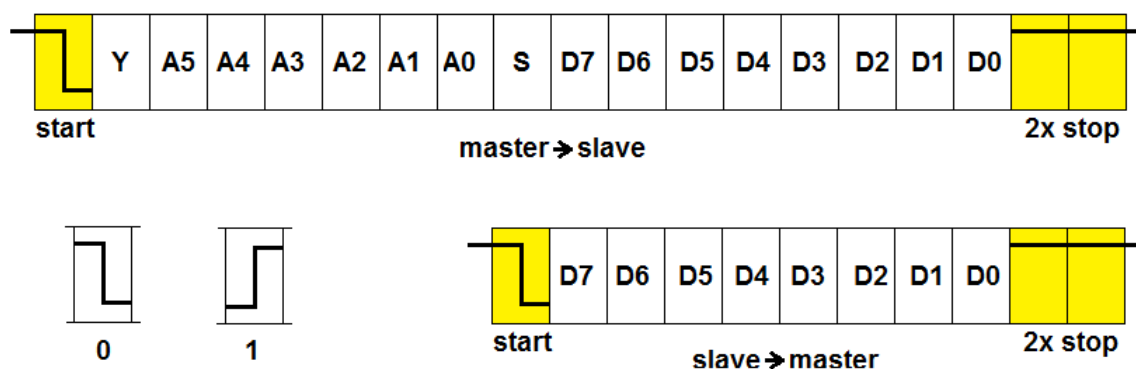
Princíp Master - Slave sa radí medzi systémy synchronnej zbernice, ktoré boli vyvinuté pre podporu digitálnych systémov s väčšou šírkou pásma. Tieto systémy fungujú na spôsobe odosielania dátových paketov medzi hlavným zariadením typu Master a jedným alebo viacerými pamäťovými zariadeniami typu Slave.

Dátové pakety sú vysielané samostatne pomocou generátora, ktorý začína vysielat start bitom. Systémové hodiny sú udržiavané pomocou fázových závesov, ktoré umožňujú udržiavať presnú fázu. Synchronne pamäťové zariadenia využívajú obvod na nastavenie fázy na hlavnom a podriadených zariadeniach. Na základe toho je možné maximalizovať časové rozpätie príjmu dát na oboch zariadeniach.

Spôsob prevádzky Master - Slave funguje na identifikácii hodnoty fázy príjmu z podradeného na nadriadené zariadenie. Dáta sa prenášajú zo zariadenia Slave do zariadenia Master podľa toho, v akej fáze sa nachádza zariadenie Master. Tým sa zaručí to, aby nedochádzalo ku nekoordinovanému prenosu dát. Do zariadenia typu Slave sa dostávajú údaje na základe fázovej hodnoty zariadenia Master. [19] Samostatnému zariadeniu Slave nie je umožnené vykonávať úlohy bez pridelenia povolenia výkonu úlohy od Mastra.

■ 4.2.3 Formát paketu

Ovládací prvok – Master vysielá pakety dlhé 19 bitov, ktoré sú tvorené jedným start bitom, 8 bitov tvorí adresa, ďalších 8 bitov tvoria dáta a na konci sú dva stop bity. Tento princíp je zobrazený na obrázku 4.2. Ovládané zariadenie – Slave odpovedá jedenásť bitovým paketom. Začína jedným start bitom, ôsmymi bitmi dát, končí dvoma stop bitmi.



Obrázok 4.2: Formát paketu rozhrania pre DALI [20]

4.2.4 Formát adresy

Formát adresy DALI zbernice je nasledovný: **YAAAAAAS**. Začiatok a koniec je určený špeciálnym bitom. Medzi nimi sú umiestnené adresné bity. Špeciálny bit **Y** určuje typ adresy. Pokiaľ **Y** je nahradený 0, predstavuje to krátku adresu, napríklad **0AAAAAAS**. Adresa **100ggggS** znamená prijatie paketu pre zariadenia s daným číslom skupiny, ktoré sa nachádza na mieste označené ako **gggg**.

Okrem týchto spomenutých adries existujú typy **101ccccS** a **110ccccS**, ktoré sú určené pre špeciálne príkazy, tie sú zastupené na miestach s označením **cccc**. Broadcastová adresa, ktorej úlohou je vysielat' pre všetky zariadenia, má všetkých sedem bitov nastavených na 1, teda **1111111S**.

Koncový špeciálny bit **S** slúži k určeniu jedného z dvoch typov paketu. Typ paketu označený ako **0**, vyjadruje priame riadenie výkonu dátovým bytom (DAPC). Paketový typ označený ako **1** znamená, že dátový byte obsahuje príkaz.[21]

4.2.5 Formát dát

Dátový byte môže obsahovať príkaz alebo ho môžeme využiť k regulácii jasu. Obidve možnosti sú popísané v nasledujúcich odstavcoch.

Príkaz pri potrebe dát využíva rôzne zdroje na získanie potrebných parametrov. Môže využiť aktuálnu hodnotu jasu, hodnotu uloženú v DTR registri alebo použije časť svojho kódu. Príkazy sú určené k zmene parametrov drivu alebo zmene jasu. Príkazy na riadenie jasu, nepriame riadenie výkonu a scén predstavujú rozmedzie 0 - 31. Škála hodnôt 32 - 79 sú konfiguračné príkazy, ktoré slúžia na uloženie hodnoty do DTR. To predstavuje zmenu minima, maxima alebo definovanie scén a iné funkcionality. Príkazy pre systémové parametre sú 80 - 128, tie ovládajú skupiny, adresy alebo scény. Skupina príkazov 144 - 196 sú query, alebo aj druh otázok, ktoré vyžadujú odpoveď pri zisťovaní aktuálnej hodnoty alebo stavovej informácie. Poslednými príkazmi sú 227 - 255 predstavujúce rozširujúce odkazy. Hodnoty nad 255 už nie sú hodnoty považované za dáta, ale poradové čísla.

Pri regulácii jasu dochádza k nastaveniu hodnoty aktuálneho jasu dátovým bytom. Dátové byty sú 0 - 255. Pre nastavenie osvetlenia používame hodnotu 1 - 254, 0 predstavuje vypnutie a

hodnota 255 zneplatňuje scénu. Implementáciu môžeme uskutočniť lineárne alebo logaritmicky.

Prioritný princíp prechodu svetelného toku je logaritmický. Jedným z hlavných faktorov dominantnosti tohto prechodu je prirodzené vnímanie zmeny svetelných podmienok pre človeka. Pre ľudské oko je logaritmická zmena prirodzenejšia než lineárna. Funguje to na princípe, že 1 predstavuje 0.1 % maximálneho jasú. Pri ďalšej operácii je predchádzajúca úroveň jasú násobená hodnotou $\sqrt[253]{1000} \doteq 1.028$. [22]

Princíp lineárnej regulácie jasú je založený na tom, že percento maximálnej hodnoty odpovedá percentu maximálneho jasú. Postupným pričítaním hodnôt dosiahneme 100 %. 1 predstavuje zväčšenie predchádzajúcej úrovne jasú o $\frac{100}{254} \doteq 0.394$. [22]

■ 4.2.6 Príkazy pre riadenie DALI zbernice

Na riadenie DALI zbernice boli využité príkazy, ktoré slúžia na dosiahnutie potrebnej úrovne osvetlenia, či riadenie nejakej jeho časti. Predstavené sú len tie príkazy, ktoré boli využité pri vývoji zariadení.

Ako prvé sú definované funkcie pre nepriame riadenie výkonu:

- `Broadcast()` slúži na riadenie všetkých zariadení, ktoré zmenia svoju aktuálnu hodnotu na požadovanú hodnotu, je ním riadené celé zariadenie,
- `Off()` vypína všetky zariadenia,
- `RecallMaxLevel()` je príkaz riadenia, ktorý vykoná prechod na uložený maximálny level, pri vypnutom zariadení vyvolá jeho zapnutie.

Ďalším súborom príkazov sú konfiguračné príkazy:

- `Reset()` obnoví uložené premenné v pamäti do východzieho stavu,
- `SetFadeTime()` nastaví požadovanú dobu útlmu jasú osvetlenia, pre prevedenie na sekundy je použitý vzťah:

$$t[s] = \frac{1}{2} \cdot \sqrt{2^{FadeTime}}, \quad (4.1)$$
- `StoreDTRasPowerOnLevel()` nastaví požadovanú hodnotu podľa DTR (Data Transmit Register),
- `AddToGroup()` a `StoreDTRasShortAddress()` sú príkazy pre nastavenie systémových parametrov,
- `AddToGroup()` pridá svetlo do užívateľom požadovanej skupiny
- `StoreDTRasShortAddress()` nastaví krátke adresy jednotlivých predradníkov podľa DTR

Kapitola 5

Návrh a realizácia riadiacej elektroniky pre fototerapeutický svetelný zdroj

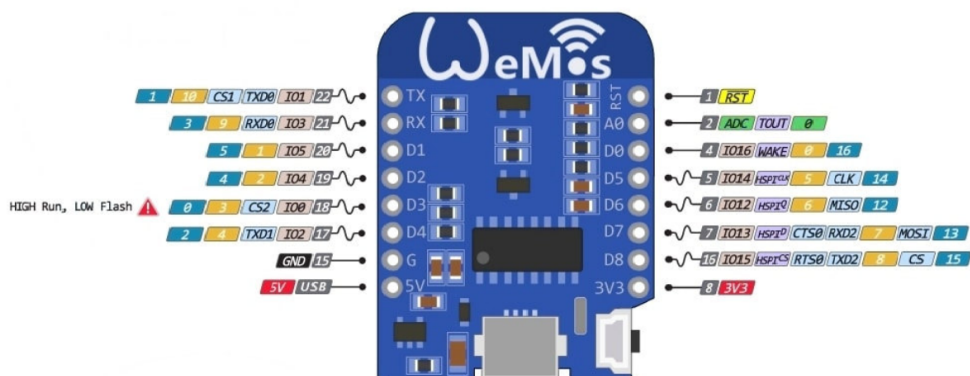
V tejto kapitole je uvedené hardwaré a softwarové riešenie riadiacej jednotky pre fototerapiu. Ako prvé je popísané hardwarové riešenie spoločne s jednotlivými komponentmi pripojenými k mikrokontroléru. Následne je uvedená softwarová časť.

5.1 Hardwarové riešenie

Riadiaca elektronika zobrazená v dodatkoch na obrázku B.1 sa skladá celkovo z piatich komponentov. Obsahuje pripojenie pre komunikáciu s DALI zbernicou, snímač teploty a výstup pre riadenie ventilátorov. Procesorovou jednotkou tohto projektu je ESP-8266 Wemos D1 mini.

5.1.1 Mikrokontrolér ESP-8266 Wemos D1 mini

Hlavnou riadiacou zložkou tohto projektu je mikrokontrolér ESP-8266-Wemos zobrazený na obrázku 5.1. K nemu sú pripojené ďalšie súčasti, ako vstupy a výstupy pre komunikáciu s DALI zbernicou, ovládanie ventilátorov v saune a výstup pre snímač teploty. Tento mikrokontrolér bol zvolený na základe jeho jednoduchého vytvárania Wi-Fi prístupu. Modul disponuje 32-bitovým procesorom, má 16 vstupov pre GPIO porty a jeho napájacie napätie je 3.3 V alebo 5 V.



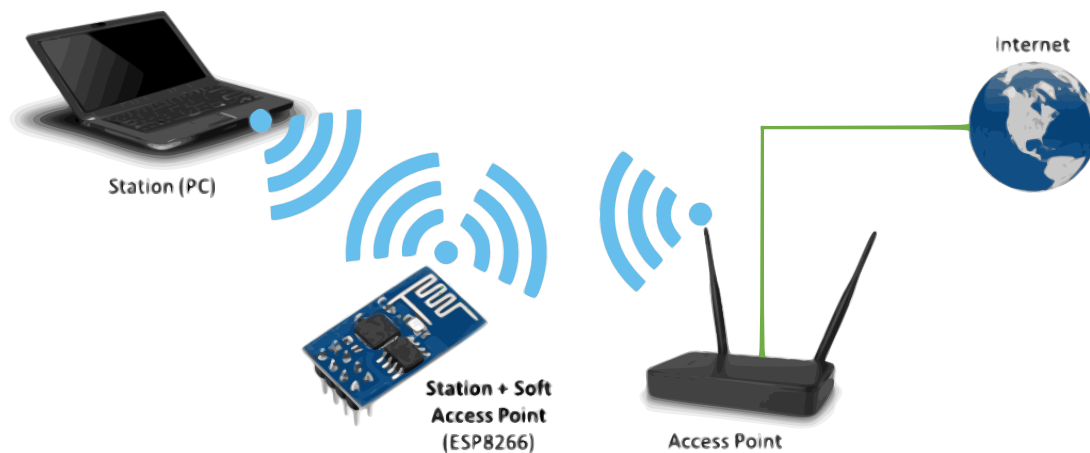
Obrázok 5.1: Mikrokontrolér ESP-8266 Wemos D1 mini [23]

ESP-8266 Wemos D1 mini obsahuje integrovaný TCP/IP protokol, ktorý umožňuje akémukoľvek mikrokontroléru prístup do siete WiFi. Pripojenie tohto zariadenia k sieti umožňuje

prijímať a odosielať dáta. Pre účely tohto projektu bola táto vlastnosť výhodná pre komunikáciu s webovou aplikáciou.

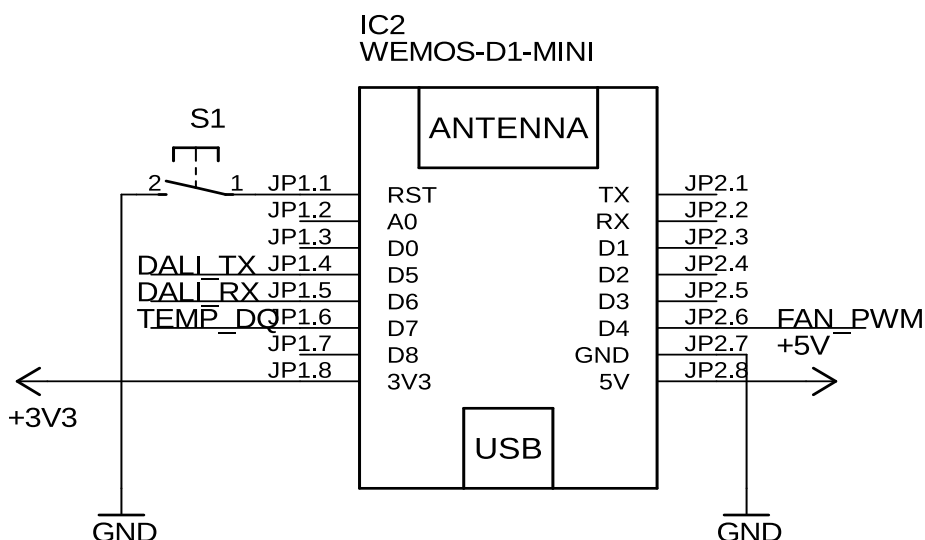
Existuje niekoľko spôsobov, ktorými je pomôžné vytvoriť komunikáciu v sieti. Zariadenia pripojené do WiFi siete vytvárajú stanice. Dôležitou súčasťou je prístupový bod (AP, access point) pripojený do siete pre vytvorenie WiFi. Jeho zjednotenie s routrom vytvorí stredisko pre pripojenie jedného alebo niekoľkých zariadení. Každý prístupový bod je rozpoznávaný svojim SSID, ktorý určuje sieť pri zapojení zariadenia do WiFi. Názorne je pripojenie do siete a komunikácia medzi zariadeniami zobrazená na obrázku 5.2.

ESP8266 dokáže obidva zo spomínaných spôsobov. Je možné vytvoriť si pomocou neho stanicu, ktorá sa pripojí do siete a následne je schopná komunikovať so zariadením. Druhým spôsobom je použitie modulu ESP8266 pre vytvorenie vlastnej siete, teda ako soft-AP a pripojiť k nemu zariadenia, ktoré boli využité na účely tejto práce. [24]



Obrázok 5.2: ESP8266 ako stanica WiFi a soft-AP [24]

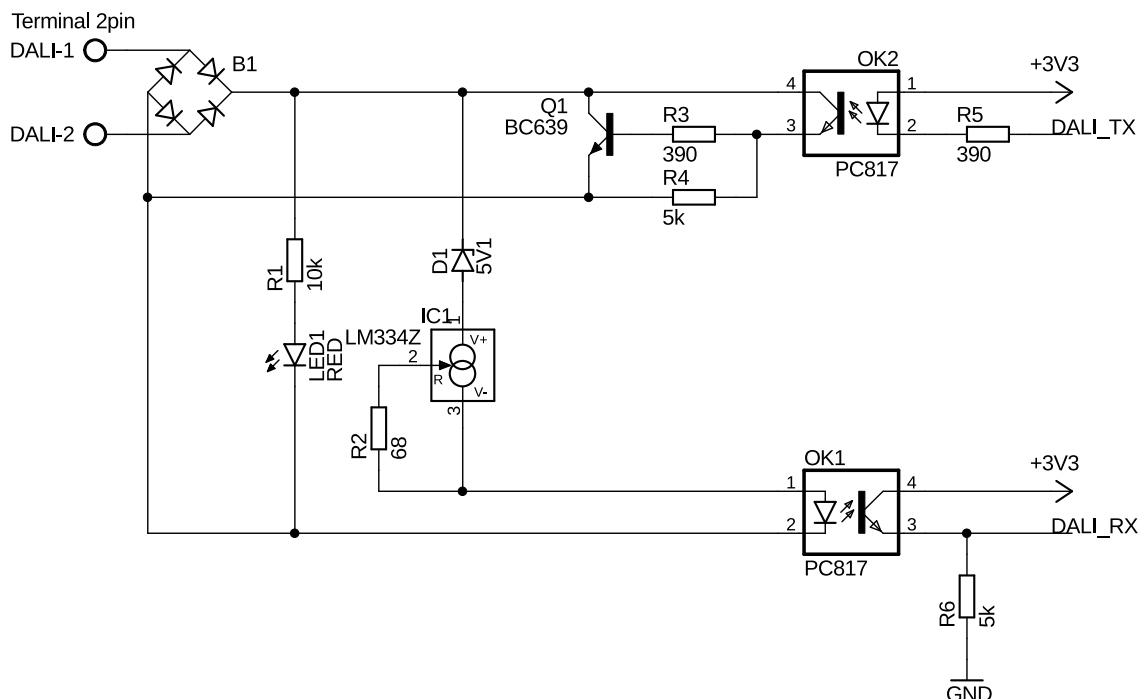
Presné zapojenie jednotlivých komponentov je zobrazené na schematicom zapojení na obrázku 5.3. Mikrokontrolér je pripojený k napájacímu napätiu 5 V zo stabilizovaného zdroja a k zemi. Resetovacie tlačidlo je uzemnené, aby v prípade potreby bolo možné resetovať zariadenie. PIN D5 a D6 je určený pre komunikáciu s DALI zbernicou. DALI_TX je označený digitálny pin D5, ktorý posiela dáta z mikrokontroléru do zbernice. PIN D6 slúži k odosielaniu dát zo zbernice do mikrokontroléru. Pomocou pinu D7 mikrokontrolér prijíma dáta zo senzoru teploty. Pinom D4 je ovládaná regulácia rýchlosti ventilátorov.



Obrázok 5.3: Schematické zapojenie k ESP-8266 Wemos D1 mini

5.1.2 Rozhranie pre DALI zbernicu

DALI zbernica je kľúčovou súčasťou tohto projektu, pretože zabezpečuje správnosť fungovania predradníkov a tým aj riadenie osvetlenia v saune. Rozhranie pre komunikáciu pomocou DALI zbernice je zobrazené na obrázku 5.4.



Obrázok 5.4: Schéma rozhrania pre DALI zbernicu

DALI je komunikačný prostriedok medzi predradníkmi, teda hardwareovou časťou, a ESP-8266, v ktorej sa nachádza programová časť. K rozhraniu je pripojená pomocou vstupov DALI - 1 a DALI - 2 z obrázku 5.4.

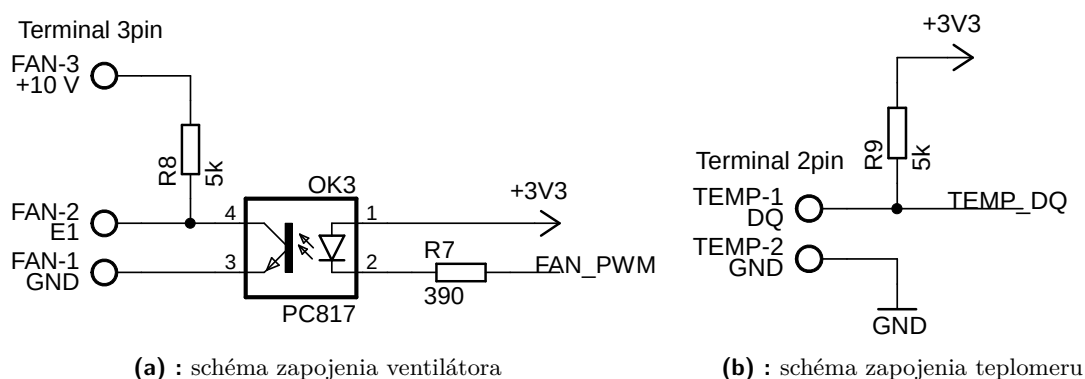
Rozhranie pre DALI zbernicu je napájané na 16 V, keďže v zapojení sa nachádza usmerňovací mostík označený ako B1, viz obrázok 5.4, tak nezáleží na pripojení polarít zbernice. Červená LED1 zo schémy signalizuje, že rozhranie má napájanie zo siete. Tranzistor Q1 slúži k skratovaniu DALI zbernice počas vysielania. Prvky OK1 a OK2 sú optické oddeľovače alebo optočleny. OK2 je vysielací optočlen, ktorý na zbernicu posiela dáta prijaté z mikrokontroléru. Na vstupe optočlenu je logická 0 a optočlen OK2 začne vysielat start bit, ktorý predstavuje hodnotu 0. Všetky pripojené zariadenia čakajú, či vysielaný signál je určený pre nich a prípadne vykonajú zmenu. Q1 je tranzistor, ktorý v tomto prípade funguje ako spínač používaný k vysielaniu dát.

IC1 je nastaviteľný zdroj prúdu, ktorý slúži ako stabilizátor. Obmedzuje prúd prechádzajúci optočlenom OK1. V sérii s ním je umiestnená Zenerova dióda, ktorá zaisťuje dostatočnú šumovú imunitu vstupu. Tá slúži na to, aby sa predišlo zopnutiu optočlenu OP1 pri úrovni napätia nižšieho ako 5 V a posielaniu nesprávnych dát z predradníkov.

5.1.3 Pripojenie riadenia ventilátorov a senzoru teploty

K mikrokontroléru je pripojený výstup pre riadenie ventilátorov a senzor teploty, ktoré sú zobrazené na obrázku 5.5. Najskôr bol zavedený senzor na meranie teploty, ktorý má za úlohu snímať teplotu v saune. Príprava na tento senzor je hotová, avšak momentálne nie je implementovaný do prevádzky, pretože jeho implementácia nebola požadovaná v rámci návrhu projektu. Úlohou tohto senzoru, do budúcnosti, je posielat informáciu o stave teploty v saune do riadiacej jednotky, ktorá vyhodnotí danú hodnotu. Podľa výšky nameranej teploty bude riadiť rýchlosť otáčok ventilátorov umiestnených v saune.

Riadenie maximálnej rýchlosti otáčok ventilátorov bolo pridané počas skúšania prevádzky sauny pred umiestnením do NUDZ. Najprv boli ventilátory nastavené na určité percento ich maximálneho výkonu. Momentálne je možné ich riadiť pomocou webového rozhrania, nie z dát získaných zo senzoru teploty. Aby bolo zaručené chladenie predradníkov a cirkulácia vzduchu v saune je nastavená minimálna hodnota rýchlosti otáčok.



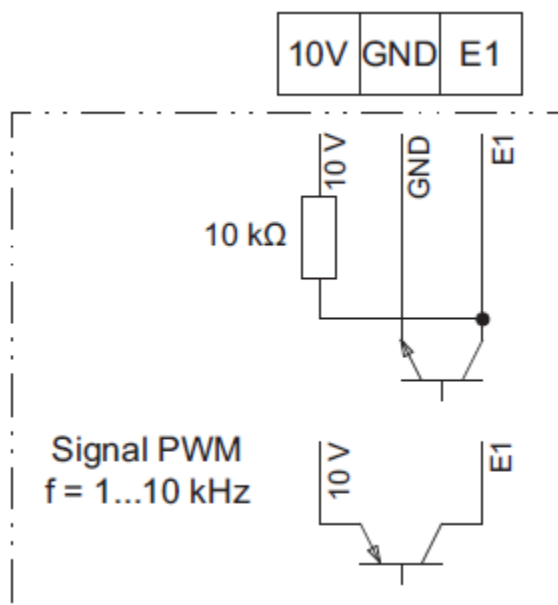
Obrázok 5.5: Schémy pridaných súčastí

5.1.4 Ventilátory ECblue

Ventilátory ECblue použité v prototype sauny sú určené na chladenie a ventiláciu zariadení. Výhodou týchto ventilátorov je, že sú v nich použité maximálne efektívne elektronicky komutované motory, ktoré zaručujú, že sa využíva len minimálne množstvo energie potrebné k

dosiahnutiu požadovaného točivého momentu.

Motory sú napájané z elektrickej siete a zabezpečujú riadenie regulácie otáčok. Riadiaca elektronika zaisťuje rovnakú výšku napätia, ktorá nahrádza prípadnú nestabilitu napájania. Regulácia otáčok je riadená pomocou pulzno-šírkovej modulácie (PWM), ktorej principiálna schéma je zobrazená na 5.6. [25]



Obrázok 5.6: Riadenie otáčok pomocou PWM [25]

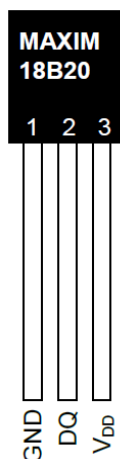
■ 5.1.5 Teplomer DS18B20

Pre spomínané meranie teploty bol použitý digitálny teplomer DS18B20. Schéma jeho zapojenia k ESP-8266-Wemos je zobrazená na obrázku 5.5b. Teplomer dokáže zaistiť 9 až 12 bitové meranie teploty v stupňoch Celzia. Princíp komunikácie je založený na princípe Master - Slave. Mikroprocesor a senzor komunikujú pomocou jedнокanálovej zbernice. K DALI zbernici je možné pripojiť viacero teplomerov, pričom komunikácia so správnym zariadením prebieha na unikátnej 64-bitovej adrese.

Digitálny teplomer DS18B20 môže byť napájaný 2 spôsobmi. Prvý spôsob je štandardné pripojenie na napájacie napätie v rozsahu napájacieho napätia. Druhým spôsobom je takzvané parazitné napájanie z dátového kábla. Pre účely tejto práce je využitý druhý popísaný spôsob. [26] V tabuľke 5.1 sú prehľadne zobrazené základné parametre teplomeru DS18B20.

Teplomer DS18B20	
Napájacie napätie	3 V – 5 V / dátový kábel
Rozsah merania teploty	–55 °C – 125 °C
Rozlíšenie teplomeru	9 - 12 bitov

Tabuľka 5.1: Základné parametre teplomeru DS18B20



Obrázok 5.7: Rozloženie pinov mikroprocesoru teplomeru DS18B20 [26]

Pre pripojenie teplomeru DS18B20 s ESP-8266 Wemos D1 mini boli využité piny 1, 2 a 3, ktoré sú zobrazené na obrázku 5.7. Pin 1 je uzemnený. Pin 3, ktorý slúži na napájanie, je pripojený na 3.3 V cez 5 k Ω externý pull-up rezistor, pomocou pinu 2 prebieha komunikácia. Teplomer je vybavený 2 bytovou pamäťou typu EEPROM, do ktorej si ukladá namerané dáta zo senzoru. Tým je schopný si uložiť namerané dáta a zachovať ich aj v prípade výpadku napájania. [26]

5.2 Softwarové riešenie

Druhou nosnou časťou tejto práce je softwarové vybavenie zariadenia. Skladá sa z dvoch podčastí, inicializačnej a riadiacej. Úlohou inicializačnej časti je inicializácia predradníkov, pridelenie krátkych adries predradníkom a ich následné zaradenie do skupín. Riadiaca časť je zodpovedná za komunikáciu medzi predradníkmi a zariadením, ktorým odosiela informácie od užívateľa cez webové rozhranie. Tieto informácie sú odosielené na základe implementovaných funkcií. Okrem vytvorených ovládacích častí je dostupná aj vlastná knižnica. Súborov sú do riadiacej jednotky odosielené pomocou sériovej linky.

5.2.1 Inicializačná časť softwaru

Inicializačná časť programu je zodpovedná za primárne nastavenie vlastností predradníkov, ktoré využíva riadiaca časť softwaru. Jednotlivé príkazy sú mikrokontroléru odosielené pomocou sériovej linky.

- `DaliInit()` umožňuje zjednodušenie komunikácie s jednotlivými predradníkmi tým, že sa im prideli hromadne krátka adresa, pod ktorou prebiehala komunikácia s daným predradníkom. Udeľovanie krátkych adries je možné súčasne pre všetky predradníky, alebo len v rozmedzí určitých čísel. Následne, po pridelení čísel, boli predradníky pridelené do skupiny podľa časti osvetlenia sauny, ktorú riadia. V prípade riadenia osvetlenia sauny boli vytvorené dve skupiny, pre strop a pre predný panel.
- `SetMaxLevel()` umožňuje nastaviť maximálnu svietivosť LED svetiel. Táto funkcia je zavolaná prostredníctvom sériovej linky pomocou príkazu `maxDDD`, kde `DDD` je číslo v desiatkovej sústave s maximálnou hodnotou 255.

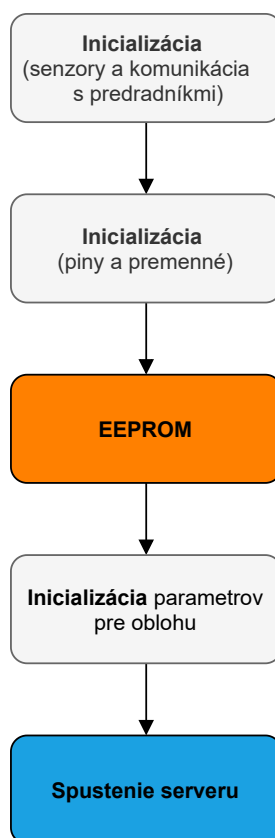
- `SetFadeTime()` nastavuje dobu zmeny intenzity svetla, takzvaný fade time.
- `DaliReset()` odstraňuje všetky inicializačné nastavenia tým, že resetuje pripojené zariadenia.
- `DaliClear()` ruší pridelenia krátkych adries predradníkom.
- `help`, zadaný prostredníctvom sériovej linky vypíše na sériový monitor všetky existujúce príkazy, ktoré je možné použiť na riadenie sauny.

■ 5.2.2 Riadiaca časť softwaru

Riadiacu časť softwaru je možné rozdeliť do dvoch logických celkov. Prvým je SETUP časť, ktorú je možné nazvať aj inicializácia programu. Druhou je slučka LOOP, kde cyklicky prebieha program až do jeho ukončenia.

■ 5.2.3 Inicializácia

SETUP časť prebehne len raz pri zapnutí sauny, pretože jej úlohou je zaistiť správne spustenie programu. Dochádza v nej k inicializácii komunikácie s predradníkmi, pripojených prístrojov a zariadení, EEPROM pamäte a spusteniu serveru, ktorého priebeh v tejto časti je vysvetlený v 6.1.1. Pre lepší prehľad je na obrázku zobrazená 5.8 bloková schéma.



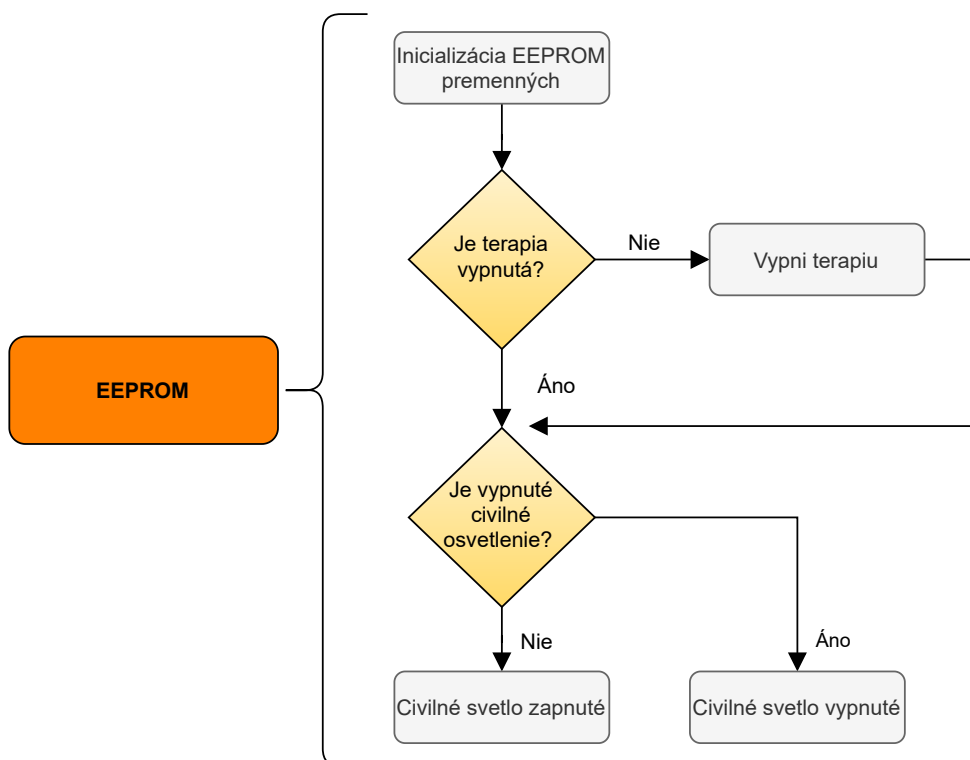
Obrázok 5.8: Bloková schéma inicializačnej časti programu

EEPROM

EEPROM je elektricky mazateľná pamäť využívaná pre ukladanie nevelkého množstva dát, pričom dáta sú v nej uchované aj počas odpojenia od napájania zo siete. Po opätovnom pripojení k sieti dôjde k ich automatickému načítaniu. Práve táto vlastnosť bola dôvodom jej použitia pri tvorení riadiacej jednotky v saune.

Pre použitie modulu EEPROM v implementácii bola použitá knižnica `EEPROM.h` [27]. Na začiatku prebehne inicializácia zobrazená na obrázku 5.9 pomocou `EEPROM.begin()`. Tým sa vytvorí priestor pre EEPROM pamäť o vopred určenej veľkosti. Následne sa do nej načítajú všetky premenné, ktorých hodnotu je dôležité uchovať (napríklad stav intenzity terapie, stav terapeutického, či civilného režimu, časovač terapie). Tie sa inicializujú na stav pri poslednom vypnutí. Výnimkou je terapeutický režim, ktorý bezohľadu na predchádzajúci stav sa inicializuje ako vypnutý. Výnimka je vytvorená z dôvodu úspory energie v prípade obnovenia napájania v čase, kedy sauna nie je využívaná na terapiu. Dôvodom je nastavené maximálne osvetlenie v terapeutickom režime, v ktorom dochádza k veľkému odberu prúdu. V prípade krátkodobého výpadku, počas vykonávania terapie, personál spustí terapeutický režim manuálne prostredníctvom aplikácie. Civilné osvetlenie po výpadku zostáva zapnuté, ak to bol jeho predchádzajúci stav.

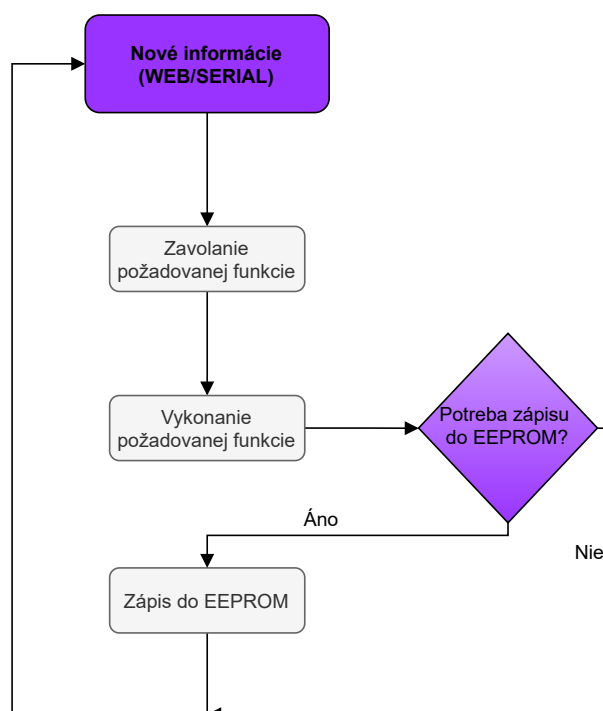
K zmene stavu premenných typu EEPROM dochádza v časti programu LOOP, ktorých hodnota sa zmení na základe požiadavky užívateľa.



Obrázok 5.9: Bloková schéma inicializácie EEPROM v SETUP

5.2.4 Slučka LOOP

Úlohou tejto časti je zabezpečiť cyklický beh programu. V prípade, že nastane vyžiadaná zmena od užívateľa, zavolá sa príslušná funkcia. Po jej vykonaní v prípade premenných z EEPROM nastane zápis do tejto pamäte. Slučka sa opakuje pokiaľ je spustené zariadenie. Pre názornosť je vytvorený obrázok 5.10, ktorý predstavuje zjednodušenú schému behu slučky.



Obrázok 5.10: Blokovaná schéma časti programu LOOP

Okrem sériovej komunikácie, ktorá má rovnaký účel ako pri inicializačnej časti softwaru je možné urobiť zmenu prostredníctvom webovej aplikácie. Zmenu môže užívateľ vykonať pomocou ON/OFF tlačidiel v aplikácii alebo zadaním hodnoty pre príslušný parameter, ktorý požaduje zmeniť. Po prijatí zmeny nastane volanie funkcie, ktorá zaistí jej prevedenie.

Požadovaná funkcia je:

- `TherapyLightOnOff()` na základe vstupu od užívateľa dochádza k spusteniu alebo zastaveniu terapie.
- `CivilLightOnOff()` funkcia zapína alebo vypína civilné osvetlenie sauny, čo znamená, že spúšťa príkaz pre DALI zbernicu (`Broadcast()`).
- `CloudsOnOff()` umožňuje spustenie imitácie mrakov počas terapeutického režimu.

Ďalej je možné nastaviť maximálnu intenzitu osvetlenia pre terapeutický a civilný režim, dĺžku terapie a požadovaný percentuálny výkon otáčok ventilátorov. Okrem toho je pripravená funkcia pre zobrazenie aktuálnej teploty v saune z teplotného senzoru.

Prostredníctvom sériovej komunikácie je umožnené nastavovať okrem funkcií spomínaných v predchádzajúcej časti aj tieto functionality:

- `GroupOnOff()` zmení ON/OFF stav skupiny, ktorú dostane na vstupe od užívateľa zo sériovej linky.
- `SetMaxLevel()` nastaví požadovanú intenzitu osvetlenia zadanú zo vstupu.
- `eeeprom` je príkaz možný zadávať len prostredníctvom sériovej linky a ten vypíše na sériový monitor stav EEPROM pamäte.
- `help` je ďalší príkaz a rovnako ako pri inicializačnej časti softwaru umožňuje na sériový monitor vypísať existujúce príkazy na riadenie sauny.

■ 5.2.5 Implementácia terapeutického režimu

Spôsob prevedenia terapeutického režimu je popísaný v kapitole 3.2.3 a je ho možné spustiť bez administrátorských práv vo webovej aplikácii. Jeho softwarové prevedenie je realizované funkciou `TherapyLightOnOff()`. Vstupom funkcie je binárne číslo, kde 0 predstavuje vypnutý terapeutický režim, 1 zapnutý. Pri zavolaní funkcie sa nastaví fade time na dobu 32 sekúnd, čo je ideálna doba postupného nábehu do maximálnej intenzity osvetlenia počas terapie pre pacienta. Hodnotu požadovanej intenzity je možné zadať z webového rozhrania alebo pomocou sériovej komunikácie, pričom maximálne číslo je 254. Pokiaľ funkcia detekuje vyššie číslo, zmení ho na 254. Tým je ošetrené to, aby neskončila platnosť scény. Pre DALI zbernicu číslo vyššie ako 254 predstavuje rušenie momentálnej scény, teda osvetlenie zhasne.

Pri požiadavke zapnutia terapie sa overí táto hodnota a dôjde k spusteniu ventilátorov. Následne začne odpočítavanie času terapie, ktorý je rovnako zadávaný prostredníctvom aplikácie. Prípadné ukončenie terapie je kontrolované na začiatku sekcie LOOP. Počas terapeutického režimu je možné spustiť aj režim Mraky, ktorého implementácia je popísaná nižšie. Všetky údaje, ktoré súvisia s touto funkciou sa následne zapisujú do EEPROM pamäte.

Pri vypnutí tohto režimu po uplynutí doby terapie alebo manuálne sa opäť zavolá funkcia `TherapyLightOnOff()`. Pokiaľ bol zapnutý civilný režim pred začiatkom terapie, vráti sa osvetlenie do tohto režimu, inak sa vypne celkové osvetlenie sauny. Pred zapísaním zmien do EEPROM sa zavolá funkcia `CloudsOffIfTherapyOff()`, ktorá zabezpečí vypnutie mrakov spoločne s terapeutickým režimom.

■ Implementácia režimu Clouds()

Vizuálna predstava mrakov je uvedená v kapitole 3.2.5. Softwarová realizácia režimu mraky sa skladá z troch funkcií:

1. `CloudsOffIfTherapyOff()` je popísaná na konci časti 5.2.5
2. `CloudsOnOff()`
3. `Clouds()`

`CloudsOnOff()` dostáva na vstupe binárne číslo. V prípade vstupu ON, nastaví fade time na jednu sekundu, aby bol možný bezproblémový priebeh funkcie `Clouds()`, ktorú následne zavolá. Túto zmenu zapíše do EEPROM pamäte. Pri vstupe OFF vypne funkciu mrakov a prevedie zápis do EEPROM.

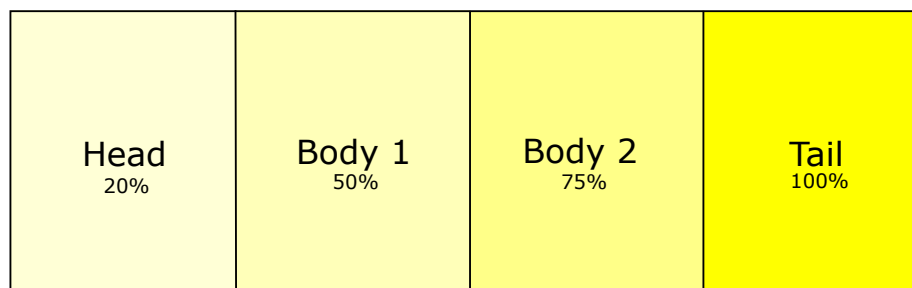
Clouds()

Pri zavolaní funkcie `Clouds()` sa zapnú mraky. Sú implementované dve variaty, ale v zariadení

môže byť nahraná len jedna z nich, pričom obe využívajú maticové rozdelenie stropu. Prvou variantou je prevedenie oblohy v pobode plaziaceho sa hada, druhá si vyberá náhodné políčko z matice.

Imitácia funkcie Clouds() pomocou hada

Primárny typ imitácie oblohy je vo forme hada, ktorý je pre predstavivosť zobrazený na obrázku 5.11.



Obrázok 5.11: Vyobrazenie odtieňov hada

Had je implementovaný pomocou štruktúry s názvom `snake_body` obsahujúcej parametre `value`, `positionX` a `positionY`. Táto štruktúra je vložená do každého zo štyroch políčok poľa s názvom `snake_body`. Pri zavolaní funkcií sa každej časti tela nastaví intenzita, na ktorú má jednotlivá časť zhasnúť. Intenzita je vyjadrená percentuálne z momentálne nastavenej maximálnej hodnoty pre terapiu. Ako je zrejmé z obrázku 5.11 najnižšiu intenzitu má hlava, naopak úlohou chvostu je vrátiť pôvodnú intenzitu svetla panelu, na ktorom sa práve nachádza. Had pri každej iterácii, ktorá prebehne raz za 5 sekúnd, sa začne posúvať chvostom. Ten sa presunie na políčko Body 2, kde si najprv vynuluje predchádzajúcu hodnotu, následne zapíše svoju a pomocou odoslania hodnoty na DALI zbernicu vráti pôvodnú intenzitu osvetlenia. Rovnakým procesom sa presunie časť hada Body 2 na pozíciu Body 1 a následne Body 1 na pozíciu Head.

Predtým než sa posunie hlava na novú pozíciu sa zavolá funkcia `findFreePosition()`, ktorej vstupnými argumentmi sú obloha vo forme matice a adresa aktuálnej pozície hlavy. Funkcie `findFreePosition()` dokáže nájsť všetky voľné políčka v susedstve hlavy, na ktorom sa nenachádza telo hada. Následne sa náhodným spôsobom vyberie jedno z nich, ktoré funkcia vráti. Nakoniec sa na DALI zbernicu odošle hodnota políčka head.

Imitácia funkcie Clouds() pomocou náhodného výberu políčka

Implementácia tohto algoritmu bola vytvorená pre účely nastavovania správnej hodnoty pre `fade time`. Neskôr sa ale ukázalo, že ju je možné použiť aj pre imitáciu oblohy.

Ešte pred vstupom do funkcie sa inicializuje do premennej začiatočná pozícia, ktorá je rovnaká pri každom spustení programu. V prvom behu sa zmenší intenzita políčka, ktoré bolo inicializované. Po odoslaní na DALI zbernicu sa do nej uloží pozícia nového náhodne vybraného políčka. To sa vyberie stále na začiatku funkcie. V ďalšom behu sa najprv skontroluje, či nie je nové náhodne vybrané políčko totožné s predchádzajúcim. V zhodnej situácii, sa vyberie nové políčko. V prípade rôznych políčok sa pôvodné vráti na maximálnu intenzitu a stlmí sa nové. Pozícia stlmeného políčka sa uchová a program takto beží, pokiaľ nie je vypnutá funkcionálna mraky.

Kapitola 6

Webové rozhranie

K riadiacej jednotke je dostupné užívateľské webové rozhranie vytvorené pomocou asynchrónneho webserveru. Webová aplikácia bola písaná pomocou jazyka HTML.

6.1 Popis asynchrónneho webserveru

Fungovanie asynchrónneho webserveru je založené na princípe samostatného aktualizovania informácií bez potreby obnovenia a znovunačítania celej stránky. Nová informácia sa načítava na pozadí behu webového prehliadača a na stránke nastane zmena po vopred stanovenom čase. Na základe toho je webový prehliadač schopný doručiť užívateľovi informáciu bez jeho dodatočnej interakcie s rozhraním.

K serveru, ktorý pracuje na tomto princípe je možné pripojiť viacero zariadení súčasne. V prípade, že niektoré zo zariadení si vyžiada zmenu alebo užívateľ zmení informáciu, nastane aktualizácia stránky automaticky po určitom čase. Čas aktualizácie je krátky a dochádza k nej rádovo v stovkách milisekúnd. To užívateľovi poskytuje dostatočnú rýchlosť pri získavaní aktuálnych informácií. Rýchlosť odosielania informácií je ovplyvnená tým, že sa nečaká na odpoveď, ktorá bola vyžiadaná, ale pokračuje sa vo vykonávaní programu ďalej. Získaná odpoveď je ihneď doručená užívateľovi. Pri neprichádzajúcej informácii na odoslanú požiadavku server ukončí sám spojenie a uvoľní zdroj. Pri asynchrónnom webserveri platí, že na jednu žiadosť nedokáže odoslať viac než jednu odpoveď. [28]

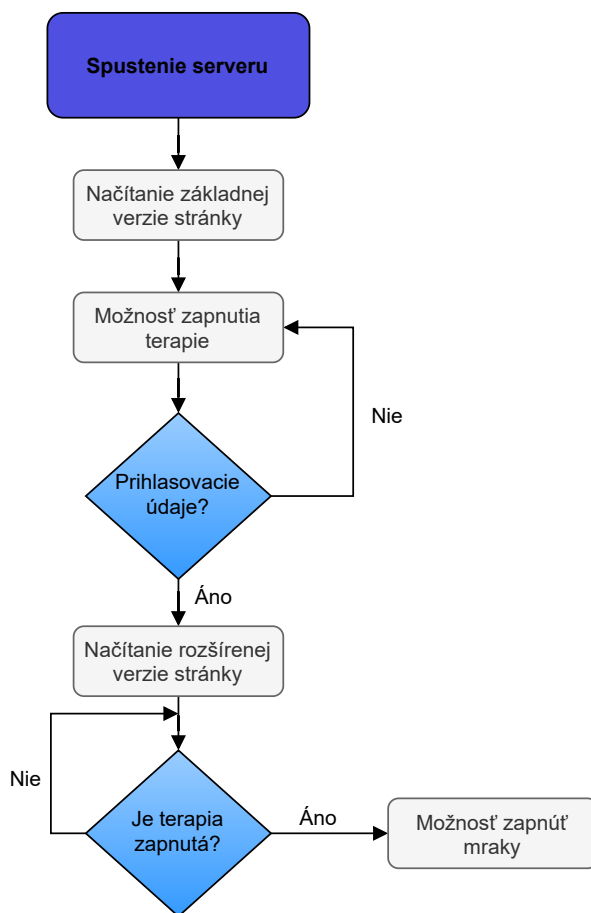
6.1.1 Implementácia

Webové rozhranie prislúchajúce k riadiacej jednotke pre svetelnú saunu je implementované pomocou asynchrónneho webserveru. Jedným z dôvodov jeho využitia bola možnosť prístupu viacerých užívateľských zariadení a automatická aktualizácia informácií vo všetkých zariadeniach. Schéma implementácie je zobrazená na obrázku 6.1. Na základe využívania kontroléru ESP-8266-Wemos pre riadenie osvetlenia sauny bolo potrebné použiť príslušnú knižnicu `ESPAsyncWebServer.h` [28]. Okrem toho, samostatná knižnica si vyžaduje pre svoje fungovanie importovanie knižnice `ESPAsyncTCP.h` [29].

Na začiatku je potrebné vytvoriť sieťové poverenia pre možnosť pripojenia sa k WiFi mikrokontroléru a ovládaniu riadiacej jednotky pomocou webovej aplikácie. Spustenie asynchrónneho webserveru je vytvorené pripojením k portu pomocou funkcie `AsyncWebServer server(80)`. Samostatná webová stránka je napísaná v jazyku HTML. V časti head sú uvedené informácie pre zobrazenie stránky vo webovom prehliadači. Dôležitou časťou je telo (ang. body), kde sú

umiestnené rezervované miesta pre identifikačné číslo (ID) funkcionality, takzvaný %PLACEHOLDER%. Ich úlohou je držať miesto pre ID a v prípade zmeny sa nemusí aktualizovať celý obsah stránky, ale len potrebný oddiel. Zmena je vyvolávaná v SETUP časti programu, kde sa vzniknutá stránka pripojí k serveru. Tam sa vyšle žiadosť o pripojenie HTML stránky a spustí sa funkcia `String processor()`. Po užívateľom vyžiadanej zmene server obdrží informáciu o zmene stavu funkcionality alebo hodnoty, ktorú odošle do spomínanej funkcie aj s príslušným ID. V `String processor()` sa vyvolá funkcia potrebná na prevedenie zmeny, ktorá nastane po uplynutí 500 ms. Na konci SETUP funkcie je spustenie webovej stránky pomocou `server.begin()`.

Na základe využitia asynchrónneho webservera nepotrebujeme LOOP slučku. Stránka vznikla v sekcii SETUP a server je schopný zistiť zmeny a zareagovať na nich.



Obrázok 6.1: Bloková schéma webového rozhrania

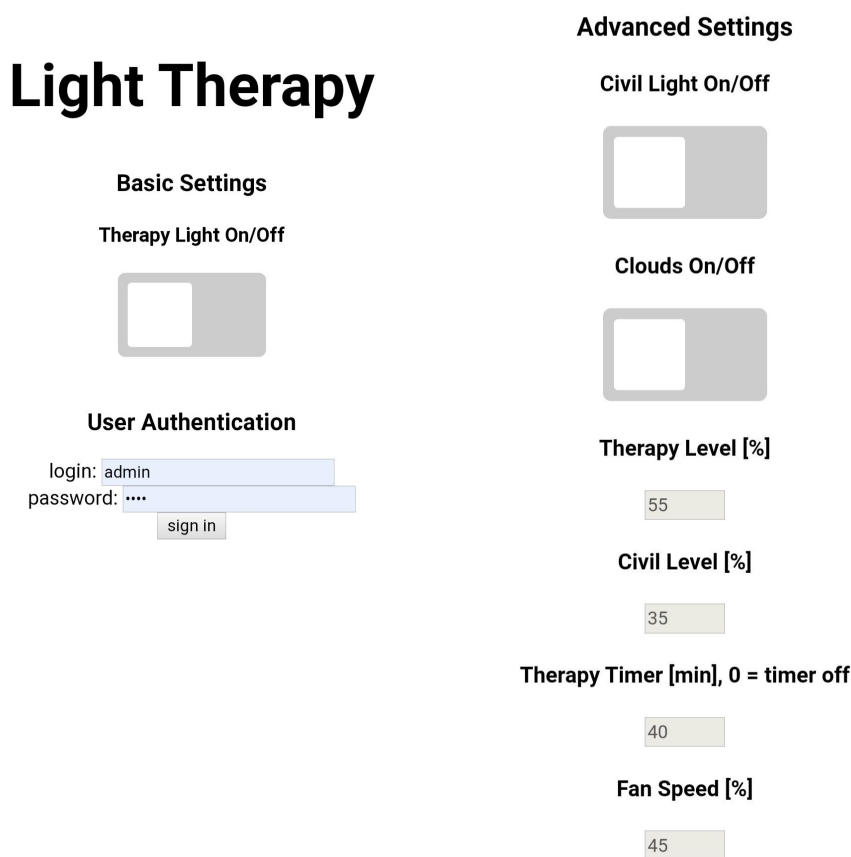
6.2 Uživatelské rozhranie aplikácie

Webová stránka je pre užívateľa dostupná po pripojení sa k zariadeniu s názvom LightTherapy. Po následnom zadaní IP adresy do webového prehliadača sa zobrazí úvodná stránka, zobrazená na obrázku 6.2a.

Na úvodnej stránke dostupnej bez prihlásenia sa nachádza možnosť zapnutia alebo vypnutia terapeutického režimu a prihlásenia sa do ďalšej časti. Po vyplnení prihlasovacích údajov

sa užívateľ dostane do rozšíreného módu. Ten okrem základného spustenia terapie, ako je zobrazené na obrázku 6.2a, obsahuje ďalšie nastavenie vlastností terapie. Ako je možné vidieť na obrázku 6.2b, medzi rozšírené nastavenia patrí zapnutie civilného osvetlenia popísaného v 3.2.4, spustenie mrakov, ktorých princíp je rozoberaný v 3.2.5, percentuálne nastavenie maximálnej intenzity osvetlenia počas terapie, civilné osvetlenie a rýchlosť ventilátorov pre odvetrávanie vzduchu v saune. Ďalej sa tam nachádza možnosť zmeny dĺžky terapie.

Rozšírený mód webového rozhrania pre aplikáciu k svetelnej saune bol navrhnutý z dôvodu zabezpečenia pri neoprávnenom použití v prípade pripojenia sa k serveru. Táto bezpečnosť je opodstatnená tým, že pri nesprávnom použití by mohlo dôjsť namiesto liečby k poškodeniu a následnému zhoršeniu stavu pacienta.



(a) : Úvodná stránka užívateľského rozhrania pre riadenie osvetlenia sauny

(b) : Vzhľad stránky na nastavenie rozšírených parametrov svetelnosti sauny

Obrázok 6.2: Vzhľad webovej aplikácie

Kapitola 7

Overenie funkčnosti zariadenia

Hardwarová a softwarová časť riadiacej jednotky svetelného zdroja pre fototerapiu bola vytvorená podľa popisu v kapitole 5. Zhotovené zariadenie umiestnené v saune je zobrazené na obrázku 7.5. Overenie funkčnosti riadiacej jednotky a jej testovanie prebiehalo dvoma spôsobmi. Najskôr laboratórnym testovaním a po ňom bola riadiaca jednotka osadená do rozvodnej skrinky sauny, zobrazenej na obrázku 7.6 a v dodatkoch na obrázku B.2.

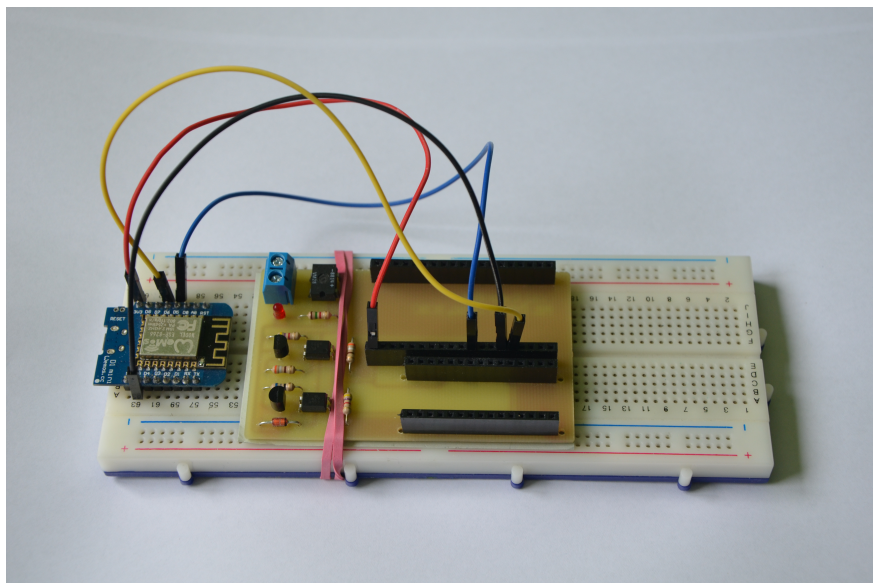
7.1 Laboratórne testovanie

Laboratórne testovanie prebiehalo dvoma spôsobmi, na LED paneloch s DALI predradníkmi a pomocou osciloskopu. Jednotlivé namerané alebo pozorované výsledky sú zobrazené a popísané v nasledujúcej časti tejto podkapitoly.

7.1.1 LED panely s DALI predradníkmi

Ako prvé prebiehalo laboratórne testovanie pomocou riadiacej jednotky zobrazenej na obrázku 7.1, ktorá bola pripojená k LED panelom s DALI predradníkmi. Na začiatku vývoja bola funkčnosť zariadenia testovaná prostredníctvom sériovej linky. Testované boli funkcie na ovládanie terapeutického a civilného režimu a možnosť nastavenia intenzity osvetlenia. Následne, po vytvorení webového rozhrania bolo možné komunikovať so zariadením aj prostredníctvom neho, čo predstavovalo druhú fázu testovania ovládania funkcionality a stability webovej aplikácie.

Zariadenie fungovalo na zadávané podnety spoľahlivo, neprejavila sa ani prípadná nestabilita webového rozhrania. Avšak niektoré nestability nie sú možné otestovať v laboratóriu a prejavajú sa až v reálnych podmienkach. Zariadenie je vtedy používané dlhšiu dobu a funkcionality sú spúšťané v rozličných sekvenciách.

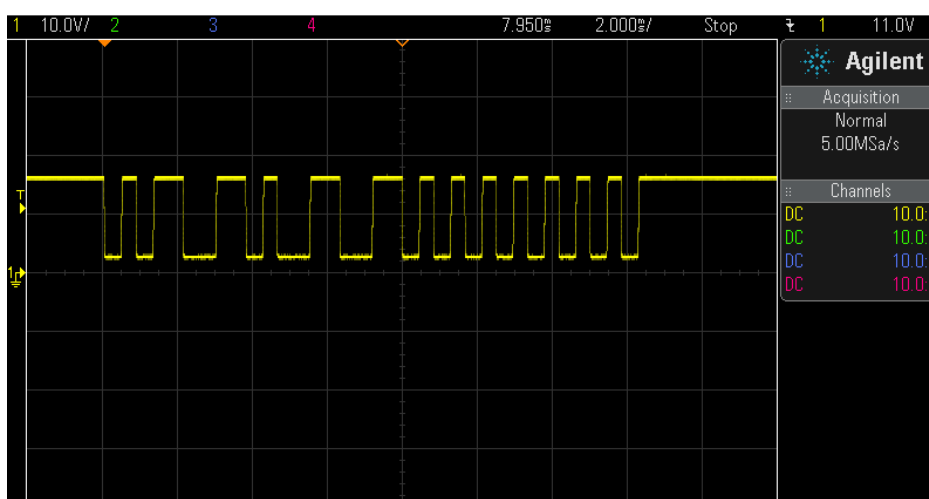


Obrázok 7.1: Riadiaca jednotka svetelného zdroja pre fototerapiu v laboratórnych podmienkach

Zobrazenie priebehu signálu na osciloskope

Priebeh signálov bol overený pomocou osciloskopu Agilent DSO-X 2004A. Reakcia na príkazy je viditeľná zmenou na zbernici v Manchester IEEE 802.3 kódovaní. Pre účely tejto práce boli vybrané priebehy troch rôznych funkcií, inicializácia zbernice, `broadcast()` a `GroupOnOff()`.

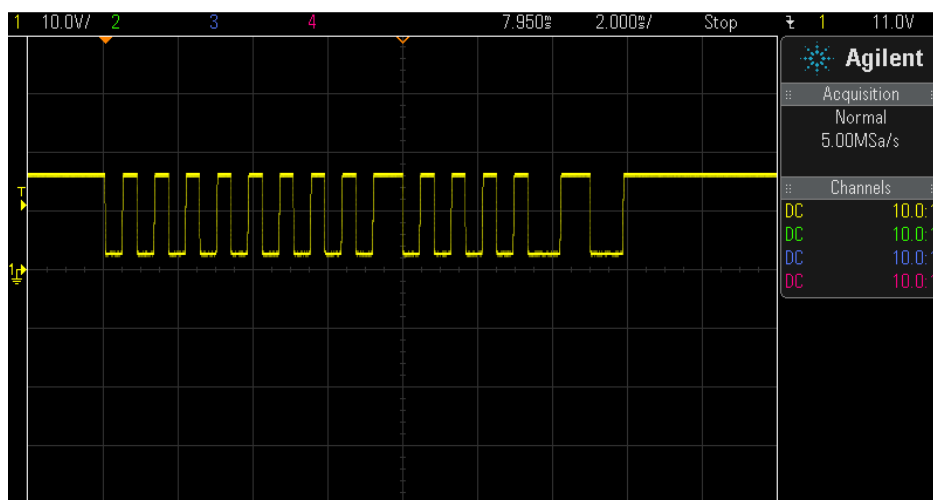
Počas inicializácie sa na zbernicu odosielaajú 2 pakety, hexadecimálne `0xA5` a `0x00`. Dekódovaním signálu z Manchester kódovania dostaneme nasledovnú binárnu sekvenciu: `1101001010000000011`. Prvý bit naznačuje začiatok vysielania start bitom, za ním nasleduje v binárnej sústave prvý spomínaný hexadecimálny paket, ktorý predstavuje adresu a posledná jednotka tohto paketu značí, že sa jedná o príkaz. Nasleduje dátový byte predstavujúci samé nuly, teda druhý paket. Vysielanie signálu je ukončené dvomi nulami, ktoré predstavujú stop bit. Dekódovaná sekvencia bitov je správna.



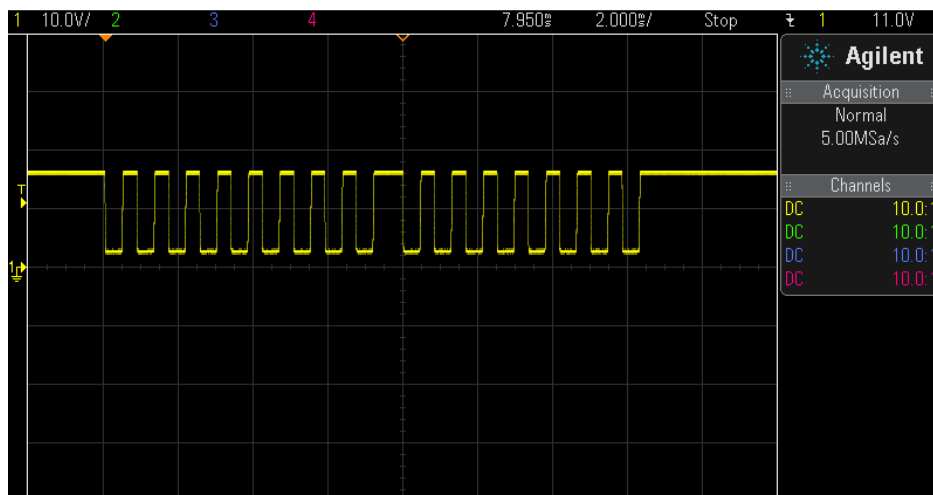
Obrázok 7.2: Zobrazenie zbernice počas jej inicializácie

Na obrázku 7.3 sú zobrazené priebehy pre funkciu `broadcast()`. Priebeh začína start bitom, ktorý predstavuje hodnotu 1. Za start bitom nasleduje špeciálny bit pre určenie adresy, v tomto prípade 1. Nasleduje 6 adresných bitov a koncový špeciálny bit, ktorý vyhodnocuje typ paketu. V tomto prípade je nastavený na hodnotu 1, čo znamená, že obsahuje dátový príkaz. Ďalej nasledujú dátové bity ukončené dvoma stop bitmi.

Pri `broadcast(ON)` je signál zobrazený na obrázku 7.3a. Po dekódovaní tohto signálu zo zbernice dostaneme pre dátovú časť signálu 00000101, čo predstavuje binárne vyjadrenie ON. Rovnako bol dekódovaný signál z obrázku 7.3b, ktorý predstavuje 00000000, čo je binárnym vyjadrením OFF. V oboch prípadoch je pre adresnú časť sekvencia samých 1, čo je na základe popisu v kapitole 4.2.4 správna sekvencia binárnych bitov.



(a) : Zobrazenie zbernice pri spustení funkcie `broadcast(ON)`

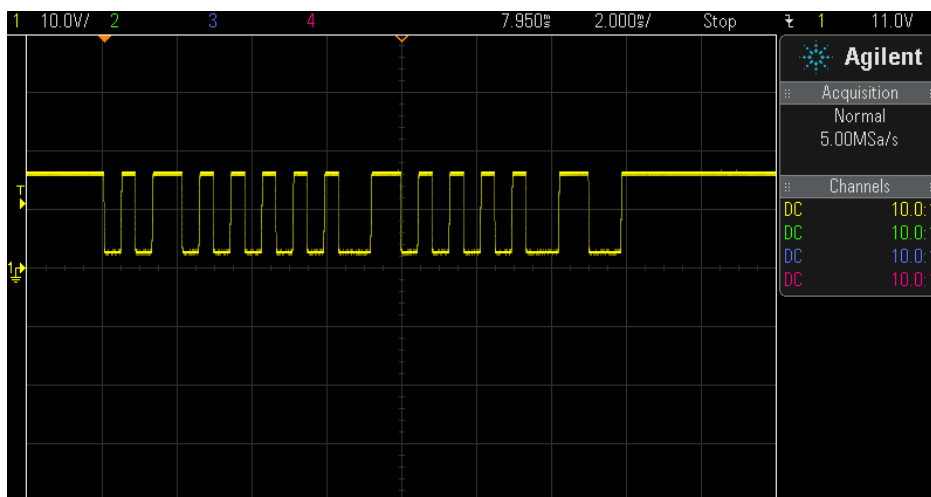


(b) : Zobrazenie zbernice pri spustení funkcie `broadcast(OFF)`

Obrázok 7.3: Zobrazenie zbernice pre funkciu `broadcast()`

Posledný testovaný priebeh zobrazuje funkciu `GroupOnOff()`. Konkrétne pomocou tejto funkcie sa mali rozsvietiť predradníky patriace k skupine 0. Priebeh na zbernici je zachytený na obrázku 7.4. Ako je uvedené v kapitole 4.2.4, adresa pre prijatie paketu s číslom skupiny

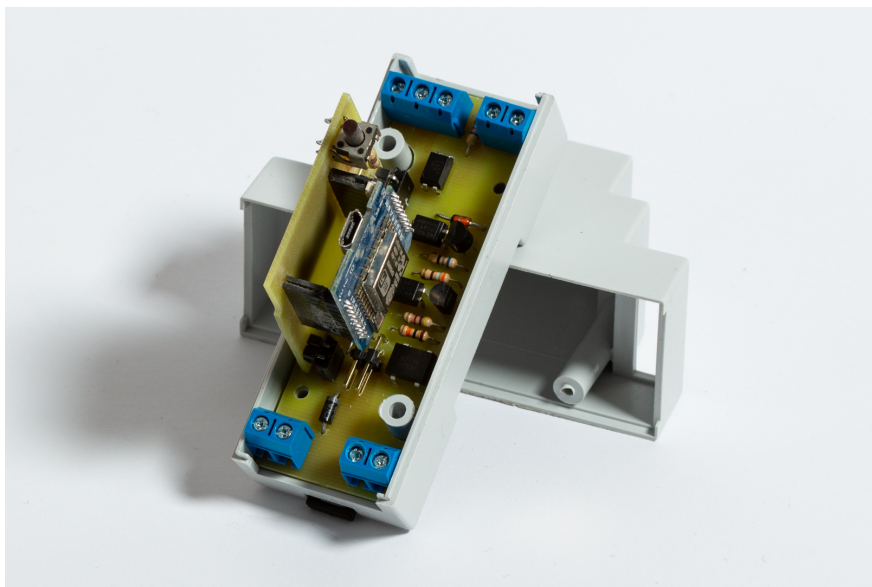
má tvar 100ggggS. Pri dekódovaní celého priebehu je na začiatku start bit, za ním nasleduje binárna sekvencia 1000000. To predstavuje vyššie spomínaný príkaz pre skupinu 0. Signál pokračuje špeciálnym bitom 1, rovnako ako pri broadcast znamená, že dátový byte obsahuje príkaz. Príkazom je rozsvietenie vybranej skupiny. Dátová postupnosť dekódovaných bitov je 00000101, čo znamená binárne ON.



Obrázok 7.4: Zobrazenie zbernice pri zapnutí určitej skupiny (pomocou funkcie `GroupOnOff()`) predradníkov

7.2 Testovanie v reálnych podmienkach

Riadiaca jednotka je okrem laboratorného testovania testovaná v saune počas pilotnej prevádzky v NUDZ v Klecanoch. Je umiestnená v rozvodnej skrinke, ako je možné vidieť na obrázku 7.6. Terapeutická liečba v saune bola spustená 1. marca 2021. Lekári nastavili individuálne pre pacientov liečebnú terapiu, ktorá je spúšťaná pod dohľadom zdravotníckeho personálu. Pri oficiálnom spustení sauny neboli dostupné funkcie pre imitáciu oblohy (`Clouds()`) a nastavenie otáčok ventilátorov pomocou webového rozhrania. Zároveň prišiel podnet na presun civilného režimu do rozšírenej časti stránky, teda tak, ako je to uvádzané v celej práci.



Obrázok 7.5: Vytvorená riadiaca jednotka svetelného zdroja pre fototerapiu



Obrázok 7.6: Riadiaca jednotka svetelného zdroja pre fototerapiu v reálnych podmienkach

Prvé problémy v reálnych podmienkach nastali po dvoch týždňoch, kedy sa zistili nepresnosti v riadení, ktoré sa pri laboratórnom testovaní neprejavili. Tieto problémy boli implementáciou v zdrojovom kóde opravené. Presunutá bola aj možnosť spúšťania civilného režimu len s prihlasovacími údajmi.

Poslednou úpravou je spustenie funkcie `Clouds()` z webového rozhrania a nastavovanie rýchlosti otáčok počas zapnutej terapie a počas civilného osvetlenia. Ďalším vylepšením bude automatická synchronizácia stránky viacerých zariadení pripojených k webovej aplikácii.

Všetky funkcie testované v laboratórnych podmienkach mali po dekódovaní z Manchester kódovania predpokladaný priebeh. Laboratórne overenie funkčnosti zariadenia dopadlo podľa očakávania. Testovanie v reálnych podmienkach naďalej prebieha, avšak spomínané funkcie sú plne funkčné a využívané pri liečbe duševných ochorení. Po postrehoch zdravotníckeho personálu prichádzajú ďalšie zmeny na zlepšenie prevádzky, ktoré sú následne prijaté a implementované.

Kapitola 8

Záver

Hlavným účelom bolo vytvoriť elektroniku pre svetelnú saunu kompatibilnú s ďalšími terapeutickými pomôckami, ktoré sú momentálne v procese vývoja. Svetelná sauna je počas testovania umiestnená v Národnom ústave duševného zdravia (NUDZ) v Klecanoch. Pre toto zariadenie bolo navrhnuté hardwarové zapojenie, ktoré využíva princíp DALI zbernice. Rozhranie pre DALI zbernicu je prepojené s mikrokontrolérom ESP-8266 Wemos D1 mini. Následne bola implementovaná softwarová časť riadenia. Jej zmyslom je možnosť individuálneho nastavenia terapie pre jednotlivých pacientov a zvolenie si potrebného režimu osvetlenia. S riadiacou jednotkou je možné komunikovať prostredníctvom webového rozhrania, ktoré je vytvorené na princípe asynchrónneho webserveru.

Okrem toho sa táto práca zaoberá problematikou fototerapie a jej dopadoch na každodenný život človeka a liečbu duševných ochorení. Následne je popísaná vhodná metóda na ich liečbu prostredníctvom špeciálne navrhnutého plnospektrálneho svetla.

Riadenie osvetlenia sauny je možné prevádzkovať v dvoch režimoch. Prvým z nich je terapeutický režim, ktorý je možné spustiť hneď pri pripojení sa k webovej stránke. Jeho vlastnosti, ako je dĺžka terapie a intenzita svetla, je možné nastaviť po zadaní administrátorských údajov, ktoré zdravotnícky personál presmeruje na rozšírenú verziu stránky. V tejto časti je možné spustiť druhý režim, civilné osvetlenie, ktorý slúži na voľnočasové, teda neterapeutické účely. Okrem spomínaných režimov je možné počas terapeutického režimu spustiť imitáciu mrakov. Ďalej je možné nastaviť rýchlosť otáčok ventilátorov umiestnených v saune slúžiacich k odvetrávaniu vzduchu a chladeniu predradníkov. Všetky spomínané režimy sú implementované na základe požiadavok personálu z NUDZ.

Testovanie riadiacej jednotky prebiehalo dvoma spôsobmi. Pred samotným nainštalovaním do sauny bolo zariadenie laboratórne testované. Funkčnosť zariadenia a stabilita webového rozhrania bola overená pripojením LED panelov s DALI predradníkmi, ktoré simulovali zapojenie v reálnych podmienkach. Okrem toho bola správnosť fungovania funkcionalít overená zobrazením signálu na osciloskope. Po úspešnom laboratórnom testovaní bola riadiaca jednotka osadená do svetelnej sauny v NUDZ v Klecanoch. Testovanie v pilotnej prevádzke bolo spustené 1. marca 2021. Lekár vytvára liečbu individuálne pre pacientov a následne je liečebný proces vykonávaný pod dozorom lekárskeho personálu. Proces zlepšovania navrhnutého zariadenia bude pokračovať aj naďalej počas vývoja a testovania svetelnej sauny. Je pravdepodobné, že budú prichádzať nové požiadavky na zmeny a úpravy od užívateľov, ako aj podnety od samotných pacientov.

Riadiaca jednotka popísaná v tejto práci bude s určitými modifikáciami použitá v ďalších

terapeutických zariadeniach, vo svetelnom kufri a lampe. V tomto čase sú spomínané zariadenia v procese vývoja. Rovnako ako svetelná sauna sú určené k zlepšovaniu zdravotného stavu pacientov a svetelných podmienok v domácnostiach.

Bakalárska práca vznikala ako súčasť rozsiahleho projektu, ktorého účelom je vývoj zariadení na liečbu duševných ochorení pomocou svetelného zdroja obsahujúceho špeciálne navrhnuté plnospektrálne svetlo a ich prevenciu. Prínos autorky práce spočíval v podieľaní sa na návrhu a realizácii hardwaru riadiacej jednotky, návrhu a implementácii jeho firmwaru, testovaniu riadiacej jednotky v laboratórnych podmienkach a spolupráci pri pilotnom nasadení svetelnej sauny v NUDZ v Klecanoch, kde je momentálne používaná v klinickej praxi.



Literatúra

- [1] TAČR, “Program TREND – Závazná osnova představení projektu 2. veřejná soutěž programu TREND, podprogram 2,” 2019. Uvedené informace sú z verejne neprístupného zdroja, ktorý je prílohou návrhu projektu.
- [2] C. Cajochen, M. Freyburger, T. Basishvili, C. Garbazza, F. Rudzik, C. Renz, K. Kobayashi, Y. Shirakawa, O. Stefani, and J. Weibel, “Effect of daylight LED on visual comfort, melatonin, mood, waking performance and sleep,” *Lighting Research & Technology*, vol. 51, no. 7, pp. 1044–1062, 2019.
- [3] C. Ticleanu and P. Littlefair, “A summary of LED lighting impacts on health,” *International Journal of Sustainable Lighting*, vol. 17, pp. 5–11, 2015.
- [4] M. Boubekri, I. N. Cheung, K. J. Reid, C.-H. Wang, and P. C. Zee, “Impact of windows and daylight exposure on overall health and sleep quality of office workers: a case-control pilot study,” *Journal of Clinical Sleep Medicine*, vol. 10, no. 6, pp. 603–611, 2014.
- [5] J. Bullough, K. Sweater Hickcox, T. Klein, and N. Narendran, “Effects of flicker characteristics from solid-state lighting on detection, acceptability and comfort,” *Lighting Research & Technology*, vol. 43, no. 3, pp. 337–348, 2011.
- [6] J. Maruani and P. A. Geoffroy, “Bright light as a personalized precision treatment of mood disorders,” *Frontiers in psychiatry*, vol. 10, p. 85, 2019.
- [7] J. A. Rubiño, A. Gamundí, M. Akaarir, F. Canellas, R. Rial, and M. C. Nicolau, “Bright Light Therapy and Circadian Cycles in Institutionalized Elders,” *Frontiers in Neuroscience*, vol. 14, p. 359, 2020.
- [8] M. H. Hastings, “Central clocking,” *Trends in neurosciences*, vol. 20, no. 10, pp. 459–464, 1997.
- [9] G. Pail, W. Huf, E. Pjrek, D. Winkler, M. Willeit, N. Praschak-Rieder, and S. Kasper, “Bright-light therapy in the treatment of mood disorders,” *Neuropsychobiology*, vol. 64, no. 3, pp. 152–162, 2011.
- [10] D. M. Brooks and L. J. Brooks, “Circadian Rhythm Sleep Disorders.” <https://obgynkey.com/circadian-rhythm-sleep-disorders-2/>, 2019. Accessed: 2021-03-06.
- [11] D. P. Cardinali and P. Pévet, “Basic aspects of melatonin action,” *Sleep medicine reviews*, vol. 2, no. 3, pp. 175–190, 1998.

- [12] R. D. Levitan, “The chronobiology and neurobiology of winter seasonal affective disorder,” *Dialogues in clinical neuroscience*, vol. 9, no. 3, p. 315, 2007.
- [13] K. Danilenko, A. Putilov, G. Russkikh, L. Duffy, and S. Ebbesson, “Diurnal and Seasonal Variations of Melatonin and Serotonin in Women with Seasonal affective disorder.,” *Arctic medical research*, vol. 53, no. 3, pp. 137–145, 1994.
- [14] M. Hamilton, “A rating scale for depression,” *Journal of neurology, neurosurgery, and psychiatry*, vol. 23, no. 1, p. 56, 1960.
- [15] L. Meyer, “An introduction to Digital Addressable Lighting Interface (DALI) systems & study of a DALI day lighting application,” 2007.
- [16] H. Li, M. Wu, and Y. Zhong, “Development and research of lighting system based on DALI,” in *2008 3rd IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications*, pp. 1302–1307, IEEE, 2008.
- [17] S. Jingzhuo, X. Yingxi, and S. Jing, “Manchester encoder and decoder based on CPLD,” in *2008 IEEE International Conference on Industrial Technology*, pp. 1–3, IEEE, 2008.
- [18] S. Schmidt, “Enhancement of Manchester Encoding.”
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=1219799>, 2006.
 Accessed: 2021-02-06.
- [19] S. Sidiropoulos, “Apparatus and method for controlling a master/slave system via master device synchronization,” Jan. 4 2005. US Patent 6,839,393.
- [20] “Formát paketu rozhraní DALI.”
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=74803569>, 2018.
 Accessed: 2021-02-05.
- [21] S. Husain, “Digitally Addressable Lighting Interface (DALI) Communication,” *AN1465. Microchip Technology Inc*, 2012.
- [22] S. Husain, “DALI Control Gear,” *AN1487. Microchip Technology Inc*, 2012.
- [23] laskarduino, “WeMos D1 Mini ESP8266 WiFi modul.”
<https://www.laskarduino.cz/wemos-d1-mini-esp8266-wifi-modul/>, 2021.
 Accessed: 2021-03-12.
- [24] I. Grokhotkov, “ESP8266 Arduino Core.”
<https://arduino-esp8266.readthedocs.io/en/latest/esp8266wifi/readme.html>, 2017.
 Accessed: 2021-03-11.
- [25] ZIEHL-ABEGG, “ECblue High-efficiency motors.”
https://www.ziehl-abegg.com/fileadmin/Downloadcenter_NEW/00_englisch%28EN%29_MASTER/X02_Catalogues/Catalogue-ECblue-High-efficiency-motors.pdf, 2016.
 Accessed: 2021-04-09.
- [26] M. Integrated, “DS18B20 Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer.”
https://eu.mouser.com/datasheet/2/256/maxim%20integrated%20products_ds18b20-1178755.pdf, 2008. Accessed: 2021-04-08.
- [27] “EEPROM library.”
<https://github.com/esp8266/Arduino/tree/master/libraries/EEPROM>. Accessed: 2020-11-14.

- [28] “ESPAsyncWebServer library.”
<https://github.com/me-no-dev/ESPAsyncWebServer>. Accessed: 2021-04-14.
- [29] “ESPAsyncTCP library.”
<https://github.com/me-no-dev/ESPAsyncTCP>. Accessed: 2021-04-14.

Dodatok A

Svetelná sauna



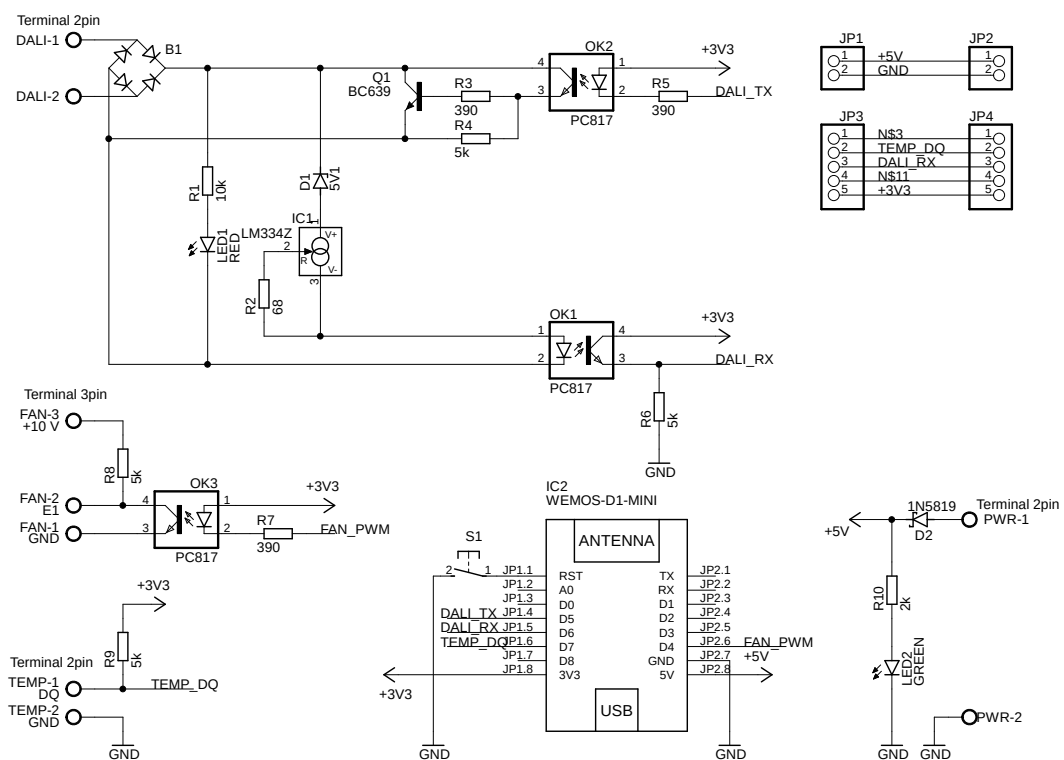
Obrázok A.1: Svetelná sauna v NUDZ v Klecanoch, autor: UCEEB ČVUT



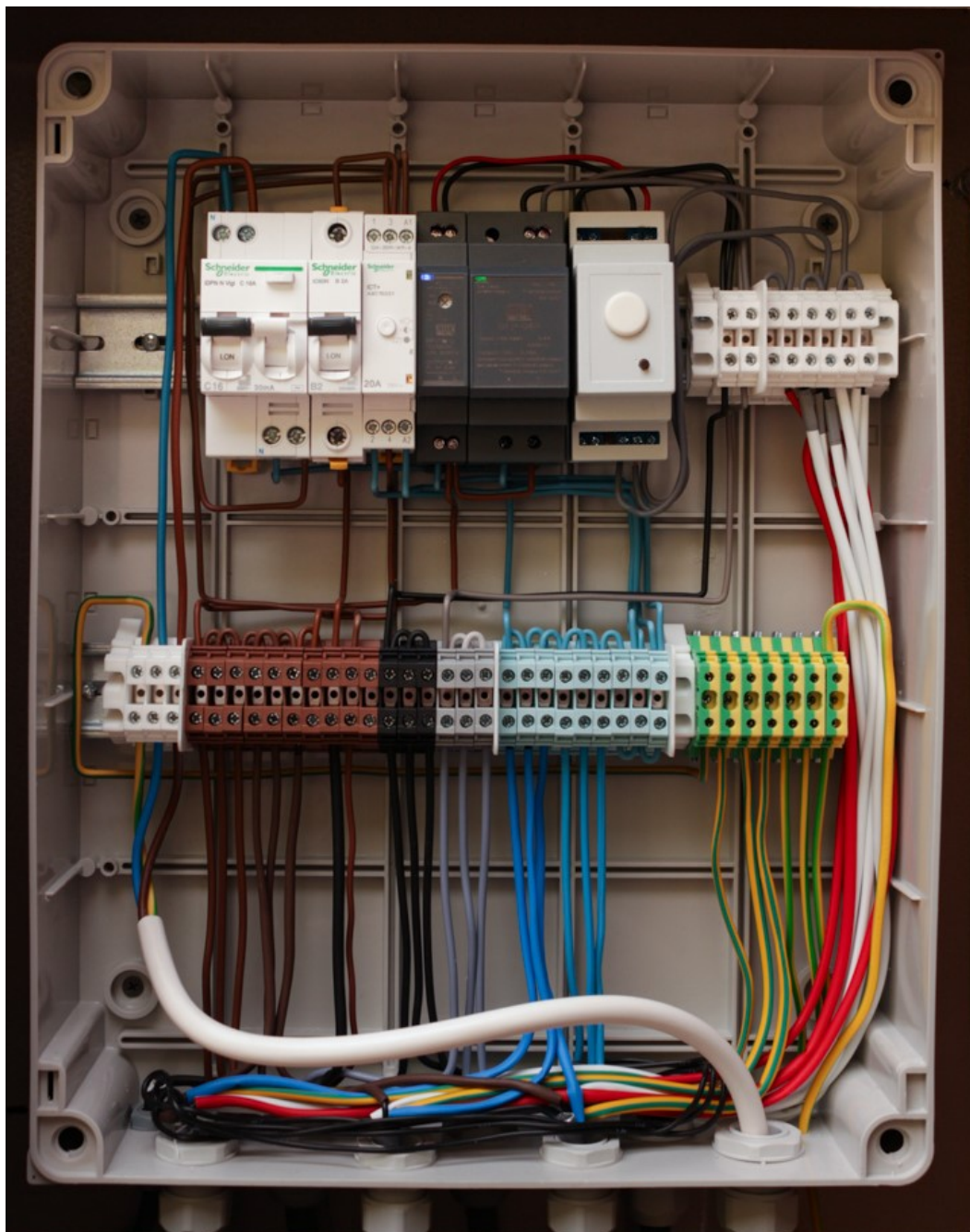
Obrázok A.2: Svetelné panely inštalované v saune

Dodatok B

Riadiaca jednotka



Obrázok B.1: Schéma zapojenia riadiacej jednotky



Obrázok B.2: Osadená riadiaca jednotka svetelného zdroja pre fototerapiu v rozvodnej skrinke