

Bakalářská práce



České
vysoké
učení technické
v Praze

F3

Fakulta elektrotechnická
Katedra řídicí techniky

Řízení světelného zdroje pro fototerapii

Barbora Havránková

Školitel: Ing. Jan Havlík, Ph.D.
Obor: Kybernetika a robotika
Květen 2022

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Havránková** Jméno: **Barbora** Osobní číslo: **492333**
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**
Zadávající katedra/ústav: **Katedra řídicí techniky**
Studijní program: **Kybernetika a robotika**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Řízení světelného zdroje pro fototerapii

Název bakalářské práce anglicky:

Light source control for phototherapy

Pokyny pro vypracování:

- 1) Seznamte se s problematikou fototerapie, biokompatibilního osvětlení a možnostmi jejich využití k podpoře léčby duševních onemocnění.
- 2) Navrhněte a implementujte firmware pro řídicí elektroniku biokompatibilního světelného zdroje.
- 3) Ověřte funkčnost navrženého firmware.

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.smr.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>.

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: **19.01.2022**

Termín odevzdání bakalářské práce: **20.05.2022**

Platnost zadání bakalářské práce:

do konce letního semestru 2022/2023

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

Poděkování

Mé díky patří zejména panu Ing. Janu Havlíkovi, Ph.D. za odborné vedení práce, za jeho ochotu, čas, trpělivost a za podporu, kterou mi během studia i během vypracování této práce poskytl.

Dále bych ráda poděkovala své rodině a blízkým, kteří mi byli nenahraditelnou oporou a bez nichž by tato práce nemohla vzniknout.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracovala samostatně a že jsem uvedla veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze dne

.....
Barbora Havránková

Abstrakt

Tato práce je věnována problematice fototerapie a vlivu osvětlení na člověka. Její náplní je teoretický rozbor těchto témat a následný návrh fototerapeutického zařízení vhodného pro domácí použití. Tím je světelná lampa. Obsahem návrhu je pak vhodná volba použitého hardwaru a softwarová implementace programu pro řízení světelného zdroje. Klíčové je zejména použití vývojové desky s čipem ESP8266 a použití DALI sběrnice, jež zajišťuje veškerou komunikaci.

Klíčová slova: fototerapie, biokompatibilní osvětlení, Arduino IDE

Školitel: Ing. Jan Havlík, Ph.D.
FEL
Praha 6, Technická 2

Abstract

This thesis is devoted to the problem of phototherapy and the effect of lighting on humans. It deals with the theoretical analysis of these topics and the subsequent design of phototherapy equipment, called a light lamp, suitable for home use. The design then includes the appropriate choice of hardware and the software implementation of the program for controlling the light source. In particular, the use of a microprocessor development board with an ESP8266 chip and the use of a DALI bus, which provides communication, are key.

Keywords: light therapy, biocompatible light, Arduino IDE

Title translation: Light source control for phototherapy

Obsah

1 Úvod	1
2 Vliv osvětlení na člověka	3
2.1 Vliv barevné teploty a intenzity osvětlení	3
2.2 Vliv spektrálního složení světla při použití LED	4
3 Fototerapie	5
3.1 Účinky terapie jasným světlem . .	5
3.2 Léčba sezónní afektivní poruchy .	5
3.3 Léčba deprese a bipolární afektivní poruchy	6
3.4 Srovnání s léčivy	6
3.5 Vliv na biologické hodiny	6
4 DALI protokol	7
4.1 Master-slave model	7
4.2 Obsah balíku a adresování	8
4.3 Manchester kódování	8
5 Popis a specifikace použití fototerapeutických zařízení	11
5.1 Světelná lampa	11
5.2 Světelný kufr	11
5.3 Světelná sauna	12
6 Realizace řídicí jednotky	13
6.1 Vývojová deska	13
6.2 Hodiny reálného času	14
6.3 DALI sběrnice	15
6.3.1 Příkazy	15
6.4 Ovládání tlačítkem	15
7 Požadavky a popis softwaru	17
7.1 Zadání a implementace	17
7.2 Popis programu	18
7.2.1 Setup	18
7.2.2 Přerušování (interrupt)	19
7.2.3 Hlavní smyčka (loop)	20
8 Výsledky a zhodnocení	23
8.1 Ověření funkčnosti	23
8.2 Diskuze	24
9 Závěr	25
Literatura	27



Kapitola 1

Úvod

Množství lidí s potvrzeným duševním onemocněním stále narůstá. Tento fakt je způsoben nejen častějším výskytem těchto onemocnění, ale také zvyšující se pozorností, která je tomuto tématu ve společnosti věnována. Proto narůstá také potřeba přicházet s novými, efektivnějšími a co nejméně škodlivými metodami pro léčbu psychických nemocí a/nebo udržování psychického zdraví.

Fototerapie je druh léčby, od které je očekáváno, že bude právě jednou z takových metod. Jedná se o neinvazivní léčbu, která představuje alternativu k léčbě farmakologické. Přestože výzkum v oboru fototerapie probíhá již několik desítek let, poskytuje toto odvětví stále mnoho otevřených možností pro nové oblasti jejího využití a také pro její optimalizaci.

Tato práce je pokračováním projektu započatého v roce 2020 a využívá tedy již zjištěných poznatků a závěrů provedených dalšími účastníky projektu, mezi nimiž je například Bc. Annamária Miheličová. [1] Cílem projektu je navrhnout a zkonstruovat tři přístroje určené k fototerapii. Tyto přístroje by mohly být využívány k léčbě pacientů se spánkovými či duševními poruchami a to s minimálními vedlejšími účinky, rychlou účinností a snadným použitím. Tato práce se zabývá zejména návrhem jednoho z nich, a tím je světelná lampa.

Projekt probíhá ve spolupráci se společností Spectrasol, jejíž zaměřením je vývoj biodynamických světelných systémů. Tato společnost navrhla světelný LED zdroj, jež je pro své spektrální složení vhodný pro aplikaci v terapeutických přístrojích určených k léčbě světlem a který je v této práci využit.

Kapitola 2

Vliv osvětlení na člověka

V prostorách s umělým osvětlením, například v práci nebo ve škole, tráví lidé podstatnou část svého každodenního života. Má proto jistě smysl zabývat se otázkou, zda (a jak) použité světlo ovlivňuje naši produktivitu, náladu, nebo i celkové pohodlí.

Roli zde hraje několik faktorů, jedním z nichž je barevná teplota. Jako teplé označme světlo s barevnou teplotou 3000 - 3500 K, jako neutrální světlo s barevnou teplotou 4000 K a jako studené světlo s barevnou teplotou >5000 K.

Dalšími důležitými, dále zmíněnými faktory jsou intenzita světla a také jeho spektrální rozložení.

2.1 Vliv barevné teploty a intenzity osvětlení

Většina lidí zřetelně vnímá rozdíly v barevné teplotě světla, jež je obklopuje. Ukazuje se, že s ohledem na celkové pohodlí i pohodlí očí lidé silně preferují neutrální bílé světlo před studeným bílým světlem. [2]

Naproti tomu, při ranním vystavení studenému světlu bylo zjištěno výraznější snížení úrovně melatoninu v těle oproti vystavení světlu teplému. Konkrétně, při převedení na procenta za použití vzorce

$$[(M_{pre} - M_{post})/M_{pre}] \cdot 100,$$

kde M_{pre} je úroveň hormonu před vystavením světlu a M_{post} je úroveň hormonu po vystavení světlu, klesl melatonin o 53.18 % pro studené světlo a o 20.17 % pro teplé světlo. Zároveň se u lidí lišil i subjektivní pocit únavy, lidé vystavení studenému světlu se cítili méně unavení. [3]

U mužů ovlivňuje barevná teplota a intenzita světla také paměť. Při použití teplém osvětlení se paměť ukázala jako výrazně horší než při neutrálním, či studeném osvětlení. Stejně tak při intenzivnějším osvětlení (1050 lx) byla paměť horší oproti méně intenzivnímu (650 lx). U žen nebyl zjištěn vliv těchto faktorů na paměť. [2]

2.2 Vliv spektrálního složení světla při použití LED

Vliv na lidský organismus byl zaznamenán také při použití LED se stejnou intenzitou i barevnou teplotou světla, ale s rozdílným spektrálním složením. To platí zejména u změny podílu modré a červené barvy, přičemž došlo také ke zvýšení indexu podání barev (CRI). Při použití LED s uzpůsobeným spektrem bylo zaznamenáno výrazně vyšší pohodlí očí účastníků studie a to ve všech fázích dne. Dále bylo zjištěno, že v ranních a večerních hodinách se účastníci výzkumu cítili šťastnější při použití upravené LED, než při použití klasické LED. [4]

Větší pohodlí očí, způsobené vyšší věrností barevného vjemu při použití světla s uzpůsobeným barevným spektrem, také vedlo k vyšší výkonnosti a lepší náladě. Všechny tyto faktory rovněž významně ovlivnily spánkový režim lidí podrobených výzkumu. [4]

Je pak prokázáno, že osvětlení spektrálně uzpůsobené lidským potřebám má příznivý dopad na čilost a spánek v kontrolovaných laboratorních podmínkách u zdravých jedinců s normálním spánkovým režimem. Z toho lze usuzovat, že i pro jedince s narušeným spánkovým režimem by mohlo být použití takové LED významným přínosem ke zlepšení kvality spánku, potažmo i kvality každodenního života. [4]

Kapitola 3

Fototerapie

Fototerapie je druh terapie využívající účinků světla na lidský organizmus. Používá se zejména při léčbě různých afektivních a spánkových poruch a mezi její hlavní výhody patří nízký výskyt vedlejších účinků, které jsou v naprosté většině případů mírné a převáženy účinností takto nasazené terapie. [5]

Bright light therapy (BLT) neboli terapie jasným světlem, je forma fototerapie, při které je aplikováno viditelné světlo o vysoké intenzitě (~7000 lx, přesná hodnota může být různá) v úrovni očí pacienta.

3.1 Účinky terapie jasným světlem

Mezi benefity BLT patří například zvýšení kvality spánku, stability spánku, snížení počtu probuzení přes noc a únavy přes den. Také zlepšuje náladu a snižuje halucinace u pacientů s Alzheimerovou chorobou. [6]

Výsledkem jedné ze studií na toto téma, prováděné v průběhu tří týdnů u lidí důchodového věku, kteří byli během druhého týdne denně po dobu hodiny a půl vystaveni světlu o intenzitě 7000 – 10 000 lx, bylo zaznamenání výrazného zlepšení kognitivních funkcí, hlavních cirkadiálních rytmů a kvality spánku. Konkrétně došlo ke zlepšení příznaků insomnie, příznaky hypersomnie zůstaly beze změny. [7]

Bright light therapy se ukazuje jako efektivní a dostupná terapie s rychlými účinky pro léčbu poruch, zejména spánkových, a to nejen spojených s věkem. [7]

3.2 Léčba sezónní afektivní poruchy

Sezónní afektivní porucha (SAD) je porucha projevující se opakujícími se depresemi v určitá roční období, zejména tedy na podzim a v zimě. [8] Výskyt této poruchy se pohybuje mezi 1.5% a 9% populace, v závislosti na zeměpisné šířce. Předvídatelnost jejího výskytu tedy dává šanci na její prevenci. [9]

Účastníci studie z roku 2019, kteří podstoupili fototerapii, měli výrazně nižší výskyt depresivních epizod než účastníci bez této léčby a to o 36%. Depresivní

epizoda se objevila u 43% účastníků podstupující fototerapii, oproti 67% u účastníků ze skupiny bez fototerapie. Zlepšení bylo zaznamenáno u lidí trpící SAD i v těžké formě. [9]

Navíc se ukazuje, že včasným použitím fototerapie v počátcích depresivní epizody lze zabránit rozvinutí deprese v zimním období. [10]

3.3 Léčba deprese a bipolární afektivní poruchy

V posledních desetiletích se fototerapie využívá zejména k léčbě sezónní afektivní poruchy [11], ale ukazuje se jako účinná i při léčbě deprese. Bylo zaznamenáno mírné až střední zlepšení symptomů deprese ve srovnání s placebem. [12] Stejně zlepšení symptomů deprese bylo zjištěno také u bipolární afektivní poruchy. [13]

3.4 Srovnání s léčivý

Dle některých studií by v léčbě deprese a dalších poruch mohla být fototerapie srovnatelná s farmakologickou léčbou antidepresivy, navíc pravděpodobně s rychlejšími účinky. Jiné studie ovšem označují léky za účinnější. Proto se ukazuje, že vůbec nejvýhodnější by mohlo být použití léků a fototerapie kombinovaně. Využito by pak mohlo být jak rychlosti účinku fototerapie, tak lépe ověřených dlouhodobých účinků antidepresiv. [14]

3.5 Vliv na biologické hodiny

Fototerapie ovlivňuje také biologické hodiny člověka a má za snahu je srovnat s přirozeným cyklem světla a tmy, a/nebo upravit míru jejich projevu (tedy jejich amplitudu). Mezi cíle tohoto snažení patří mimo jiné synchronizace spánkového cyklu se subjektivní nocí a posunutí biologických hodin tak, aby došlo k jejich přizpůsobení požadované době dne a noci a dosažení nepřímého ovlivnění nálady člověka za pomoci nastavení biologických hodin. [15]

Pro účely posouvání biologických hodin se jako nejúčinnější ukazuje modré světlo o vlnové délce přibližně 460 nm. [16] [17] Využití tohoto světla by mohlo odstranit potřebu světla o vysoké intenzitě, což bylo ve fototerapii po dlouho dobu považováno za nutnost. Nyní ale výzkum ukázal, že i světlo o intenzitě tak nízké, jakou má i běžné osvětlení v místnosti (~180 lx), má schopnost resetovat biologické hodiny. [18] Odtud vyplývá, že vystavení správně nastavenému osvětlení o běžné intenzitě by mohlo mít výsledky od fototerapie vyžadované. [15]

Kapitola 4

DALI protokol

Protokol DALI, neboli Digital Addressable Lighting Interface, slouží k zjednodušení a centralizaci řízení osvětlení pro komerční využití.

Jedná se o metodu řízení světelných jednotek, které se nacházejí jak v menších prostorech (například v jednotlivých místnostech), tak ve větších objektech, i komplexech několika budov. [19] Dovoluje ovládání samostatných jednotek, jejich skupin, ale i broadcast a poskytuje obousměrnou komunikaci a možnost několika inteligentních ztlumovacích funkcí. [20] [21]

Díky jim a také díky nízkým nákladům na údržbu patří mezi hlavní výhody DALI protokolu také úspora peněz. Nejen tyto vlastnosti ho staví nad další stmívací systémy na trhu, jako jsou například systémy 0-10 V nebo DSI (Digital Serial Interface). [19]

4.1 Master-slave model

V síti s DALI je využíván model master-slave, kde jeden master může ovládat až 64 zařízení typu slave. [20] Zařízení typu master odešle paket (forward message) kterémukoliv ze zařízení typu slave v systému a přijme od něj odpověď (backward message), pokud byla požadována. [21] Protože paket obsahuje mimo jiné adresu, na zprávu reaguje vždy pouze adresované zařízení. [22]

Koordinovaný přenos dat při použití modelu master-slave je zaručen tím, že je každá úloha rozdělena do tří fází. V první fázi proběhne na zařízení typu master předzpracování (preprocessing), v druhé fázi vykoná danou úlohu určené zařízení slave a v poslední fázi proběhne na master zařízení následné zpracování (postprocessing).

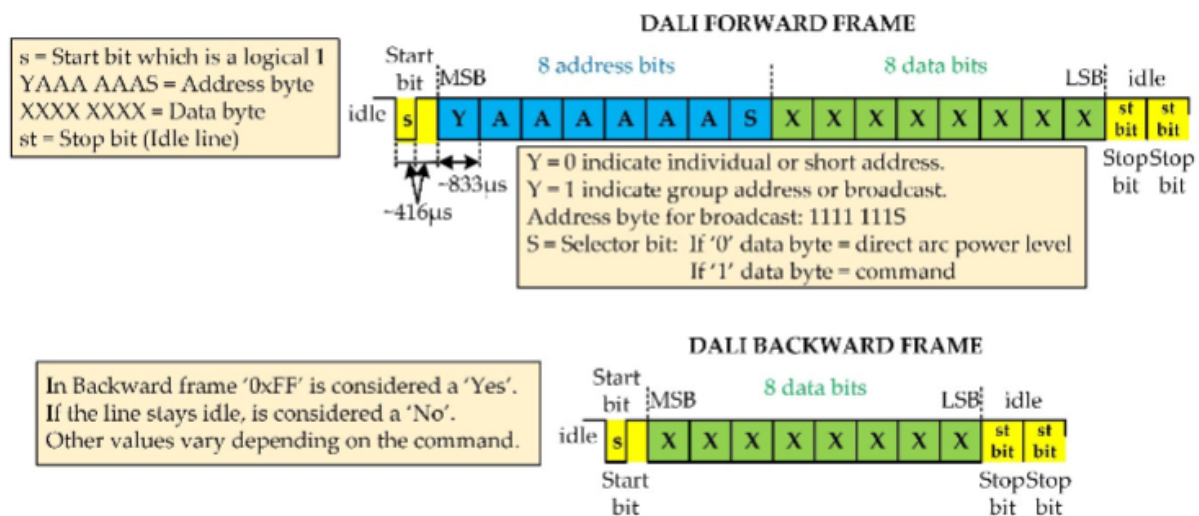
Pokud se jedná o model s pouze jedním zařízením master, jsou veškeré úkony zpracování vykonána stejným zařízením, v opačném případě je možné je přerozdělit různým zařízením master. [23]

4.2 Obsah paketu a adresování

Obsahem paketu je vždy adresa a příkaz. [24] Podrobně popsany formát paketu včetně významů jednotlivých bitů lze vidět na Obrázku 4.1. Paket odeslaný masterem (forward message) se skládá celkem z 19 bitů, prvním bitem je start bit, dalších osm bitů obsahuje adresu a dalších osm bitů příkaz. Poslední dva bity jsou stop bity. Odpověď, tedy backward message, se pak skládá z 11 bitů, z toho jeden start bit, osm bitů s daty a dva stop bity. [22]

Z bytu určeného k adresování v paketu odeslaném ovládacím prvkem je šest bitů vyhrazeno pro samotnou individuální adresu. Formát bytu je následující: YAAAAAS, kde Y obsahuje hodnotu '0', pokud je použita krátká adresa a hodnotu '1' pokud je použita adresa skupiny nebo broadcast. Bity A obsahují samotnou adresu a S obsahuje hodnotu '0', pokud se jedná o přímé řízení výkonu a hodnotu '1' pokud se jedná o příkaz. [22]

Krátká adresa náleží jednotlivým zařízením, skupinová adresa je pro skupinu vytvořenou z více než jednoho zařízení a broadcast pro všechna zařízení. Všechna zařízení mohou být připojena na stejnou DALI sběrnici [20] a mohou být rozdělena až do 16 skupin. Účelem dělení do skupin je snadné přednastavení a zasílání příkazů. Při použití přednastavení lze rychle přejít do požadovaného stavu svícení. Skupiny i přednastavení lze snadno změnit stejným způsobem jakým byla původně nastavena. [19]



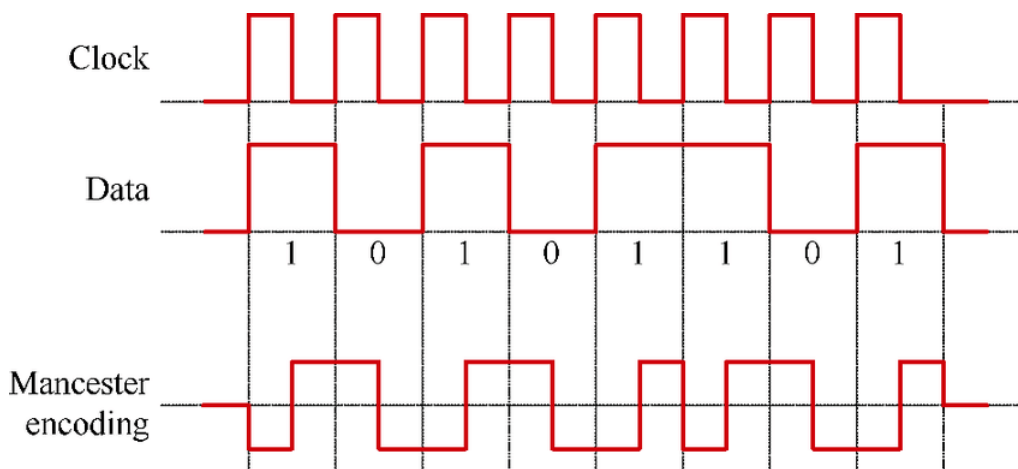
Obrázek 4.1: Formát paketu [24]

4.3 Manchester kódování

Při komunikaci přes DALI sběrnici je pro převod příkazu na elektrický signál využíváno kódování Manchester. [25] V této práci je pak konkrétně využito

kódování Manchester IEEE 802.3, jehož princip je ukázán na Obrázku 4.2. Na tomto obrázku lze vidět příklad kódování pro hodinový signál a data ve tvaru "10101101" a poté výsledek kódování tohoto bytu.

Manchester kódování kombinuje data a hodinový signál v jeden synchronizovaný tok dat. V něm každý bit obsahuje přechodnou hranu uprostřed jeho intervalu a směr takové hrany určuje, zda se jedná o bit s hodnotou '0' nebo '1'. [26] Pokud se jedná o sestupnou hranu, má bit hodnotu '0', pokud o náběžnou, má bit hodnotu '1'. [27] Tedy v první polovině intervalu má signál komplementární hodnotu ke své pravé bitové hodnotě, druhá polovina intervalu pravé hodnotě bitu odpovídá.



Obrázek 4.2: Kódování Manchester [27]

Kapitola 5

Popis a specifikace použití fototerapeutických zařízení

Součástí celého projektu jsou celkem tři zařízení pro fototerapii. Jedním z nich je objekt určený ke stálé instalaci, tím je světelná sauna. Další dvě jsou mobilní zařízení, které je možné přemísťovat dle aktuální potřeby, těmi jsou světelný kufr a světelná lampa. Návrhem světelné lampy se zabývá právě tato práce. Uvedená zařízení se od sebe liší zejména použitím, ke kterému jsou určena.

5.1 Světelná lampa

Světelná lampa je určena pro domácí použití a to nejen bez lékařského dozoru, ale i bez nutnosti předcházející lékařské konzultace. Jedná se o zařízení, které je vhodné jak pro osoby trpící poruchami, pro jejichž léčení byla fototerapie dříve doporučena a chtějí dále, například i po skončení léčby, využívat jejích účinků, tak pro osoby, které chtějí dbát o své celkové zdraví, vyrovnávat svůj denní cyklus, zlepšit kvalitu svého spánku a minimalizovat úroveň únavy přes den. Lampu je možné instalovat do běžné domácnosti, přemísťovat dle potřeby a využít ji jako jeden ze zdrojů osvětlení. Svícení lampy je regulováno dle denní doby a tedy i dle potřeb lidského organismu.

Oproti ostatním zařízením uvedeným v této práci není nutné, aby se člověk při používání světelné lampy věnoval výhradně této činnosti. Lampu lze mít pouze umístěnou v místnosti, kde se člověk nachází, čímž bude využívat jejích účinků a zároveň se může věnovat jiným aktivitám.

5.2 Světelný kufr

Světelný kufr je přenosné zařízení určené k domácí léčbě. Vzhledově připomíná klasický kufr a rozměrově je navržen pro snadné cestování. Uvnitř kufru se nacházejí dvě desky s osvětlením. Zařízení před sebe pacient rozloží, například na stolní desku, a nechá na sebe světlo působit po dobu určenou jeho ošetřujícím lékařem.

Kapitola 6

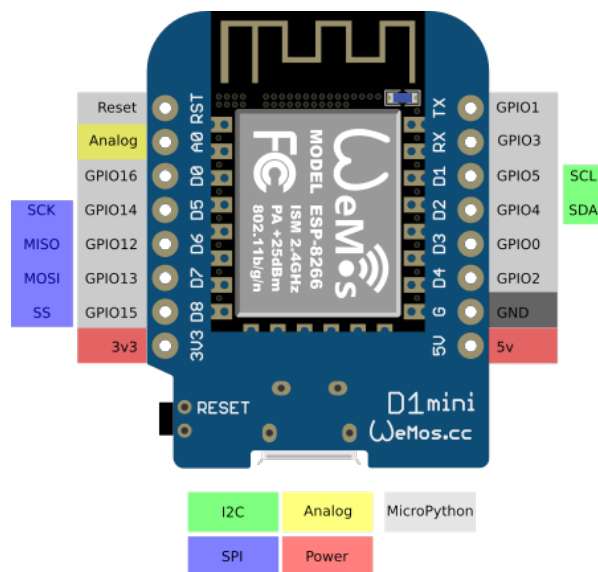
Realizace řídicí jednotky

Světelný zdroj je řízen komponentami vhodnými pro instalaci do fototerapeutického přístroje. Pro řízení a správný běh světelné lampy je využita zejména vývojová deska založená na ESP8266, dále hodiny reálného času a tlačítko. Pro zajištění komunikace je použita připojená DALI sběrnice.

6.1 Vývojová deska

Jako jednotka pro komunikaci a zpracování dat je použita vývojová deska ESP8266 Wemos D1 mini s WiFi modulem. Tato deska je kompatibilní s Arduino platformou, obsahuje řešení pro WiFi připojení přes TCP/IP protokol a podporuje více komunikačních rozhraní, mezi nimi například SPI, UART nebo I2C. Napájecí napětí desky je 3,3 V nebo 5 V.

Na desce se nachází USB Micro konektor, 11 digitálních vstupně výstupních pinů a jeden analogový vstup. Pinout desky lze vidět na Obrázku 6.1. Deska se vyznačuje malými rozměry, poměrně nízkou spotřebou a vysokou rychlostí (frekvence procesoru je 160 MHz). [28]



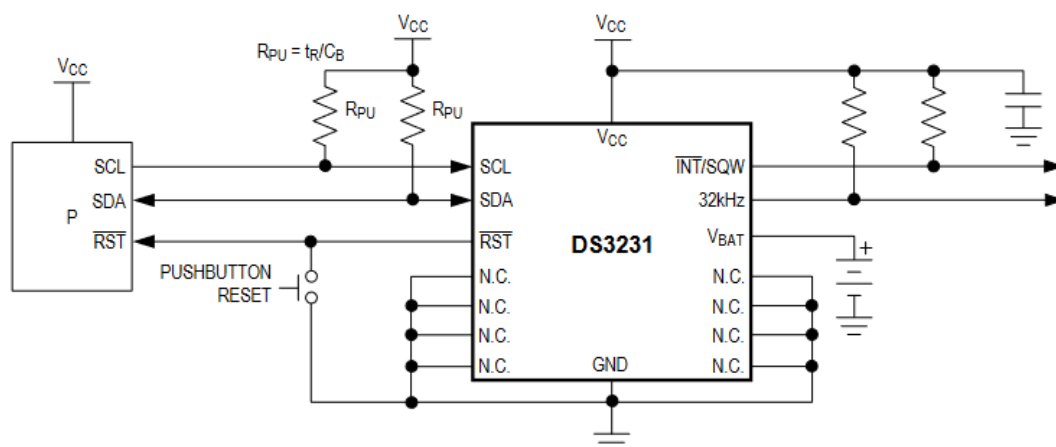
Obrázek 6.1: Wemos D1 mini pinout [29]

Pro účely této práce je na pin GPIO0 připojeno tlačítko, GPIO14 slouží jako TX pin pro DALI sběrnici, GPIO16 slouží jako RX pin pro DALI sběrnici a piny GPIO4 a GPIO5 jsou vyhrazeny pro připojení hodin reálného času, tedy slouží jako SDA a SCL.

6.2 Hodiny reálného času

Jelikož je stav svícení lampy nastavován dle denní doby, případně dle požadovaného časového režimu, je nutné průběžně zjišťovat aktuální čas. To je zajištěno pomocí hodin reálného času (RTC) DS3231.

Modul DS3231 obsahuje teplotně kompenzovaný krystalový oscilátor (TCX0) a krystal, jež zajišťují dlouhodobou přesnost. Hodiny lze napájet nejen z externího zdroje, ale také z přidané baterie, proto jsou schopny uchovat časový údaj i po odpojení od napájení. Tento časový údaj obsahuje sekundy, minuty, hodiny, dny, měsíce a roky, včetně započtení různě dlouhých měsíců a přestupných let. Nastavit lze buď 12hodinový formát s rozlišením AM/PM nebo námi používaný 24hodinový formát. Dále poskytuje možnost nastavení dvou alarmů. Adresy a data jsou přenášena přes I2C obousměrnou sběrnici. Při prvním zapojení, či resetování poskytují hodiny informaci 01/01/00 01 00:00:00. Informace o čase je ve formátu DD/MM/YY DOW HH:MM:SS, tedy datum, den v týdnu (názvy dní v týdnu odpovídající číslům jsou nastaveny uživatelem) a čas s přesností na sekundy. Správný časový údaj lze nastavit zapsáním do příslušných bytů. [30] Zapojení modulu je na Obrázku 6.2, včetně jeho napájení, hodinového signálu (synchronous clock, SCL), datového kanálu (synchronous data, SDA) a resetu.



Obrázek 6.2: Typické zapojení modulu DS3231 [30]

Pro nastavení a ovládání RTC byla použita knihovna Wire, která umožňuje komunikaci s I2C zařízeními a také knihovna RTCLib od autora NeuroN, která je volně přístupná přímo ve vývojovém prostředí pro Arduino nebo na GitHubu.

6.3 DALI sběrnice

DALI sběrnice je v této práci použita pro komunikaci mezi čipem ESP8266 a předřadníky, slouží tedy přímo k předání dat a adres použitých pro řízení svícení lampy.

6.3.1 Příkazy

Pro usnadnění komunikace přes DALI byly použity připravené příkazy. Význam vybraných příkazů je následující:

- **SetMaxLevel** (`int maxLevel`) - nastavení maximální úrovně jasu na `maxLevel` pro všechna zařízení; hodnota `maxLevel` je mezi 0 a 254 a na procentuální hodnotu jasu se přepočítá pomocí vzorce

$$J = 0.1 \cdot \sqrt[253]{1000}^{N-1} [\%]$$
- **BroadcastOnOff** (`bool state`) - vypnutí nebo zapnutí všech zařízení dle hodnoty proměnné `state`
- **ShortOnOff** (`int shortAddress`, `bool state`) - vypnutí nebo zapnutí zařízení s krátkou adresou `shortAddress` dle hodnoty proměnné `state`
- **GroupOnOff** (`int groupAddress`, `bool state`) - vypnutí nebo zapnutí všech zařízení, která jsou členem skupiny s adresou `groupAddress` dle hodnoty proměnné `state`
- **DaliTransmitCMD** (`uint8_t part1`, `uint8_t part2`) - přímé odeslání bitů po sběrnici; zpravidla ve formátu adresa jako `part1` a data jako `part2`, nebo se jedná o speciální příkaz kdy se funkce jednotlivých částí liší dle povahy příkazu

6.4 Ovládání tlačítkem

Pro zapínání a vypínání lampy a přepínání režimů uživatelem je použito jednoduché tlačítko, jehož debouncing je ošetřen softwarově. Logika ovládání odpovídá požadavkům popsaným v sekci 7.1 a je tedy:

- Jeden krátký stisk - zapnutí/vypnutí lampy
- Dva krátké stisky - časový posun +1 hodina oproti aktuálně nastavenému času pokud je povolen
- Jeden dlouhý stisk - přepnutí mezi nočním a denním režimem
- Tři krátké stisky - zapnutí svícení o plném jasu

Kapitola 7

Požadavky a popis softwaru

7.1 Zadání a implementace

Ze strany zadavatele byly vymezeny jasné požadavky na logiku řízení světelného zdroje a na průběh jeho svícení při použití světelné lampy. Tyto požadavky se liší dle konkrétního účelu daného zařízení, které může být využíváno buď v ukázkovém režimu (pro představení přístroje a jeho propagaci) nebo jako výsledný komerční produkt.

V ukázkovém režimu má být ovládání lampy následující:

- Jeden krátký stisk - zapnutí/vypnutí lampy (vždy zapnutí do aktuální konfigurace)
- Dva krátké stisky - poprvé: časový posun o jednu hodinu dopředu, podruhé: časový posun o další hodinu dopředu (posun o více než dvě hodiny není uživateli povolen)
- Jeden dlouhý stisk - poprvé: časový posun zpět (posun proběhne až k předcházející půlnoci), podruhé: časový posun vpřed (posun proběhne až do nadcházející půlnoci)
- Tři krátké stisky - nouzové rozsvícení lampy o plném jasu

Pro komerční produkt pak bylo zadáno ovládání dle této logiky:

- Jeden krátký stisk - zapnutí/vypnutí lampy (vždy zapnutí do aktuální konfigurace)
- Dva krátké stisky - poprvé: časový posun o jednu hodinu dopředu, podruhé: časový posun o další hodinu dopředu (posun o více než dvě hodiny není uživateli povolen)
- Jeden dlouhý stisk - poprvé: časový posun až do plně nočního režimu, podruhé: časový posun zpět z plně nočního režimu do aktuálního času
- Tři krátké stisky - nouzové rozsvícení lampy o plném jasu

Softwarová implementace zadané logiky řízení byla realizována pomocí konečného stavového automatu (FSM). Tato metoda byla zvolena pro svou přehlednost a snadné rozlišení mezi jednotlivými stavy, ve kterých se zařízení může nacházet. Dále také umožňuje bezproblémový přechod mezi takovými stavy.

Další požadavky jsou kladeny na běh lampy v automatické režimu. V tomto režimu podléhá intenzita svícení nastavení pro danou denní a roční dobu, které bude upřesněno a nakalibrováno v průběhu dalšího testování.

7.2 Popis programu

Hlavní programová část zajišťující řízení světelné lampy byla realizována ve vývojovém prostředí pro Arduino a skládá se ze tří hlavních částí: setup, přerušení a hlavní smyčka. Tyto části tvoří celek umožňující testování světelné lampy a její použití v podobě komerčního produktu.

7.2.1 Setup

Část programu setup obsahuje základní nastavení potřebné ke správnému běhu celého programu. Tím je zejména nastavení I/O pinů a připojení funkce obsluhy přerušení na pin externího přerušení následujícím příkazem:

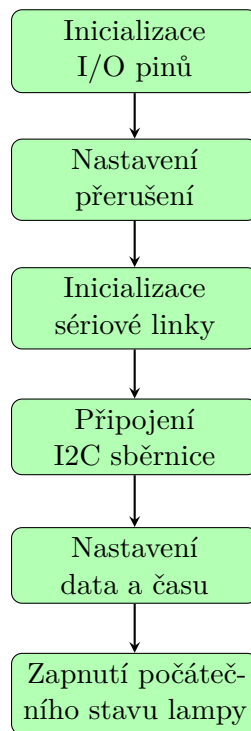
```
attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(BUTTON_PIN), button_change, CHANGE);
```

Dle tohoto příkazu dojde ke spuštění funkce `button_change` při změně logické úrovně na pinu `BUTTON_PIN`.

Dále tento segment provádí inicializaci sériové linky a sběrnice pro hodiny reálného času. Součástí setupu je také nastavení lampy do počátečního stavu svícení.

■ Vývojový diagram

Průběh inicializační části programu lze názorně vidět na následujícím vývojovém diagramu.



7.2.2 Přerušení (interrupt)

K přerušení dochází, jestliže nastane změna logické úrovně na pinu externího přerušení, tedy na pinu s připojeným tlačítkem. Součástí přerušení je i debouncing tlačítka.

Význam této části kódu je v uchovávání času stisknutí tlačítka pro případné zjištění dlouhého stisku a také zaznamenávání počtu předchozích stisknutí pro případné zjištění několikanásobného stisku.

Při vyvolání přerušení tedy nejprve dojde k záznamu času jeho spuštění. Pokud od předchozího přerušení uběhla doba kratší než 80 ms (tento čas je nastaven pomocí konstanty `DEBOUNCE_MILLIS` a lze jej přizpůsobit dle konkrétního hardwaru), je změna stavu tlačítka vyhodnocena jako nevalidní, neboť došlo pouze k jeho zákmitu.

Pokud je změna stavu vyhodnocena jako validní, postupuje se k jejímu vyhodnocení. Jestliže bylo tlačítko pouze stisknuto, neboli "button down", je zapsán čas stisku pro spuštění odpočtu doby, po které je stisk považován za dlouhý. Tato doba je 850 ms a je uložena v konstantě `MIN_LONG_PRESS`. Program tímto přejde do stavu "long_press_pending", tedy možnost dlouhého stisku. Pokud bylo tlačítko puštěno, tedy "button up", je zastaven odpočet doby pro dlouhý stisk a případně se vyhodnotí druh stisku krátkého.

Jestliže v rámci posledních 250 ms (konstanta `MAX_DOUBLE_GAP`) nebyl zaznamenán žádný krátký stisk, přejde program do stavu "double_pending",

tedy potenciální možnost dvojitého stisku. Pokud se program ve stavu "double_pending" již nachází, což znamená, že nějaký předchozí stisk byl zaznamenán, přejde do stavu "triple_pending", tedy potenciální možnost trojitého stisku. Pokud je program již ve stavu "triple_pending", jsou všechny předchozí stisky zapomenuty a stisk je vyhodnocen jako trojitý.

■ 7.2.3 Hlavní smyčka (loop)

Pomocí hlavní smyčky programu je řízeno veškeré svícení lampy v závislosti na denní době a na uživatelských požadavcích.

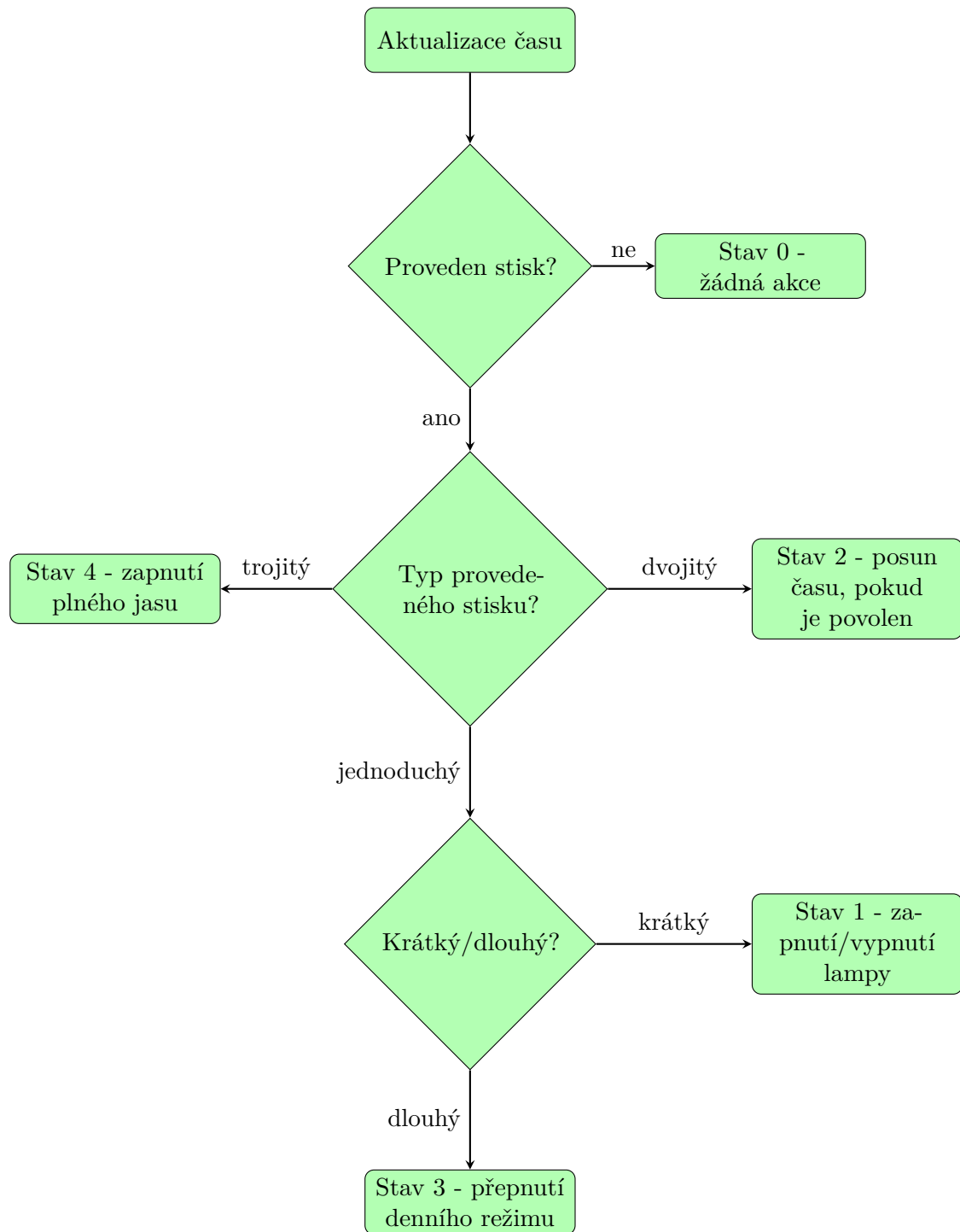
V průběhu smyčky loop nejprve dojde k aktualizování času a vypsaní této informace sériovou linkou. Dále je vyhodnocen stav, ve kterém se program nachází (`long_press_pending`, `double_pending`, `triple_pending`) a je také vyhodnoceno, zda jsou splněny časové podmínky pro potvrzení některého ze stisků. Dle rozhodnutí o druhu stisku je zapsán příslušný stavu pro stavový automat, kterým je řešeno vykonávání požadovaných akcí. Význam jednotlivých stavů je následující:

- Stav 0 - výchozí stav, není požadována žádná akce
- Stav 1 - došlo k jednoduchému krátkému stisku, volání `BroadcastOnOff(ON)` nebo `BroadcastOnOff(OFF)`, podle předchozího stavu svícení
- Stav 2 - došlo ke dvojitému krátkému stisku, posun v čase o jednu hodinu pomocí `rtc.adjust()` nebo žádná akce, pokud již k posunu nemá dojít (viz 6.4)
- Stav 3 - došlo k dlouhému stisku, rozsvícení teplého nebo studeného světla pomocí `ShortOnOff(shortAddress, ON)`, nastavení režimu dne
- Stav 4 - došlo ke trojitému krátkému stisku, nastavení plného jasu pomocí `SetMaxLevel(254)` a `BroadcastOnOff(ON)`

Informace o stavu programu a vykonávaných příkazech jsou průběžně vypisovány sériovou linkou.

■ Vývojový diagram

Graficky znázorněný průběh hlavní ovládací smyčky se stavovým automatem lze vidět na vývojovém diagramu.



Kapitola 8

Výsledky a zhodnocení

8.1 Ověření funkčnosti

Ověření funkčnosti implementovaného firmwaru pro řízení světelného zdroje pro fototerapii bylo provedeno v laboratorních podmínkách. K tomuto ověření byly kromě řídicí jednotky použity i DALI předřadníky a LED panely odpovídající svými vlastnostmi předřadníkům a panelům použitým v reálné lampě. K testování docházelo jak průběžně, kdy byly testovány dílčí části kódu, tak i na závěr, kdy byl testován kompletní firmware řídicí jednotky.

Použité LED panely byly osazeny bílými LED s teplou (2700 K) a studenou (4000 K) barevnou teplotou tak, aby co nejvíce odpovídaly barevnému podání světla emitovaného biodynamickou lampou. Použitá řídicí jednotka obsahovala veškerý hardware zmíněný v kapitole 6, tedy vývojovou desku, hodiny reálného času a tlačítko. Pro napájení DALI sběrnice byl použit stabilizovaný zdroj, vývojová deska byla napájena přímo z počítače, ke kterému byla připojena.

K průběžnému testování docházelo vždy po dokončení jednotlivých funkčních celků, respektive jednotlivých bloků navrženého firmwaru. Takové testování sloužilo nejen k ověření funkčnosti a odstraňování chyb, ale zejména pak k aktualizaci požadavků od zadavatele a jeho seznámení se stavem projektu.

Závěrečné ověření funkčnosti pak bylo provedeno na řídicí jednotce v jejím finálním provedení. Byl tak ověřen veškerý implementovaný firmware popsáný v sekci 7.2 a splnění všech požadavků, popsáných v sekci 7.1.

Testováno bylo zejména nastavení časových údajů a časového posunu, který slouží ke správnému přepínání denních režimů a tím i režimu svícení lampy. Pro tento účel sloužil výpis časových údajů přes sériovou linku a následně také výstup světelných panelů. Pomocí něj byla také ověřena komunikace přes DALI sběrnici. Příkazy posílané přes sběrnici byly rovněž vypisovány, včetně jejich požadovaného efektu.

Výsledky provedeného testování prokázaly správnost navrženého konceptu a jeho implementace. Problémy, na které bylo naraženo v průběhu testování, byly průběžně odstraňovány. Splnění zadaných požadavků na řízení bylo ověřeno prostřednictvím komunikace po sériové lince a taktéž i sledováním

výstupu na fyzickém zařízení, včetně kontrolních měření řídicích signálů osciloskopem.

8.2 Diskuze

Největší překážkou realizace projektu se ukázaly být obtíže se sjednocením všech hardwarových komponent projektu a použitých softwarových knihoven a také komunikace vývojového prostředí s použitými vývojovými deskami. Součástí tohoto problému byly opakované problémy s kompatibilitou použitých knihoven s mikrokontrolérem, které se objevovaly i přes jejich předchozí úspěšné použití v jiné části projektu. Důvodem byly zřejmě zejména kolize verzí používaného hardwaru a verzí specifikací vývojových desek ve vývojovém prostředí, i když toto se doposud nepodařilo uspokojivě prokázat.

Přestože řídicí jednotka byla v rámci této práce kompletně otestována v laboratorních podmínkách, před komerčním nasazením v biodynamické lampě bude nutné provést další testy v reálných podmínkách přímo na zařízení lampy, která paralelně vzniká. Testování v reálných podmínkách by mělo být prováděno ve větším časovém rozmezí, při kterém bude zařízení v nepřetržitém běhu, pro odhalení případných chyb, jež nejsou v laboratorních podmínkách zřetelné. Taktéž bude třeba provést testy uživatelské přívětivosti, neboť ta má být jistě nedílnou součástí výsledku. Její otestování na reálném zařízení a kladné výsledky těchto testů budou významné pro uvedení zařízení na trh.

Kapitola 9

Závěr

Účelem práce bylo zejména navázat na započatý projekt návrhu tří zařízení pro fototerapii a stát se tak součástí projektového týmu. Uvedená zařízení staví na podobných principech, liší se však účelem použití a tím se odlišuje i jejich výsledná realizace. Návrhy jednotlivých zařízení jsou také v různém stádiu vývoje. Již zkonstruovaná světelná sauna se nachází v Národním ústavu duševního zdraví (NUDZ) v Klecanech a je již používána v klinické praxi, světelný kufr a světelná lampa jsou nyní předmětem dokončování a připravují se k uvedení do provozu. Poslední zmiňované zařízení je také hlavním tématem této práce.

Náplní teoretické části práce bylo seznámení s vlivem osvětlení na člověka, a to jak pozitivním tak negativním, a také s metodou terapie světlem, tedy s fototerapií. Kapitola věnující se tomuto tématu popisuje její některá odvětví, možnosti použití, výsledky výzkumu prováděného v tomto oboru a také srovnání s alternativním druhem léčby.

Dále se teoretický segment práce zabývá principem komunikace přes DALI sběrnici a možným použitím zmiňovaných fototerapeutických zařízení.

Další část práce popisuje samotný návrh řízení světelného zdroje. Hardware zmiňovaný v této části zahrnuje mimo jiné vývojovou desku ESP8266 Wemos D1 mini, jež je klíčovým prvkem pro realizaci řídicí jednotky. Softwarová část řízení byla implementována v prostředí Arduino IDE a jejím účelem bylo umožnění ovládní zařízení uživatelem a také vytvoření prostředí pro snadné testování zařízení.

Výsledná funkčnost světelné lampy splňuje požadavky ze zadání práce upřesňované spolupracující firmou. Tyto požadavky zahrnují mimo jiné svícení lampy v různých režimech uzpůsobených konkrétní denní době. Toto regulované svícení bude sloužit k vytváření prostředí vyhovujícímu dennímu cyklu člověka.



Literatura

- [1] A. Miheličová, “Řídící jednotka světelného zdroje pro fototerapii,” B.S. thesis, České vysoké učení technické v Praze. Vypočetní a informační centrum., 2021.
- [2] W. Yang and J. Y. Jeon, “Effects of correlated colour temperature of led light on visual sensation, perception, and cognitive performance in a classroom lighting environment,” *Sustainability*, vol. 12, p. 4051, 5 2020.
- [3] K. Choi, C. Shin, T. Kim, H. J. Chung, and H.-J. Suk, “Awakening effects of blue-enriched morning light exposure on university students’ physiological and subjective responses,” *Scientific Reports*, vol. 9, p. 345, 12 2019.
- [4] 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, pp. 1044–1062, 11 2019.
- [5] M. Terman and J. S. Terman, “Bright light therapy: Side effects and benefits across the symptom spectrum,” *Journal of Clinical Psychiatry*, vol. 60, 1999.
- [6] S. Ancoli-Israel, P. Gehrman, J. L. Martin, T. Shochat, M. Marler, J. Corey-Bloom, and L. Levi, “Increased light exposure consolidates sleep and strengthens circadian rhythms in severe alzheimer’s disease patients.,” *Behavioral sleep medicine*, vol. 1, 2003.
- [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, 5 2020.
- [8] N. E. Rosenthal, D. A. Sack, J. C. Gillin, A. J. Lewy, F. K. Goodwin, Y. Davenport, P. S. Mueller, D. A. Newsome, and T. A. Wehr, “Seasonal affective disorder: A description of the syndrome and preliminary findings with light therapy,” *Archives of General Psychiatry*, vol. 41, 1984.

- [9] B. Nussbaumer-Streit, C. A. Forneris, L. C. Morgan, M. G. V. Noord, B. N. Gaynes, A. Greenblatt, J. Wiplinger, L. J. Lux, D. Winkler, and G. Gartlehner, “Light therapy for preventing seasonal affective disorder,” *Cochrane Database of Systematic Reviews*, 3 2019.
- [10] Y. Meesters, P. A. Lambers, J. H. Jansen, A. L. Bouhuys, D. G. Beersma, and R. H. van den Hoofdakker, “Can winter depression be prevented by light treatment?,” *Journal of Affective Disorders*, vol. 23, 1991.
- [11] X. Li and X. Li, “The antidepressant effect of light therapy from retinal projections,” *Neuroscience Bulletin*, vol. 34, pp. 359–368, 4 2018.
- [12] L. Tao, R. Jiang, K. Zhang, Z. Qian, P. Chen, Y. Lv, and Y. Yao, “Light therapy in non-seasonal depression: An update meta-analysis,” *Psychiatry Research*, vol. 291, p. 113247, 9 2020.
- [13] R. W. Lam, M. Y. Teng, Y.-E. Jung, V. C. Evans, J. F. Gottlieb, T. Chakrabarty, E. E. Michalak, J. K. Murphy, L. N. Yatham, and D. K. Sit, “Light therapy for patients with bipolar depression: Systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials,” *The Canadian Journal of Psychiatry*, vol. 65, pp. 290–300, 5 2020.
- [14] D. F. Kripke, “Light treatment for nonseasonal depression: Speed, efficacy, and combined treatment,” *Journal of Affective Disorders*, vol. 49, 1998.
- [15] A. Shirani and E. K. S. Louis, “Illuminating rationale and uses for light therapy,” *Journal of Clinical Sleep Medicine*, vol. 05, pp. 155–163, 4 2009.
- [16] V. L. Warman, D. J. Dijk, G. R. Warman, J. Arendt, and D. J. Skene, “Phase advancing human circadian rhythms with short wavelength light,” *Neuroscience Letters*, vol. 342, 2003.
- [17] S. W. Lockley, G. C. Brainard, and C. A. Czeisler, “High sensitivity of the human circadian melatonin rhythm to resetting by short wavelength light,” *Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism*, vol. 88, 2003.
- [18] D. B. Boivin and C. A. Czeisler, “Resetting of circadian melatonin and cortisol rhythms in humans by ordinary room light,” *NeuroReport*, vol. 9, 1998.
- [19] L. Meyer, “An introduction to digital addressable lighting interface (dali) systems & study of a dali day lighting application,” 2007.
- [20] L. Zhang, C. Li, Y. Wang, and Y. Xia, “Digital addressable lighting interface protocol over wireless mesh network,” 2019.
- [21] F. J. Bellido-Outeiriño, F. J. Quiles-Latorre, C. D. Moreno-Moreno, J. M. Flores-Arias, I. Moreno-García, and M. Ortiz-López, “Streetlight control system based on wireless communication over dali protocol,” *Sensors (Switzerland)*, vol. 16, 2016.

- [22] F. Bellido-Outeirino, J. Flores-Arias, F. Domingo-Perez, A. G. de Castro, and A. Moreno-Munoz, "Building lighting automation through the integration of dali with wireless sensor networks," *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, vol. 58, pp. 47–52, 2 2012.
- [23] J. Y. Leung and H. Zhao, "Scheduling problems in master-slave model," *Annals of Operations Research*, vol. 159, 2008.
- [24] Adam, "Dali led driver control system for lighting operations based on raspberry pi and kernel modules," *Electronics*, vol. 8, p. 1021, 9 2019.
- [25] W. C. Pu and C. Y. Tsai, "Development of automatic digital control interface for addressing a lighting equipment system using high power load," *Sensors and Materials*, vol. 33, 2021.
- [26] M. H. Weik, "Manchester encoding," 2000.
- [27] L. Zheng, J. Yu, Q. Yang, Y. Gao, and F. Sun, "Vibration wave downhole communication technique," *Petroleum Exploration and Development*, vol. 44, 2017.
- [28] E. S. I. Team, "Esp8266ex datasheet." <http://bbs.espressif.com/>, 2015.
- [29] P. Němec, "Wemos d1 mini gpio pinout pro arduino ide." <https://nemec.cz/wemos-d1-mini-gpio-pinout-pro-arduino-ide/>, 2012.
- [30] I. Maxim Integrated Products, "Ds3231." <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS3231.pdf>, 2015.