



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH  
TECHNOLOGIÍ**

**ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY**

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION  
DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

# **ŘÍZENÍ KLIMATICKÝCH VLASTNOSTÍ PĚSTEBNÍHO BOXU**

CONTROL SYSTEM FOR GREENHOUSE

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

MASTER'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

**Bc. FILIP HARING**

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

**doc. Ing. ZDENĚK BRADÁČ, Ph.D.**

BRNO 2015



VYSOKÉ UČENÍ  
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií

Ústav automatizace a měřicí techniky

# Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor  
Kybernetika, automatizace a měření

**Student:** Bc. Filip Haring

**ID:** 125437

**Ročník:** 2

**Akademický rok:** 2014/2015

## NÁZEV TÉMATU:

**Řízení klimatických vlastností pěstebního boxu**

## POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Navrhněte a realizujte elektronický řídicí systém pro řízení klimatických poměrů ve speciálním pěstebním boxu.

1. Provedte literární rešerši.
2. Navrhněte a realizujte koncepci tak, aby k němu bylo možné připojit nezbytné sensory, akční členy a další příslušenství. Předmětem řízení je půdní a vzdušná vlhkost, teplota, intenzita a barevná teplota osvětlení atd.
3. Navrhněte a realizujte elektroniku systému, realizujte DPS, osadte je součástkami a oživte.
4. Vytvořte komplexní programové vybavení, které umožní ovládání a administrování systému.
5. Otestujte funkčnost a demonstруйте ji.

## DOPORUČENÁ LITERATURA:

Pavel Herout: Učebnice jazyka C, KOPP, 2004, IV. přepracované vydání, ISBN 80-7232-220-6  
Dle pokynů vedoucího práce.

**Termín zadání:** 9.2.2015

**Termín odevzdání:** 18.5.2015

**Vedoucí práce:** doc. Ing. Zdeněk Bradáč, Ph.D.

**Konzultanti diplomové práce:**

**doc. Ing. Václav Jirsík, CSc.**

*Předseda oborové rady*

## UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

## **ABSTRAKT**

Táto práca sa zaoberá návrhom a realizáciou elektronického riadiaceho systému, ktorý je určený pre riadenie klimatických podmienok v špeciálnom pestovateľskom boxe. Namerané veličiny sa následne zobrazujú na grafickom LCD displeji, odosielajú do aplikácie v PC a zobrazujú na webovom rozhraní. Práca rieši softwarovú a hardwarovú realizáciu riadiaceho systému.

## **KLÚČOVÉ SLOVÁ**

umelé osvetlenie, kultivácia rastlín v umelých podmienkach, LED osvetlenie rastlín, výkonové LED, riadený zdroj prúdu, automatizačná jednotka, mikrokontrolér, ATmega 2560, meranie teploty, meranie vlhkosti, meranie prúdu, ENC28J60

## **ABSTRACT**

This project deals with design and implementation of control system, which is used for regulation climate conditions in special grow box. Measured values are displayed on graphic LCD, sent to application in PC or displayed on web server. The project solves software and hardware implementation of measurement system.

## **KEYWORDS**

artificial lighting, plants cultivation in artificial conditions, LED growlight, high power LED, adjustment current source automation unit, microcontroller, ATmega 2560, temperature measurement, humidity measurement, current measurement, ENC28J60

HARING, F. *Řízení klimatických vlastností pěstebního boxu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Ústav automatizace a měřicí techniky, 2015. 74 s., 9 s. příloh. Diplomová práce. Vedoucí práce: doc. Ing. Zděnek Bradáč, Ph.D.

## **PREHLÁSENIE**

Prehlasujem, že svoju diplomovú prácu na tému „Řízení klimatických vlastností pěstebního boxu“ som vypracoval samostatne pod vedením vedúceho diplomovej práce a s použitím odbornej literatúry a ďalších informačných zdrojov, ktoré sú všetky citované v práci a uvedené v zozname literatúry na konci práce.

Ako autor uvedenej diplomovej práce ďalej prehlasujem, že v súvislosti s vytvorením tohto projektu som neporušil autorské práva tretích osôb, hlavne som nezasiahol nedovoleným spôsobom do cudzích autorských práv osobnostných a som si plne vedomý následkov porušenia ustanovení § 11 a nasledujúcich autorského zákona č. 121/2000 Zb., vrátane možných trestne právnych dôsledkov vyplývajúcich z ustanovení § 152 trestného zákona č. 140/1961 Zb.

V Brne dňa .....

.....

(podpis autora)

## **POĎAKOVANIE**

Ďakujem vedúcemu diplomovej práce doc. Ing. Zdeňkovi Bradáčovi, Ph.D za účinnú metodickú, pedagogickú a odbornú pomoc a ďalšie cenné rady pri spracovaní mojej diplomovej práce.

V Brne dňa .....

.....

(podpis autora)

# OBSAH

<b>Zoznam Obrázkov</b>	<b>vii</b>
<b>Zoznam tabuliek</b>	<b>ix</b>
<b>Úvod</b>	<b>1</b>
<b>1 NÁROKY RASTLÍN PRI PESTOVANÍ</b>	<b>2</b>
1.1 Fotosyntéza .....	2
1.2 Osvetlenie .....	2
1.2.1 Spektrum svetla.....	3
1.2.2 Intenzita svetla .....	5
1.2.3 Fotoperiódá .....	5
1.3 Ventilácia .....	6
1.4 Teplota .....	7
1.5 Vlhkosť .....	7
1.6 Zavlažovanie .....	7
1.7 Hnojenie.....	8
<b>2 MOŽNOSTI UMELÉHO OSVETLENIA</b>	<b>9</b>
2.1 Vlastnosti svetelných zdrojov .....	9
2.1.1 Elektrické veličiny .....	9
2.1.2 Fotometrické veličiny .....	9
2.1.3 Rádiometrické veličiny .....	11
2.1.4 Kvantové veličiny .....	11
2.1.5 PAR.....	11
2.1.6 PUR.....	12
2.2 Vhodné svetelné zdroje pre pestovanie rastlín .....	12
2.2.1 HID výbojky .....	12
2.2.2 Ortuťové výbojky (MVL).....	12
2.2.3 Halogenidové výbojky (MH).....	13
2.2.4 Sodíkové výbojky .....	14
2.2.5 Vysokotlakové sodíkové výbojky (HPS).....	14

2.2.6	Vysokotlakové sodíkové výbojky s vyšším podielom modrého svetla 15	
2.2.7	Kompaktné fluorescentné žiarivky (CFL) .....	15
2.2.8	LED.....	16
2.2.9	Reflektory .....	17
<b>3</b>	<b>NÁVRH ŠPECIÁLNEHO PESTOVATEĽSKÉHO BOXU</b>	<b>19</b>
3.1	Materiál.....	19
3.2	Konštrukcia.....	20
3.2.1	Pestovateľský box .....	20
3.2.2	Zavlažovací box .....	21
3.2.3	Sušiaci box.....	22
3.3	Osvetľovacie LED panely.....	23
3.3.1	Vertikálny pohyb LED panelov .....	27
3.3.2	Chladenie LED panelov .....	29
3.4	Podmienky .....	30
3.4.1	Ventilácia .....	30
3.4.2	Vlhkosť vzduchu.....	31
3.4.3	Zavlažovanie .....	32
3.4.4	Hnojenie.....	32
<b>4</b>	<b>NÁVRH RIADIACEHO SYSTÉMU</b>	<b>33</b>
4.1	Návrh na úrovni funkčných blokov .....	33
<b>5</b>	<b>REALIZÁCIA SYSTÉMU</b>	<b>36</b>
5.1	Napät'ové úrovne .....	36
5.2	Napájanie celého obvodu.....	37
5.2.1	Obvod pestovateľského boxu .....	37
5.2.2	Obvod zavlažovacieho boxu.....	38
5.2.3	Obvod sušiaceho boxu .....	38
5.3	Vývojová doska Arduino MEGA 2560 [27].....	39
5.3.1	Mikrokontrolér Atmel ATmega 2560 [29] .....	40
5.4	Meranie napätia.....	41
5.5	Senzor hmotnosti LC5 [30].....	42
5.5.1	AD prevodník HX711 k senzoru hmotnosti [31].....	43
5.6	Ultrazvukový modul HC-SR04 na meranie vzdialenosti [32].....	44

5.7	Senzor teploty DS18B20 [33].....	45
5.8	Senzor vlhkosti vzduchu DHT11[34].....	46
5.9	Senzor vlhkosti pôdy FC-28 [].....	47
5.10	Senzor prúdu ACS712-05B-T [35].....	48
5.11	Prevodník USART-USB.....	49
5.12	Ethernetový modul ENC28J60.....	50
5.13	Zdroje LED.....	52
5.13.1	Návrh spínaného zdroja.....	52
5.13.2	Princíp funkcie step-down meniča.....	52
5.13.3	Prúdový zdroj LM3409 [47].....	53
5.14	Zdroj ventilátorov.....	56
5.15	Ovládací modul s relé SRD-05V DC-SL-C [52].....	58
5.16	Zobrazovacia časť.....	59
5.16.1	Grafický LCD display NOKIA 3310 [36].....	59
<b>6</b>	<b>POPIS RIADIACICH PROGRAMOV</b>	<b>60</b>
6.1	Popis programu.....	60
6.1.1	Pestovateľský box.....	60
6.1.2	Zavlažovací box.....	62
6.1.3	Sušiaci box.....	64
6.1.4	Webserver.....	66
6.1.5	LabView ovládací program.....	67
<b>7</b>	<b>POPIS ZARIADENIA A STANOVENIE JEHO PARAMETROV</b>	<b>68</b>
7.1	Parametre LED panelov.....	68
7.2	Parametre jednotlivých častí špeciálneho pestovateľského boxu.....	71
7.2.1	Pestovateľský box.....	71
7.2.2	Zavlažovací box.....	71
7.2.3	Sušiaci box.....	72
<b>8</b>	<b>Záver</b>	<b>73</b>
	<b>Literatúra</b>	<b>75</b>
	<b>Zoznam symbolov, veličín a skratiek</b>	<b>79</b>
	<b>Zoznam príloh</b>	<b>81</b>



# ZOZNAM OBRÁZKOV

Obr. 1.1 Graf závislosti relatívnej citlivosti ľudského oka(hore) a rastlín(dole) na vlnovej dĺžke prevzaté z [3].....	3
Obr. 1.2 Graf závislosti absorpčného spektra (hore) a rýchlosti fotosyntézy (dole) na vlnovej dĺžke prevzaté z [4].....	4
Obr. 3.1 Hliníkový profil prevzaté z [17] .....	19
Obr. 3.2 Rohová a T plastová spojka pre hliníkový profil prevzaté z [18][19].....	19
Obr. 3.3 Dosky PSH (ABS) prevzaté z [20] .....	20
Obr. 3.4 Konštrukcia pestovateľského boxu.....	21
Obr. 3.5 Návrh zavlažovacieho boxu.....	21
Obr. 3.6 Návrh sušiaceho boxu.....	22
Obr. 3.7 LED osadená na 20mm hviezdicovom chladiči prevzaté z [37] .....	24
Obr. 3.8 Návrh LED panela verzia 1 .....	25
Obr. 3.9 Návrh LED panela verzia 2 .....	25
Obr. 3.10 Návrh LED panela verzia 3 .....	26
Obr. 3.11 Vertikálny pohybový systéme pre zdvíhanie panelov .....	27
Obr. 3.12 Detail vozíka.....	28
Obr. 3.13 Navíjacie servo prevzaté z [23] .....	29
Obr. 3.14 Ultrazvukový zvlhčovač prevzaté z [25] .....	31
Obr. 3.15 Čerpadlo zavlažovania prevzaté z [26].....	32
Obr. 4.1 Bloková schéma elektrickej časti pestovateľského boxu .....	33
Obr. 4.2 Bloková schéma elektrickej časti zavlažovacieho boxu.....	34
Obr. 4.3 Bloková schéma elektrickej časti sušiaceho boxu.....	34
Obr. 5.1 Čerpadlo zavlažovania prevzaté z [28].....	39
Obr. 5.2 Princíp kvantovania prevzaté z [38] .....	41
Obr. 5.3 Senzor LC5 prevzaté z [39] .....	42
Obr. 5.4 Zapojenie prevodníka HX711 prevzaté z [31] .....	43
Obr. 5.5 Senzor DS18B20 prevzaté z [40] .....	44
Obr. 5.6 Senzor DS18B20 prevzaté z [41] .....	45
Obr. 5.7 Senzor DHT11 prevzaté z [42].....	46
Obr. 5.8 Senzor FC-28 prevzaté z [43].....	47

Obr. 5.9 Zapojenie senzora ACS712-05B-T prevzaté z [35] .....	48
Obr. 5.10 Prevodník USART-USB prevzaté z [44].....	49
Obr. 5.11 Ethernetový modul ENC28J60 prevzaté z [45].....	51
Obr. 5.12 Princíp meniča typu step-down prevzaté z [46] .....	52
Obr. 5.13 Zapojenie prúdového zdroja prevzaté z [47] .....	54
Obr. 5.14 Bloková schéma usporiadania slotov tvz. matičnej dosky .....	55
Obr. 5.15 Bloková schéma paralelného spojenia vetvy č. 1 v svorkovnici .....	55
Obr. 5.16 Schéma zapojenia riadenia otáčok ventilátora.....	56
Obr. 5.17 Schéma zapojenia napät'ového spínaného zdroja s LM2576 prevzaté z [48]	57
Obr. 5.18 Vyhotovenie napät'ového spínaného zdroja s LM2576 prevzaté z [51].....	57
Obr. 5.19 Schéma zapojenia modulu s relé .....	58
Obr. 5.20 Vyhotovenie jednokanálového modulu s relé prevzaté z [53] .....	59
Obr. 5.21 Grafický displej Nokia 3310 prevzaté z [50].....	59
Obr. 6.1 Popis funkcie riadiaceho programu pestovateľského boxu .....	61
Obr. 6.2 Popis funkcie riadiaceho programu zavlažovacieho boxu .....	63
Obr. 6.3 Popis funkcie riadiaceho programu sušiacieho boxu.....	65
Obr. 6.4 Zobrazenie HTML stránky webserver.....	66
Obr. 6.5 Zobrazenie programu v LabView .....	67
Obr. 7.1 Merací prístroj APOGEE MQ-200 prevzaté z [55].....	68
Obr. 7.2 Zobrazenie nameraných hodnôt PAR vo vzdialenosti 20cm od LED panelov	69
Obr. 7.3 Zobrazenie nameraných PAR vo vzdialenosti 40cm od LED panelov .....	69
Obr. 7.4 Zobrazenie nameraných hodnôt PAR vo vzdialenosti 60cm od LED panelov	70

## ZOZNAM TABULIEK

Tab. 3.1 Zobrazenie parametrov jednotlivých LED diód pripadajúci na jednu vetvu verzie 1 prevzaté z [21][22] .....	24
Tab. 3.2 Zobrazenie parametrov jednotlivých LED diód pripadajúcich na jednu vetvu verzie 2 a 3 prevzaté z [21][22] .....	24
Tab. 5.1 Elektrické parametre jednotlivých prvkov pestovateľského boxu .....	36
Tab. 5.2 Elektrické parametre jednotlivých prvkov zavlažovacieho boxu.....	37
Tab. 5.3 Elektrické parametre jednotlivých prvkov sušiacieho boxu.....	37
Tab. 5.4 Elektrické parametre jednotlivých LED zdrojov, ktoré napájajú vetvy .....	54

# ÚVOD

V súčasnosti pri stúpajúcej tendencii cien energií sa do popredia dostáva problematika regulovania veličín (podmienok) v určitých priestoroch. Tento trend neobchádza ani menších pestovateľov, ktorí začínajú siahať po automatizovaných systémoch. Tieto systémy dokážu zamedziť plytvaniu vodou, hnojivami a zároveň sú schopné podľa zadaných parametrov primerane regulovať klimatické podmienky v priestoroch pestovania.

Riadenie klimatických podmienok v špeciálnych boxoch určených na pestovanie rastlín je z hľadiska dosiahnutia špičkových výsledkov nutné. Cieľom práce je navrhnúť špeciálny pestovateľský box ako automatizovaný systém, ktorý bude schopný merať potrebné veličiny ako teplotu, vlhkosť vzduchu, vlhkosť pôdy, atď. Následne bude možné namerané hodnoty spracovať a zobrazit' na displeji, odoslať na ďalšie spracovanie do PC a zobrazit' na webovej stránke.

Práca je rozdelená do 7 kapitol, v ktorých je problematika pestovania rastlín v umelých podmienkach postupne rozvíjaná od teórie po realizáciu.

Prvé dve kapitoly popisujú nároky rastlín pri pestovaní a možnosti umelého osvetlenia. V tretej a štvrtej kapitole je vysvetlený návrh špeciálneho boxu a jeho riadiaceho systému. Piata a šiesta kapitola objasňuje realizáciu systému a riadiace programy. Posledná kapitola je venovaná stanoveniu parametrov. V práci je tiež zahrnutá technická dokumentácia.

# 1 NÁROKY RASTLÍN PRI PESTOVANÍ

Každá rastlina potrebuje na svoju existenciu podmienky, ktoré jej poskytuje prirodzené prostredie. Pri prekročení hranice podmienok ekologického optima rastlina hynie. Nároky rastlín pri vnútornej alebo vonkajšej kultivácii sú takmer totožné.

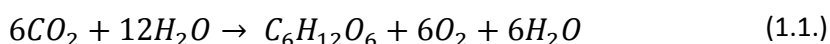
Rastliny budú v pestovateľskom boxu po priamym vplyvom faktorov neživej prírody- abiotické faktory. [1]

Abiotické faktory:

- svetelné žiarenie (fotosyntéza a osvetlenie)
- atmosféra (ventilácia a teplota)
- hydrologické faktory (zavlažovanie)
- pôdne faktory (hnojenie)

## 1.1 Fotosyntéza

Fotosyntéza (z gr. fós, fótos - svetlo a synthesis - zhrnutie, skladanie) alebo tiež fotosyntetická asimilácia je biochemický proces, pri ktorom sa mení prijatá energia svetelného žiarenia na energiu chemických väzieb. Využíva svetelného žiarenia na premenu jednoduchých anorganických látok(oxidu uhličitého a vody) na energicky bohatých zlúčenín(cukrov) (viz rovnica 1.1. fotosyntézy).[2]



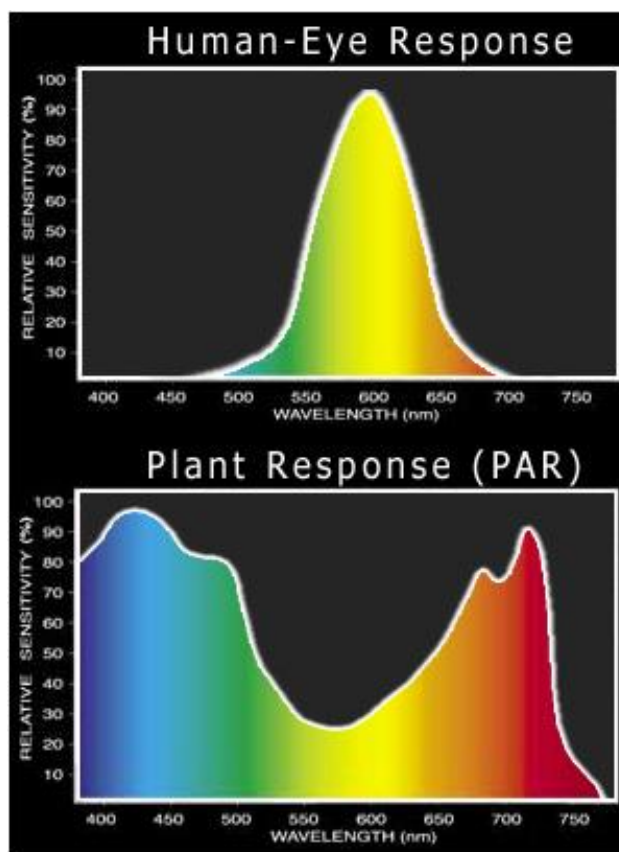
Základné činitele fotosyntézy:

- osvetlenie (spektrum, intenzita, fotoperiódá)
- množstvo oxidu uhličitého (CO<sub>2</sub>)
- teplota
- množstvo vody

## 1.2 Osvetlenie

K správne mu vývoji potrebujú rastliny nielen dostatok svetla, ale hlavne korektné svetelné spektrum. Pri pestovaní vo vnútorných priestoroch sa používajú rôzne typy svetelných zdrojov, vyžarujúce rôzne množstvo svetla, ktoré zasahuje do rôznych častí svetelného spektra. Ako vyplýva z Obr. 1.1 ľudské oko je schopné vnímať vlnové dĺžky

svetla v rozsahu od 400 nm do 800 nm, najcitlivejšie ale v rozsahu od 500 nm do 650 nm. Pre rastliny je najdôležitejšie tzv. fotosynteticky aktívne žiarenia (PAR-Photosynthetically Active Radiation), ktoré sa pohybuje v rozmedzí od 400 nm do 750 nm. Rastliny vnímajú najintenzívnejšie práve svetlo vo vlnových dĺžkach, na ktoré je ľudské oko najmenej citlivé.



Obr. 1.1 Graf závislosti relatívnej citlivosti ľudskeho oka(hore) a rastlín(dole) na vlnovej dĺžke prevzaté z [3]

### 1.2.1 Spektrum svetla

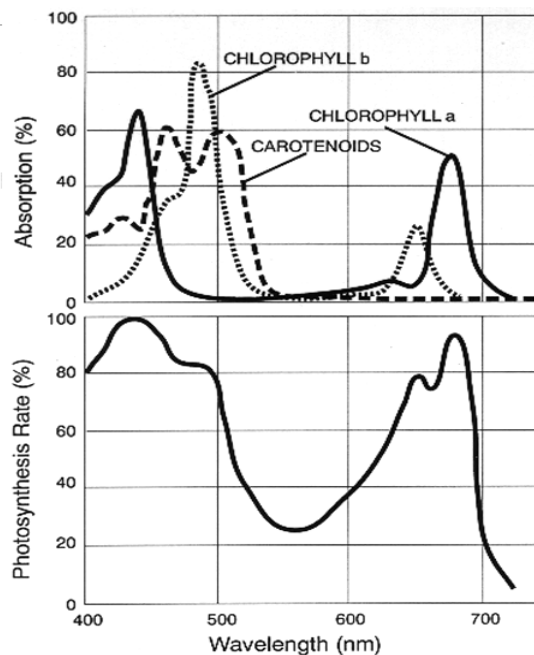
Svetlo je primárnym zdrojom energie pre fotosyntézu, ale dôležitá je jeho kvalita (farba), a intenzita. List ako orgán fotosyntézy absorbuje asi 2% až 3% svetelného žiarenia, zvyšné žiarenie prepúšťa alebo odráža. Listy absorbujú maximum svetla pri vlnových dĺžkach, ktoré zodpovedajú absorpcii asimilačných farbív (hlavne chlorofyl a, b). Maximum pripadá na rozsah vlnových dĺžok 640nm až 700nm (modré svetlo), menej na 430nm až 460nm (červené svetlo). Zvyšné rozsahy vlnových dĺžok môžu rastliny absorbovať vďaka rôznym pridaným farbivám, ich zastúpenie je v listoch menšie a efektívnosť takto absorbovaného svetla nižšia. [2]

Avšak, predstava o tom, že chlorofyl ako hlavné asimilačné farbivo nedokáže absorbovať svetelné žiarenia o vlnovej dĺžke zeleného svetla nie je celkom pravdivá. Z Obr. 1.2. je zrejmé, že absorpčné spektrum chlorofylu v oblasti zeleného svetla je prakticky nulové. Testovanie ale prebiehalo tak, že sa chlorofyl vyextrahoval z listov a bol následne uložený do organického rozpúšťadla. Potom bola zmeraná absorpcia svetla na rôznych vlnových dĺžkach. Chlorofyl skutočne dokáže absorbovať iba 2% až 3% zeleného svetla, ale to platí iba pre chlorofyl uložený v skúmavke počas izolovaného laboratórneho pokusu. Na jeho základe sa v odborných materiáloch uvádza, že rastliny nie sú schopné zelené svetlo prakticky zužitkovať, v praxi sa však tie závery ukázali ako mylné.

Chlorofyl dokáže absorbovať v skutočnosti zelené svetlo efektívnejšie ako naznačuje absorpčné spektrum. Zatiaľ čo iné spektrá svetelného žiarenia sa neodrážajú v takej miere, zelené svetlo dopadnuté na chlorofyl, ktorý jeho malú časť absorbuje a väčšiu časť odrazí. Táto väčšia časť sa opäť odrazí v zložitej štruktúre listu späť na iný chlorofyl, ktorý jeho malú časť opäť absorbuje a proces pokračuje. V konečnom dôsledku sa môže absorpcia zeleného svetla vďaka opakovaným odrazom pohybovať na hodnote okolo 30% (v niektorých štúdiách dokonca 50%).

Napriek tomu, že chlorofyl má pri fotosyntéze zásadnú úlohu, rastliny obsahujú i ďalšie farbiva a pigmenty, ktoré sa podieľajú na fotosyntéze a zvyšujú jej efektivitu. Jedná sa prevažne o karotenoidy (definovaných viac ako 500 druhov) a fykobiliny. Karotenoidy dokážu zachytiť slnečnú energiu v modrej a zelenej oblasti viditeľného spektra a predať jej časť chlorofylu. Dokážu túto energiu tiež využívať k ochrane rastliny pred silnou intenzitou svetla.

Z toho vyplýva, že rastliny sú plnospektrálne a dokážu získavať energiu prakticky zo všetkých vlnových dĺžok, ale nemenným faktom zostáva, že najviac energie získavajú v modrej a červenej oblasti. [4]



Obr. 1.2 Graf závislosti absorpčného spektra (hore) a rýchlosti fotosyntézy (dole) na vlnovej dĺžke prevzaté z [4]

Vplyv jednotlivých svetelných spektier podľa farieb na rastlinu:

- **Ultrafialová**  
Zahusťuje listy, zabraňuje predlžovaniu stoniek a listov, pomáha vytvárať anthocyanin ( dôležité pre rastliny z vyšších nadmorských výšok).
- **Fialová**  
Zahusťuje listy, zabraňuje predlžovaniu stoniek a listov, pomáha vytvárať anthocyanin.
- **Modrá**  
Zahusťuje korene, posilňuje stonky a stopky, zvyšuje obsah chlorofylu, zlepšuje hustotu prieduchov listov.
- **Zelená**  
Podporuje tvorbu kyslíku počas fotosyntézy a má pozitívny vplyv na vývoj koreňového systému. (Väčšina energie sa však odráža od listov, záleží na druhu rastliny)
- **Žltá**  
Podporuje klíčenie semien a pozdĺžny rast.
- **Oranžová**  
Podporuje klíčenie semien a pozdĺžny rast.
- **Červená**  
Podporuje pozdĺžny rast, predlžuje stonky, zväčšuje listy a podporuje kvet.
- **Infračervená**  
Urýchľuje proces fotosyntézy, stimuluje bunky, dôležitá pre kvet a klíčenie semien.
- **Biela**  
Pre zarovnanie špičiek vlnových dĺžok.

### 1.2.2 Intenzita svetla

Intenzita osvetlenia ovplyvňuje rýchlosť rastu, objem a kvalitu úrody. Pre rastlinu je síce dôležité, aby sa v svetle nachádzali všetky farebné zložky, ale je tiež nutné použiť dostatočnú intenzitu osvetlenia. Dostatok osvetlenia zabezpečí rastline možnosť získať dostatok energie. To je možné docieľiť iba zaistením dostatočnej intenzity osvetlenia v kombinácii s vhodnou fotoperiódou (dostatočné množstvo svetla po dostatočne dlhú dobu). [6]

### 1.2.3 Fotoperiódá

Zanedbať sa nemôže ani dĺžka časového úseku, počas ktorého budú rastliny osvetlené. Jedná sa o nesmierne dôležitú informáciu pre pestovanie rastlín, ktorá je špecifická pre každý druh rastlín. Napríklad pri pestovaní páľivých papričiek sa odporúča 18 hodín svetla a 6 hodín tmy pre rastovú fázu a 12 hodín svetla a 12 hodín tmy pre kvetovú fázu. Vo vnútornom prostredí by malo byť spektrum svetla v súlade s fázou vývoja rastliny a časy svitu by sa nemali meniť. Náhly prechod ku krátkym dňom napodobňuje zmenu ročného obdobia a spôsobí, že rastliny začnú kvitnúť. Upravením fázy rastu a naštartovanie fázy kvitnutia umožňuje ovplyvniť veľkosť rastliny.



## 1.3 Ventilácia

Pravidelná výmena vzduchu je pre pestovanie v uzavretých priestoroch zásadný faktor. Rastliny nutne potrebujú pre svoj život kyslíka a oxidu uhličitého. Nedostatok uvedených prvkov spôsobuje spomalenie až zastavenie rastu, žltnutie listov a malé rozmery kvetov.

Poznáme dva základné typy ventilátorov podľa konštrukcie:

- **Potrubný ventilátor**  
Použitie na prívod a odvod vzduchu v priestore pestovania. Poznáme rôzne konštrukcie týchto ventilátorov ako: UFO, TD (TT), Ulita. Veľkým neduhom potrubných ventilátorov je ich hlučnosť, nielen motora ale i hnaného vzduchu. Hluk môžeme obmedziť zabudovaním do odhlučnenej konštrukcie, pri výkonnejších radách použitie hadice typu Sonoflex alebo tlmiča hluku.
- **Priestorový (cirkulačný) ventilátor**  
Zodpovedá za premiešavanie vzduchu v priestore pestovania, eliminuje teplotný rozdiel v rôznych častiach priestoru. Pri tomto prúdení sa vyrovnáva nielen teplota ale aj vlhkosť.

Pri výbere ventilátorov obecné však platí, že je lepšie vzduch ťahať ako tlačiť. Pre výpočet vhodného ventilátora je možné použiť dva prístupy:

- Najprv vypočítame objem pestovateľského priestoru. Výkon ventilátorov sa udáva v  $\text{m}^3/\text{h}$  t.j. koľko metrov kubických vzduchu prečerpá ventilátor za 1 hodinu. Pri výbere prívodného ventilátora musíme výkon predimenzovať 20x, pre odvodný ventilátor 40x. Napríklad, ak má priestor pre pestovanie objem  $3\text{m}^3$ , potrebujeme pre prívod ventilátor s výkonom minimálne  $60\text{m}^3/\text{h}$  a pre odvod minimálne  $120\text{m}^3/\text{h}$ .
- Na 1W výbojky typu HID je potrebný výkon ventilátora  $1\text{m}^3/\text{h}$ . To znamená že pri použití 400W výbojky by sme použili ventilátor s výkonom  $400\text{m}^3/\text{h}$ . [7]

## 1.4 Teplota

Rastliny potrebujú teplo a pokiaľ nemajú zabezpečenú potrebnú teplotu, nebudú rásť tak ako sa od nich očakáva. Vhodné teploty pre rastliny sú individuálne, z tohto hľadiska ich môžeme rozdeliť na teplomilné a studenomilné.

Teplota pre bežné rastliny (napr. skleníková zelenina) by sa počas dňa mala pohybovať v rozmedzí od 24°C až 28°C (nemala by presiahnuť 32 °C), v noci by nemala klesnúť pod 18 °C. Veľké výkyvy teplôt spôsobujú väčšie rozostupy jednotlivých poschodí listov danej rastliny. Cieľom je zaistiť čo najmenšie rozostupy medzi poschodiami, nižšie a hustejšie rastliny sa osvetlia jednoduchšie potrebnou intenzitou svetla.

Teplotu je nutné v priestore pestovania merať, trh ponúka širokú paletu teplomerov a komplexných meracích staníc.

## 1.5 Vlhkosť

Hodnota vlhkosti je závislá na druhu pestovanej rastliny. Pre bežné rastliny platí, že počiatočnej fáze rastu by mala byť vlhkosť takmer 80%, rastlina sa omnoho rýchlejšie uchyťí a začne rásť. V ďalších fázach rastu je optimálna vlhkosť od 60% do 80%. Rozdiel v rýchlosti rastu a vitalite rastliny je veľmi výrazný, pokiaľ sa nezabezpečí potrebná vlhkosť, výrazne sa znižuje šanca na uspokojivé výsledky. V fáze kvetu by sa mala vlhkosť znížiť na 30% až 50%, aby sa zamedzilo vzniku plesniam.

Vlhkosť tak isto ako teplota musí byť meraná, aby predišlo vzniku plesniam. Senzory vlhkosti sú v súčasnosti väčšinou zabudované v jednom systéme spolu so senzormi teploty.

Systém zvlhčovania sa dá v dnešnej dobe ľahko zakúpiť. Existujú hotové riešenia v širokej ponuke. Pracujú na parnom (zahrievaním vody na paru) alebo na ultrazvukovom princípe. Druhý menovaný sa momentálne dostáva do popredia s nespornou výhodou, vzniknutá vodná para nemá zvýšenú teplotu (ako je to u parných zvlhčovačov).

## 1.6 Zavlažovanie

Nedostatok vlhky alebo živín je rovnako nebezpečné ako jej nadbytok. Nedostatočné zalievanie spôsobuje pomalší rast rastliny a pri veľkom nedostatku dochádza k jej odumretiu. Pri optimálnom množstve vlhky rastlina prospieva. Pri jej nadbytku väčšinou ako prvé odumierajú korene, ktorými rastlina prijíma živiny a potom postupne celé rastlina.

Zavlažovací systém sa dá v súčasnosti pomerne ľahko postaviť. Máme k dispozícii široký sortiment čerpadiel ale i kompletných zavlažovacích systémov.

## 1.7 Hnojenie

Hnojivá sú zmesi, ktoré poskytujú základné živiny na zlepšenie rastu rastlín. Obvykle sú aplikované cez pôdu alebo hnojením listov.

Hnojivá sa obvykle vyrábajú v rôznych pomeroch 3 hlavných biogénnych zložiek N-P-K (z angl. N-Nitrogenium (Dusík) P-Phosphorus (Fosfor) K-Kalium(Draslík)), sekundárnych biogénnych prvkov (vápnik, síra a horčík) a stopových prvkov (bór, chlór, mangán, železo, zinok a molybdén). Nedostatok alebo prebytok zložiek N-P-K môže mať fatálne následky. Dusík ovplyvňuje celkový rast a jeho nedostatok sa prejaví slabými stonkami a malými kvetmi. Fosfor ovplyvňuje kvet, jeho nedostatok spôsobí jeho nesprávny vývoj. Draslík má najväčší vplyv na kvalitu a početnosť plodov. S nadbytočným prísunom živín si rastlina nedokáže sama poradiť, pri predávkovaní dochádza k tzv. spálení rastliny. Každá rastlina vyžaduje špecifický pomer prvkov v hnojive, preto potrebné používať hnojivá určené pre dané typy rastlín.[6][7]

## 2 MOŽNOSTI UMELÉHO OSVETLENIA

### 2.1 Vlastnosti svetelných zdrojov

Pri nákupe svetelných zdrojov, či už sa jedná o HID (z angl. High Intensity Discharge) výbojky, žiarivky alebo LED osvetlenie sa stretávame s údajmi o ich kvalite, efektívite, výkonnosti atď. Pokiaľ vieme, čo údaje poskytnuté výrobcami znamenajú, pomôže a uľahčí nám to rozhodovanie pri kúpe svetelného zdroja.

Vlastnosti svetelných zdrojov môžeme posudzovať z 3 rôznych hľadísk. Hľadiska elektrických, fotometrických a kvantových vlastností.

#### 2.1.1 Elektrické veličiny

- **príkion**

Je fyzikálne veličina, ktorá vyjadruje množstvo energie spotrebované za jednotku času. Označuje sa písmenom  $P$  a jeho základnou jednotkou je v sústave SI watt (značka: W).

Pozn. Označovanie príkonu najmä u HPS (z angl. High Pressure Sodium) výbojok je zavádzajúce. Výbojka o výkone 600W má skutočný príkon viac ako 640W, kvôli stratám na tlmivke a štartéri.

#### 2.1.2 Fotometrické veličiny

Fotometria je časť optiky, ktorá sa zaoberá skúmaním svetla z hľadiska jeho pôsobenia na zrakový orgán. Fyzikálne veličiny, ktoré sa vo fotometrii používajú, určujú veľkosť pôsobenia na ľudské oko, sa nazývajú fotometrické veličiny. [8]

- **svetelný tok**

Veličina, ktorá vyjadruje množstvo svetelnej energie, ktorú vyžiari zdroj, alebo prenesie žiarenie za časovú jednotku s prihliadnutím k citlivosti priemerného ľudského oka na rôzne vlnové dĺžky svetla.

Symbol:  $\Phi$  (fi)

Jednotka: lumen (lm)

Typický svetelný tok je u 100W žiarovky 1500 lm, u sviečky okolo 13 lm.

- **intenzita osvetlenia** (osvetlenosť, osvetlivosť, hustota svetelného toku)

Veličina definovaná ako svetelný tok dopadajúci na jednotku plochy.

Symbol: E

Jednotka: lux (lx)

$$1 \text{ lx} = \frac{1 \text{ lm}}{1 \text{ m}^2} \quad (1.1.)$$

- **svietivosť**

Udáva priestorovú hustotu svetelného toku zdroja svetelného žiarenia v rôznych smeroch. Je ju možné určiť iba pre bodový zdroj.

Symbol: I

Jednotka: candela (cd)

- **svetelné množstvo**

Fotometrická veličina definovaná ako časový integrál svetelného toku.

Symbol: Q

Jednotka: lumen sekunda (lm.s)

- **jas**

Fotometrická veličina definovaná ako merná svietivosť.

Symbol: L

Jednotka: candela na m<sup>2</sup> (cd/m<sup>2</sup>)

- **osvit**

Veličina definovaná ako plošná hustota svetelného množstva, ktoré dopadlo na danú plochu v časovom intervale.

Symbol: H

Jednotka: lux sekunda (lx.s)

- **svetelná účinnosť** (merný svetelný výkon)

Vyjadruje účinnosť s akou mení zdroj vstupnú energiu na viditeľné svetlo. Podobný pojem svetelná účinnosť žiarenia je veličina, ktorá porovnáva množstvo viditeľného svetla s celkovým žiarivým výkonom zdroja vo všetkých oblastiach spektra. Ak sa hovorí stručne o svetelnej účinnosti, je nutné z kontextu rozoznať, o ktorý z týchto pojmov sa jedná.

Symbol: K

Jednotka: lumen na wat (lm/W)

### 2.1.3 Rádiometrické veličiny

Rádiometria je časť optiky, ktorá sa zaoberá meraním elektromagnetického žiarenia v priestore (vrátane viditeľného svetla) za použitia absolútnych veličín. Fyzikálne veličiny, ktoré sa v rádiometrii používajú sa nazývajú rádiometrické veličiny (niekedy nazývané aj energetické). [9]

Rádiometrické veličiny delíme:

- integrálne
- spektrálne

Každý veličine zo skupiny integrálnych existuje odpovedajúca veličina v skupine spektrálnych.

### 2.1.4 Kvantové veličiny

Kvantová optika je časť optiky, ktorá sa zaoberá skúmaním významných javov v oblasti svetla, ktoré nie sú opísateľné klasickou fyzikou, ale je pre ne nutné použiť prístup kvantovej fyziky. [10]

### 2.1.5 PAR

V súčasnosti najspoľahlivejším a najvhodnejším spôsobom ako vyjadriť výkon svetelného zdroja, ktorý má byť použitý na osvetľovanie rastlín je veličina PAR (z angl. Photosynthetically Active Radiation t.j. Fotosynteticky aktívne žiarenie). Na vyjadrenie výkonu svetelného zdroja (z pohľadu rastliny) je nevhodné použitie elektrických a fotometrických veličín.

Pomocou elektrickej veličiny sa síce dozvieme výkon svetelného zdroja, ale iba z hľadiska elektrickej energie, t.j. koľko daný zdroj na svoju činnosť potrebuje (príkon).

Vďaka fotometrickým veličinám sa už dozviem niečo o výkone svetelného zdroja vo svetelnej oblasti, ale iba z pohľadu, ktorý je viazaný na citlivosť ľudského oka, nie však na citlivosť rastliny.

Hodnota PAR môže byť vyjadrená ako PPF (z angl. Photosynthetic Photon Flux Density- Fotosyntetická hustota prúdenia fotónového toku) v jednotkách  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  poprípade  $\mu\text{E}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$  alebo ako Irradiance (hustota žiarivého toku) v jednotkách  $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ . [4][7]

Meranie PAR sa využíva v poľnohospodárstve, lesníctve a oceánografii. Jednou z podmienok na produktivitu poľnohospodárskej pôdy je adekvátna hodnota PAR, z toho vyplýva jeho použitie na vyhodnotenie poľnohospodárskeho investičného potenciálu. PAR senzory umiestené v rôznych úrovniach v korunách stromov sú schopné merať dostupnosť a využitie fotosynteticky aktívneho žiarenia v lesoch. Merania PAR sa taktiež používa pre výpočet eufotickej hĺbky oceánu, hĺbky ktorá je vystavená takej intenzite slnečného žiarenia, ktoré naznačuje kompenzačný kód, t.j.

intenzite svetla pri ktorej sa rýchlosť absorpcie oxidu uhličitého rovná rýchlosti produkcie kyslíka.

### **2.1.6 PUR**

PUR (z angl. Photosynthetically Usable Radiation- Fotosynteticky využiteľné žiarenie) je veličina, ktorá na rozdiel od PAR, zahŕňa výkon svetelného zdroja iba v rozmedzí vlnových dĺžok od 400nm do 550nm (fialové a modré svetlo) a od 620nm do 700nm (červené svetlo). PAR označuje plnospektrálne žiarenie, zatiaľ čo PUR označuje iba vybranú časť spektra (mimo rozsahu vlnovej dĺžky od 550 do 620nm), a to tú časť, ktorú rastliny aktívne využívajú k fotosyntéze. Ako je známe a vyplýva to aj z grafu závislosti vlnovej dĺžky na absorpcii, rastliny využívajú pri fotosyntéze najmä fialové, modré a červené spektrum, žltozelené veľmi nevytvávajú resp. ho odrážajú (práve preto sa nám rastliny javia na pohľad väčšinou ako zelené alebo žltozelené).

PUR (na rozdiel od PAR) nie je možné priamo merať, je možné ho iba dopočítať a to ako percentuálny podiel svetelného žiarenia, ktoré pripadá na fialové, modré a červené spektrum. Tento výpočet ale nie je jednoduchý a musí zohľadňovať vzdialenosť od svetelného zdroja (s narastajúcou vzdialenosťou hodnota PAR klesá). Žiaľ som doposiaľ nenarazil na štúdiu, ktorá by sa zaoberala vplyvom vzdialenosti od svetelného zdroja na spektrálnom zložení svetla. [11]

## **2.2 Vhodné svetelné zdroje pre pestovanie rastlín**

### **2.2.1 HID výbojky**

Z angl. High Intensity Discharge (vysoko intenzívny výbojový zdroj), je elektrická výbojka, ktorá produkuje svetlo v plynnej zmesi pomocou elektrického oblúka medzi elektródami, ktoré sú umiestnené vo vnútri priehľadnej alebo priesvitnej výbojovej trubice z taveného kremeňa alebo z taveného oxidu hlinitého.

HID výbojky premenia na vyžiarené svetlo okolo 30-40 % elektrickej energie (pre porovnanie bežná žiarovka 5-10 %), zvyšná elektrická energia sa premení na teplo.

Pre svoju činnosť potrebujú špeciálne zapojenie s tlmivkou, štartérom, kompenzačným kondenzátorom, alebo elektronický predradník (vysokofrekvenčný predradník) okrem špeciálnych prípadov zmesových, halogenidových a iných s použitím pomocnej elektródy.

### **2.2.2 Ortuťové výbojky (MVL)**

Ortuťová výbojka (z angl. Mercury Vapor lamp) patrí do rodiny vysokotlaková výbojových zdrojov, ktoré využívajú zaujímavé vlastnosti výboja v parách ortuti (pri zvyšujúcom sa tlaku ortuťových pár rastie intenzita) pri zvýšenom tlaku 100kPa.

Parametre:

- svetelná účinnosť 60lm/W
- životnosť: 12000-16000hodín

Vlastnosti:

- + popredný výrobcovia deklarujú nízky počet vadných zdrojov (max. 10%), čo uľahčuje obsluhu a údržbu
- + dobrá stabilita svetelného toku v priebehu života
- + spoľahlivosť, daná jednoduchým zapojením iba s tlmivkou a zapaľovačom
- + malý vplyv teploty okolia na parametre výbojky
  
- malá účinnosť v porovnaní s modernými výbojovými zdrojmi najmä pri výbojkách s nižším príkonom
- horšie podanie farieb
- zložitejšia recyklácia
- nevhodnosť pre stmievanie
- možnosť opätovného zapnutia výbojky až po jej vychladnutí

Začali sa pre pestovateľské účely používať najskôr, ale v súčasnosti nemôžu konkurovať v svetelnej účinnosti MH alebo HPS výbojkám. Mali prevažne modré spektrum určené na rastovú fázu. [12][6]

### 2.2.3 Halogenidové výbojky (MH)

Halogenidová alebo metalhalogenidová výbojka (z angl. Metal Halid) je vysokotlaková výbojka, ktorej svetlo vzniká prevažne žiarením pár kovov (napr. ortuti), alebo vzácnych plynov (napr. xenón) a produktov štiepenia halogenidov. Bola vyvinutá v 60. rokoch a nie je zhodná s halogénovou žiarovkou.

Parametre:

- svetelná účinnosť 75-100lm/W
- životnosť: 6000-15000 hodín



Vlastnosti:

- + možnosti širokej úpravy spektrálneho zloženia vyžarovaného svetla v dôsledku veľmi širokého spektra výberu svietiacich prvkov, zlúčenín a ich kombinácii
- + široký rozsah príkonov (od 70W do 5kW, u špeciálnych typov aj viac)
- + vynikajúce podanie farieb osvetľovacích predmetov pri veľkom mernom výkone
- + rozmerovo kompaktné s veľkým príkonom na jednotku objemu
- technologická náročnosť
- nutnosť použiť tlmivku a zapaľovač (okrem výbojok s malým príkonom a integrovaným zapaľovačom)
- veľká citlivosť na kolísanie napätia
- väčšie zmeny teploty chromatičnosti v intervale  $\pm 600\text{K}$

Z hľadiska využitia na pestovateľské účely majú MH výbojky vysokú fotosyntetickú účinnosť, asi jedna tretina vyžiareného svetla je fotosynteticky aktívna. Podporujú robustnosť rastliny- tvoria sa silnejšie stonky, mohutnejšie listy, kratšie rozostupy medzi poschodiami a rastliny nerastú toľko do výšky. Majú ale menší výkon v červenej oblasti spektra. Z týchto vlastností vyplýva, že sú vhodné najmä na použitie v rastovej fáze, preto sa v USA používali v hojnom zastúpení a dosahovali veľmi uspokojivé výsledky, ale rastliny mali väčší počet listov ako pri použití HPS. Pri porovnaní s Holandskými pestovateľmi ale spotrebovali dvojnásobok elektrickej energie pri rovnakom výnose. Bolo to hlavne spôsobené tým, že Holanďania používali výbojky s horizontálnym tienidlom, zatiaľ čo v USA sa používali tienidlá vertikálne, ktoré stáli za veľkými svetelnými stratami. [13][6]

#### **2.2.4 Sodíkové výbojky**

Tieto výbojky využívajú na vyžarovanie svetla elektrický výboj v parách sodíka. Existujú dve varianty a to: nízkotlakové a vysokotlakové. Spôsobujú menej svetelného znečistenie, a preto začínajú nahradzovať ortuťové výbojky.

#### **2.2.5 Vysokotlakové sodíkové výbojky (HPS)**

Z angl. High Pressure Sodium (vysokotlaková sodíková výbojka) je svetelný zdroj, v ktorom je svetlo emitované sodíkovými parami s prevádzkovým tlakom 3 až 60 kPa. S búrlivým rozvojom halogenidových výbojok s keramických horákom sa ich okruh použitia znižuje a budú s najväčšou pravdepodobnosťou vytlačené z verejného osvetlenia najmä v historických centrách miest.

Parametre:

- svetelná účinnosť 150lm/W
- životnosť: 16000-30000 hodín

Vlastnosti:

- + vysoký merný výkon pri prijateľnom podaní farieb
- + dlhá životnosť, spoľahlivosť a jednoduchá údržba
- + kompaktné rozmery výbojky i horáku umožňujú konštrukcie materiálovo úsporných svetelných zdrojov s dobrou účinnosťou
- + nízka cena v pomere k výkonu
- + rozmerovo kompaktné s veľkým príkonom na jednotku objemu
  
- začínajú byť nahradzované halogenidovými výbojkami s keramickým horákom
- nutnosť použiť tlmivku a zapalovač

V súčasnosti patria medzi najlepší zdroj svetla pre pestovanie rastlín. Ich spektrum je vhodné predovšetkým pre fázu kvetu- dobrá reakcia na svetelný cyklus, tvorba kvetov, predĺženie rozstupov medzi jednotlivými poschodiami listov. Je možné ich použiť na celý pestovateľský cyklus, ale vzhľadom k vyššiemu podielu červeného spektra môžu spôsobiť tenšie stonky a rýchlejši rast do výšky. [14][7]

## **2.2.6 Vysokotlakové sodíkové výbojky s vyšším podielom modrého svetla**

Okrem základného sortimentu určeného pre všeobecné osvetlenie, sa vyrábajú i niektoré iné typy, napr. výbojky s upraveným žiarením v modrej časti spektra. Kombinujú svetelné spektrum oboch predchádzajúcich typov, a je možné ich použiť pre rastovú a kvetovú fázu. Prakticky sa jedná o sodíkové výbojky (HPS), ktorých svetelné spektrum je upravené tak, aby obsahovalo väčší podiel modrého svetla (pre rastovú fázu). V praxi sa ale preukázalo, že tieto mix výbojky výkonovo nedosahujú také množstvo červeného svetla ako HPS výbojky a ani modrého svetla ako MH výbojky. Sú ale vhodné najmä pre pestovateľov, ktorí neplánujú príliš dlhú fázu rastu a preferujú rastliny s nižšou výškou. [7]

## **2.2.7 Kompaktné fluorescentné žiarivky (CFL)**

Z angl. Compact flurescent lamp (kompaktná fluorescentná žiarivka) je nízkotlaková ortuťová výbojka, v ktorej je hlavná časť svetla vyžarovaná luminoforovou vrstvou, ktorá je budená UV žiarením výboja. Princíp je podobný ako u lineárnych žiaroviek. Bola vyvinutá z dôvodu nahradenia klasických žiaroviek. Pri súčasných cenách elektrickej energie sa náklady na návratnosť pri náhrade klasickej žiarovky žiarivkou pohybujú na hodnote okolo 1000 hodín, čo je životnosť jednej klasickej žiarovky.

Parametre:

- svetelná účinnosť 50-87lm/W
- životnosť: 5000-20000 hodín

Vlastnosti:

- + prvá skupina výbojových svetelných zdrojov, ktorá sa svojím svetelným tokom, geometriou, podaním farieb blíži obyčajným žiarovkám v príkonovej rade od 15W do 200W
  - + veľmi dobré podanie farieb
  - + štart do 1s, stabilná prevádzka bez mihania, potlačenie stroboskopického javu
  - + možnosť stmievania
  - + nízky obsah ortuti
  - + vyžaruje málo tepelnej energie
  - + vstavaný štartér a tlmivka
- 
- závislosť svetelných parametrov na teplote
  - životnosť obmedzená početnosťou
  - obmedzená horná hranica príkonu, ktorá je obmedzená možnosťami nízkotlakového výboja

Nespornou výhodou pri pestovaní rastlín je, že CFL žiarivky vyžarujú oveľa menej tepla ako výbojky, preto je možné ich priblížiť k rastlinám na vzdialenosť niekoľko centimetrov. V praxi sa CFL žiarivky osvedčili najmä v priestoroch, ktoré majú problémy s vysokými teplotami (problém s odvetrávaním) a pre osvetľovanie matočných rastlín a klonov. V súčasnosti sa vyrábajú aj vo variantoch určených priamo pre pestovateľské účely napr. pre rastovú fázu (rada Grow), pre kvetovú fázu (rada Bloom) a pre obe fázy (Dual). [15][6]

## 2.2.8 LED

Osvetlenie pomocou LED (z angl. Light Emitting Diode) predstavuje v súčasnosti rozvíjajúcu sa alternatívu k HPS výbojkám. V súčasnej dobe sa efektivita premeny elektrickej energie na svetlo pohybuje okolo 75-80% pri najnovších typoch, čo predurčuje sľubný pohľad do budúcnosti. Vďaka možnosti kombinovania špecifických vlnových dĺžok je možné získať svetlo s vysokou hodnotu PAR. Väčšina predávaných LED modulov je osadená LED diódami o príkone 1W až 3W, hlavne z dôvodu účinnosti a menšej náročnosti na chladenie. Na trhu sa ale objavujú diódy o príkone 6W a dá sa predpokladať, že tento trend bude pokračovať. Niektoré moduly majú možnosť regulovať intenzitu osvetlenia, v niektorých prípadoch dokonca v rôznych častiach svetelného spektra (použiteľné napr. v rastovej fáze pri obmedzení intenzity červeného svetla- zamedzenie plazivému rastu a podporenie zosilnenia stoniek a listov)

Parametre:

- svetelná účinnosť 100lm-170lm/W (teoreticky až 300lm/W)
- životnosť: 50000-100000 hodín

Vlastnosti:

- + efektívnosť
- + kombináciou dosiahnuť presného farebného spektra vyžarovaného svetla
- + nízka tepelná emisivita (v porovnaní s výbojkami)
- + relatívne nízka cena
- + možnosť regulácie výkonu (čo je nemožné u výbojok)
- + relatívne úsporná a bezpečná prevádzka (na bezpečných napätiach)
  
- vysoká cena komerčných osvetľovacích telies
- zatiaľ relatívne malé výkony (zvyšujúci sa trend)
- bodové osvetlenie
- vysoká teplota výkonových čipov (nutne aktívne alebo pasívne chladit')

Niektorí výrobcovia udávajú až neskutočné výkony svojich LED panelov a doporučujú napr. nahradzovať 600W výbojky 90W LED panelmi. Praktické skúsenosti ale naznačujú, že súčasné LED panely sú úspornejšie oproti výbojkám pri dosiahnutí vysokej hodnoty PAR. Ideálna alternatíva sa javí nahradenie 600W výbojky LED panelom o príkone 300W. I keď je dávka PAR u LED modulu zanedbateľne nižšia, musíme zohľadniť možnosť priblížiť LED panel bližšie k rastlinám.

Pri použití LED osvetlenia, je nutné si uvedomiť, že v priestore na pestovanie nebude vznikať toľko tepla ako pri použití výbojových svetelných zdrojov. Je nutné tomuto faktoru prispôbiť zavlažovanie a ventiláciu. Veľký počet pestovateľov sa po prechode od výbojok k LED musí vysporiadať s nižšími teplotami a pomalším vysychaním pestovateľského média. [7][16]

## 2.2.9 Reflektory

Reflektory majú výrazný vplyv na množstvo svetla, ktoré doputuje od zdroja svetelného žiarenia k rastline. Výbojka prirodzene svieti do všetkých strán, preto je nutné aby jej svetlo smerovalo k rastlinám. K tomu slúžia práve reflektory, ktoré sú definované faktormi odrazu, väčšina súčasných reflektorov odrazí cca 80% svetelného žiarenia (špičkové až 95%). Pri poškodených alebo znečistených reflektoroch sa odrazivosť pohybuje na hodnote cca 50%.

Reflektory poznáme:

- široko žiarivé
- hlboko žiarivé

Široko žiarivé umožňujú efektívnejšie využitie svetla pri rozložení na väčšiu plochu. Hlboko žiarivé sú vhodné pre osvetľovanie menších plôch pri použití výbojok s menším výkonom, svetlo je totiž rozptyľované na menšiu plochu čím je možné dosiahnuť vyššiu intenzitu osvetlenia.

Poznáme aj reflektory s možnosťou chladenia, resp. odsávania teplého vzduchu, výbojky vydávajú okrem svetla tiež veľké množstvo tepla, ktoré znemožňuje priblíženie výbojky blízko k rastline. Spôsobilo by to spálenie listov a kvetov. Vďaka týmto reflektorom je možné priblížiť výbojky k rastlinám o niečo nižšie bez rizika ich poškodenia. [7]

# 3 NÁVRH Špeciálneho PESTOVATEĽSKÉHO BOXU

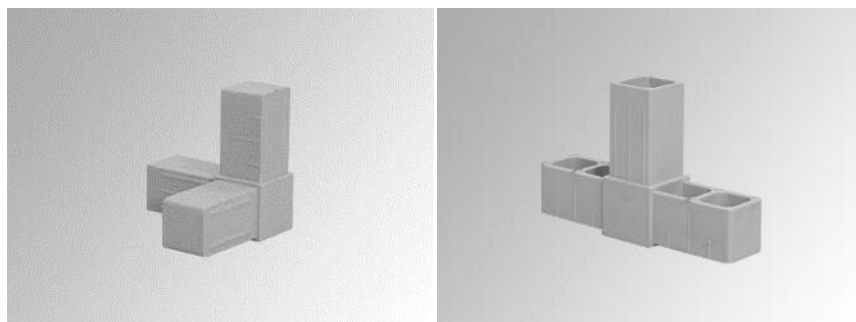
## 3.1 Materiál

Konštrukcia špeciálneho pestovateľského boxu bola navrhnutá z ohľadom na veľkosť, váhu a cenu. Bola rozdelená na 3 časti a to: pestovateľský, zavlažovací a sušiaci box.

Materiál na stavbu konštrukcie bol zvolený hliníkový profil 20mm x 20mm x 1,5mm (šírka x šírka x hrúbka) (Obr. 3.1), ktorý bol spojený rôznymi plastovými spojkami (Obr. 3.2). Ako výplň zatŕažených častí, bol použitý oceľový plech s hrúbkou 2 mm, na ostatnú výplň boli použité plastové dosky PSH (ABS) s hrúbkou 2mm (Obr. 3.3).



Obr. 3.1 Hliníkový profil prevzaté z [17]



Obr. 3.2 Rohová a T plastová spojka pre hliníkový profil prevzaté z [18][19]



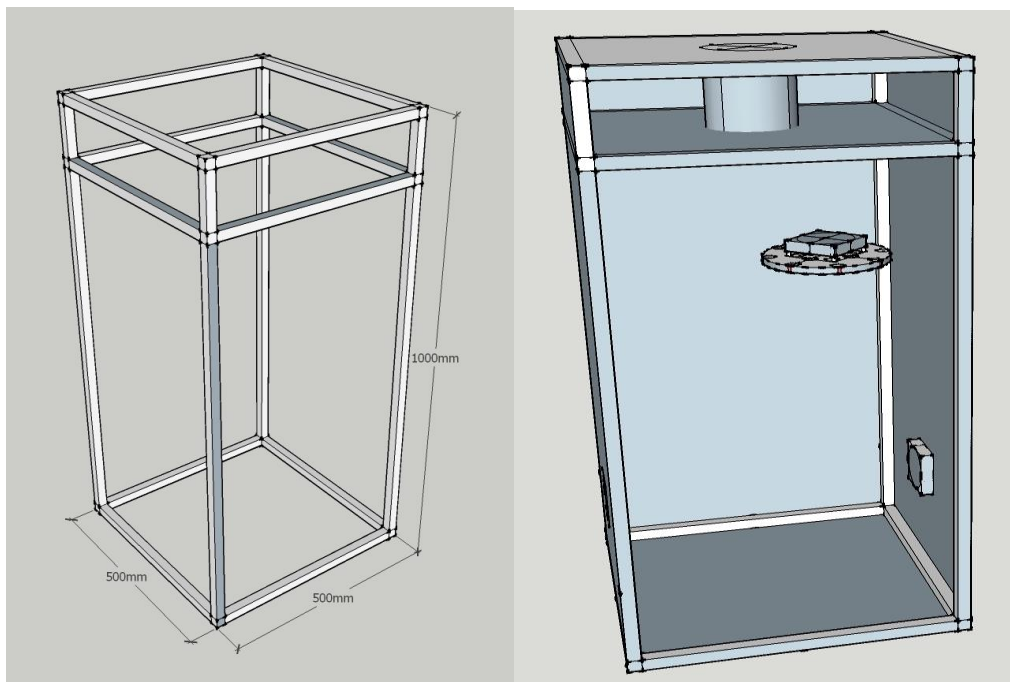
Obr. 3.3 Dosky PSH (ABS) prevzaté z [20]

## 3.2 Konštrukcia

### 3.2.1 Pestovateľský box

Pestovateľský box (Obr. 3.4) má rozmery 500mm x 500mm x 1000mm (dĺžka x šírka x výška) a jeho konštrukciu tvoria hliníkové pospájané v rohoch plastovými spojkami. Ako výplň dna a prepážky elektroniky je použitý oceľový plech, na bočné steny použité plastové dosky PSH (ABS) pripevnené samoreznými šroubami. V prednej časti sú umiestnené dvierka na prístup na prístup a manipuláciu.

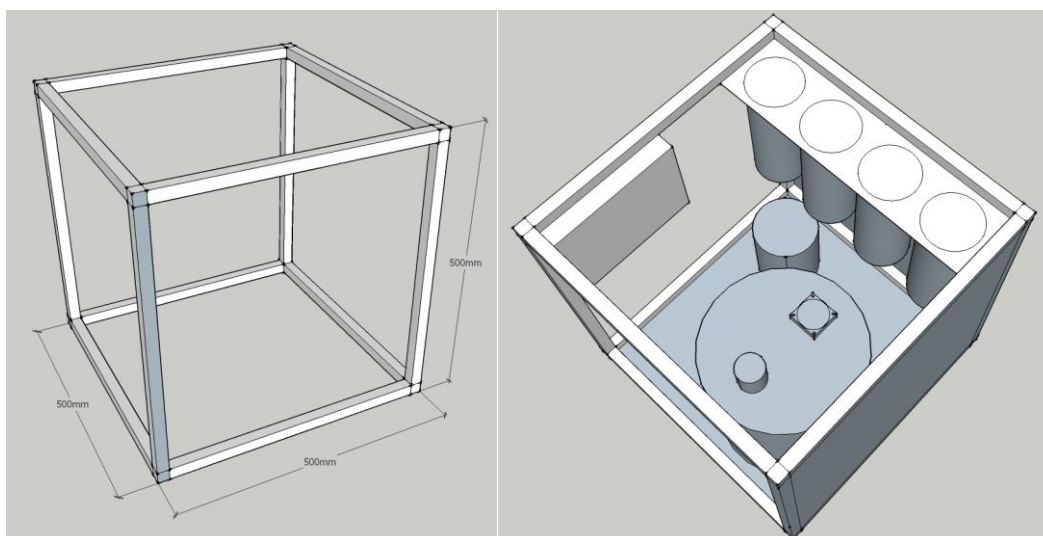
Box je rozdelený na dva časti, komory, ktoré sú od seba hermeticky oddelené. V spodnej, väčšej časti sa nachádzajú rastliny, osvetľovacie panely a potrebné senzory, v hornej časti sa nachádza kompletná elektronika a odťahové potrubie. Na koniec odťahového je možné umiestniť pachový filter s uhlíkovou výplňou, ktorý sa používa pri pestovaní veľmi aromatických rastlín (napríklad valeriána lekárska, pakost' smradľavý, devätsil lekársky). Uhlíková výplň sa skladá s malých valčekov uhlíka, ktoré majú výbornú pohlcovaciu schopnosť vďaka pórovitému povrchu.



Obr. 3.4 Konštrukcia pestovateľského boxu

### 3.2.2 Zavlažovací box

Box zavlažovania (Obr. 3.5) má rozmery 500mm x 500mm x 500mm (dĺžka x šírka x výška) a jeho konštrukciu tvoria hliníkové profily pospájané v rohoch plastovými spojkami. Ako výplň dna je použitý železný plech, na bočné steny použité plastové dosky PSH (ABS) pripevnené samoreznými šroubami. Na hornej časti boxu sú osadené dvierka na prístup a manipuláciu.

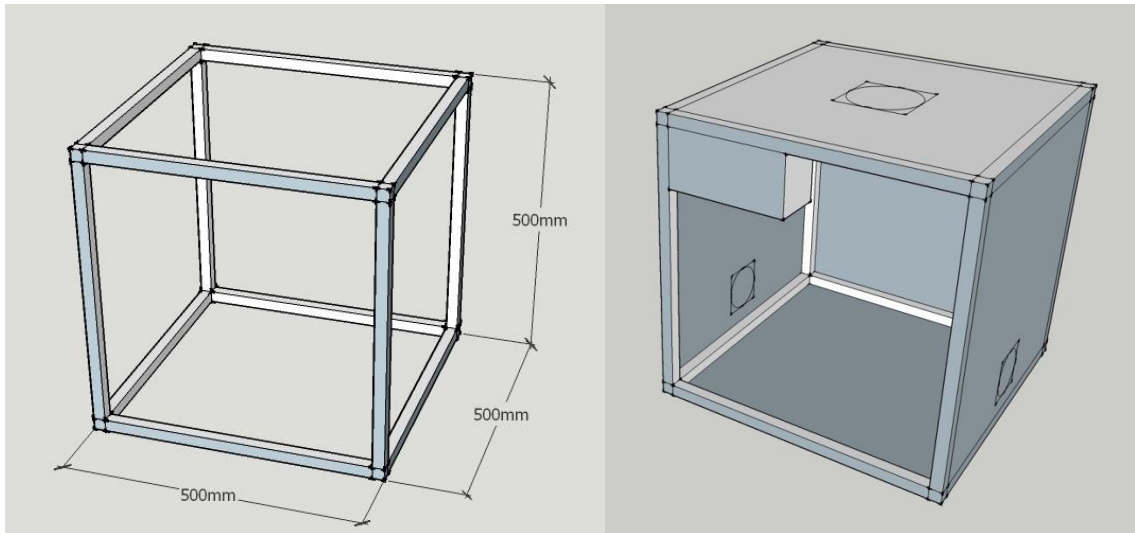


Obr. 3.5 Návrh zavlažovacieho boxu



### 3.2.3 Sušiaci box

Sušiaci box (Obr. 3.6) má rozmery 500mm x 500mm x 500mm (dĺžka x šírka x výška) a jeho konštrukciu tvoria hliníkové profily pospájané v rohoch plastovými spojkami. Ako výplň dna a bočných stien boli použité plastové dosky PSH (ABS) pripevnené samoreznými šroubami. Na bočnej časti boxu sú osadené dvierka na prístup a manipuláciu. Na hornej strane je osadený odťahový ventilátor, na spodnej strane je umiestnený pasívny prít'ah s molitanovým filtrom.



Obr. 3.6 Návrh sušiaceho boxu

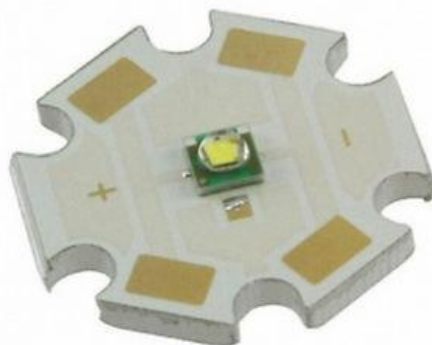
### 3.3 Osvetľovacie LED panely

Na osvetľovanie pestovateľského boxu bola zvolená technológia LED. Box budú osvetľovať 4 LED panely, každý s panelov je identický. LED diódy boli vybrané na základe absorpčnej charakteristiky s prihliadnutím k faktu, že je výkon jednotlivých vetiev farebného spektra možné regulovať a tým dosiahnuť presné naregulovanie spektra pre danú rastlinu. Postupným zlepšovaním osvetľovacích panelov sa vyvinuli 3 verzie.

Prvá verzia pozostáva z oceľové plechu s hrúbkou 2 mm s rozmermi (Obr. 3.8). Pri tomto riešení sa bralo do úvahy predĺženie odťahového potrubia smerom nadol (kruhový výrez v rohovej časti). Panel obsahoval 14 LED diód, ktoré boli od výrobcu osadené na 20mm hviezdicových chladičoch (Obr. 3.7), a boli následne skrutkami pripevnené na panel. Medzi chladič a panel bola nanosená teplovodivá pasta, ktorá napomáhala lepšiemu prechodu tepla z chladiča na panel. LED diódy boli zapojené do 6 vetiev (Tab. 3.1), vo vetvách sú pri počte viac ako jeden radené v sériovom zapojení. Tieto jednotlivé vetvy, sú s totožnými vetvami ostatných panelov spojené v paralelnom zapojení. Pri tomto spôsobe zapojenia sme schopní riadiť intenzitu na všetkých použitých vlnových dĺžkach. Na každom paneli je osadené teplotné čidlo, aby sa predišlo nechcenému nárastu teploty a poklesu účinnosti LED. Na celý box pripadalo 56 LED diód.

Druhá verzia (aktuálna) pozostáva z oceľové plechu s hrúbkou 2mm s rozmermi a tvarom (Obr. 3.9). Pri tomto riešení sa upustilo od predĺženia odťahového ventilátora a zmenil sa celkový tvar panelu. Panel obsahuje 17 LED diód, ktoré sú od výrobcu osadené na 20mm hviezdicových chladičoch a sú skrutkami pripevnené na panel. Medzi chladič a panel je nanosená teplovodivá pasta, ktorá napomáha lepšiemu prechodu tepla z chladiča na panel a na vrchnej časti je osadený ventilátor s priemerom 5cm. LED diódy sú zapojené do 7 vetiev (Tab. 3.2), vo vetvách sú radené v sériovom zapojení. Tieto jednotlivé vetvy, sú s totožnými vetvami ostatných panelov spojené v paralelnom zapojení. Pri tomto spôsobe zapojenia sme schopní riadiť intenzitu na všetkých použitých vlnových dĺžkach. Na každom paneli je osadené teplotné čidlo, aby sa predišlo nechcenému nárastu teploty a poklesu účinnosti LED. Na celý box pripadá 68 LED diód.

Tretia verzia, s ktorou sa počíta do budúcnosti bude pozostávať z alumíniovej DPS s hrúbkou 2 mm s rozmermi a tvarom (Obr. 3.10). Počet a typ LED diódy sa nezmení. Rozdiel bude spočívať v priamom osadení LED čipov na DPS. Na každom paneli bude osadené teplotné čidlo, aby sa predišlo nechcenému nárastu teploty a poklesu účinnosti LED. Na celý box bude pripadať 68 LED diód.



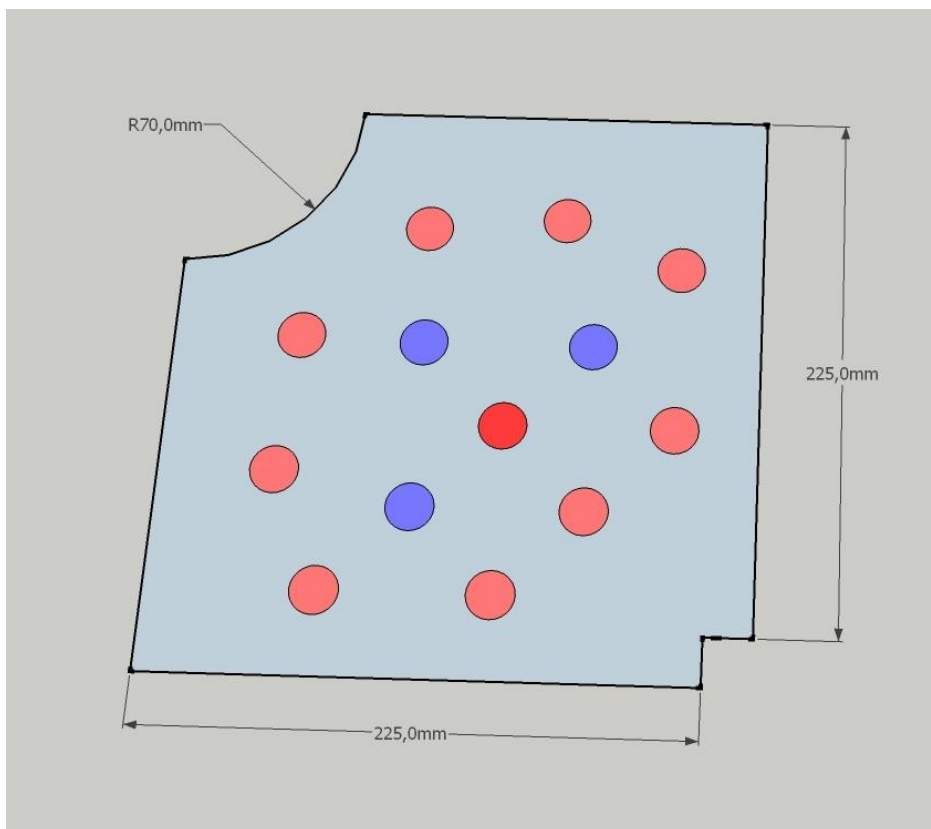
Obr. 3.7 LED osadená na 20mm hviezdicovom chladiči prevzaté z [37]

Vetva č.	Počet diod	Farebné spektrum	Výrobca	Typ	Príkon [W]
1	3	červené	Cree	XP-E	5,53
2	3	červené	Cree	XP-E	5,53
3	3	červené	Cree	XP-E	5,53
4	3	modré	Cree	XT-E	3,22
5	1	tmavočervené	-	-	1,4
6	1	UV	-	-	0,07

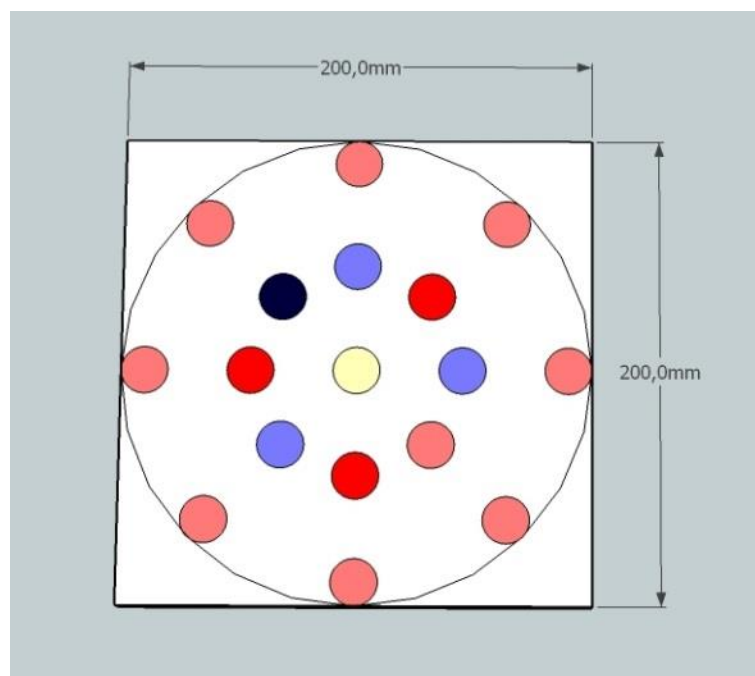
Tab. 3.1 Zobrazenie parametrov jednotlivých LED diód pripadajúci na jednu vetvu verzie 1 prevzaté z [21][22]

Vetva č.	Počet diod	Farebné spektrum	Výrobca	Typ	Príkon [W]
1	3	červené	Cree	XP-E	5,53
2	3	červené	Cree	XP-E	5,53
3	3	červené	Cree	XP-E	5,53
4	3	modré	Cree	XT-E	3,22
5	3	tmavočervené	-	-	2,42
6	1	biela	-	-	2,31
7	1	UV	-	-	0,61

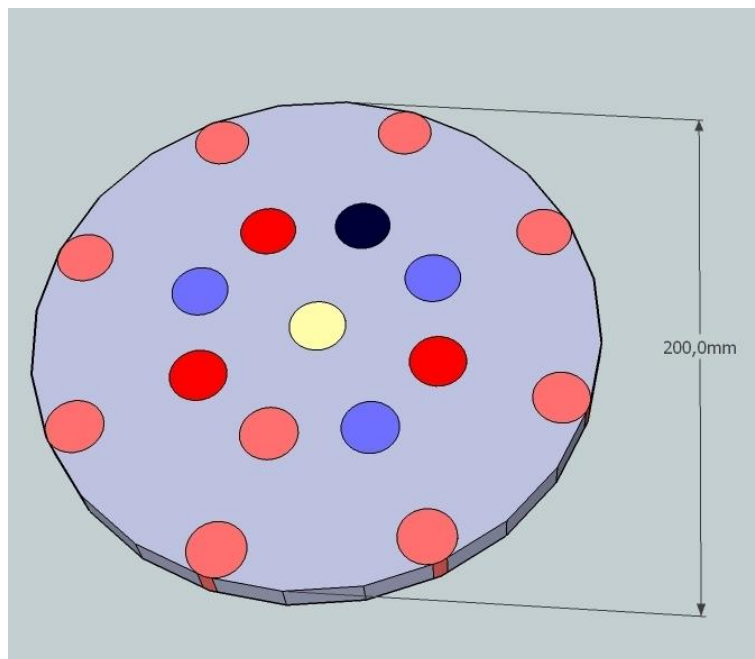
Tab. 3.2 Zobrazenie parametrov jednotlivých LED diód pripadajúcich na jednu vetvu verzie 2 a 3 prevzaté z [21][22]



Obr. 3.8 Návrh LED panela verzia 1



Obr. 3.9 Návrh LED panela verzia 2



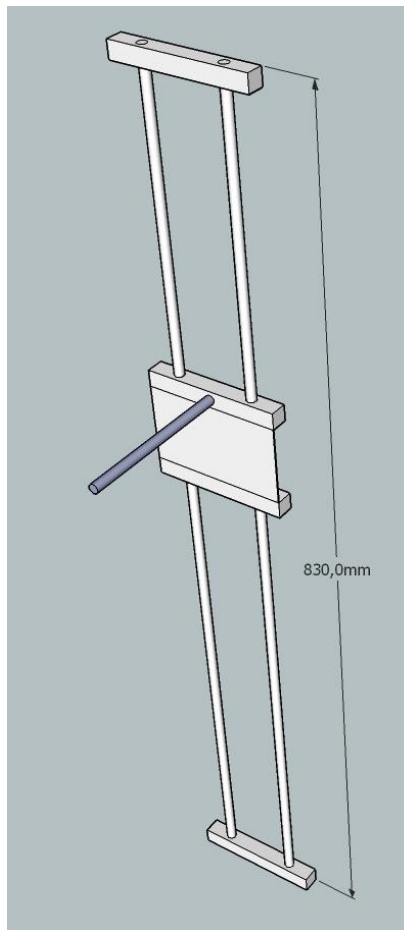
Obr. 3.10 Návrh LED panela verzia 3

### 3.3.1 Vertikálny pohyb LED panelov

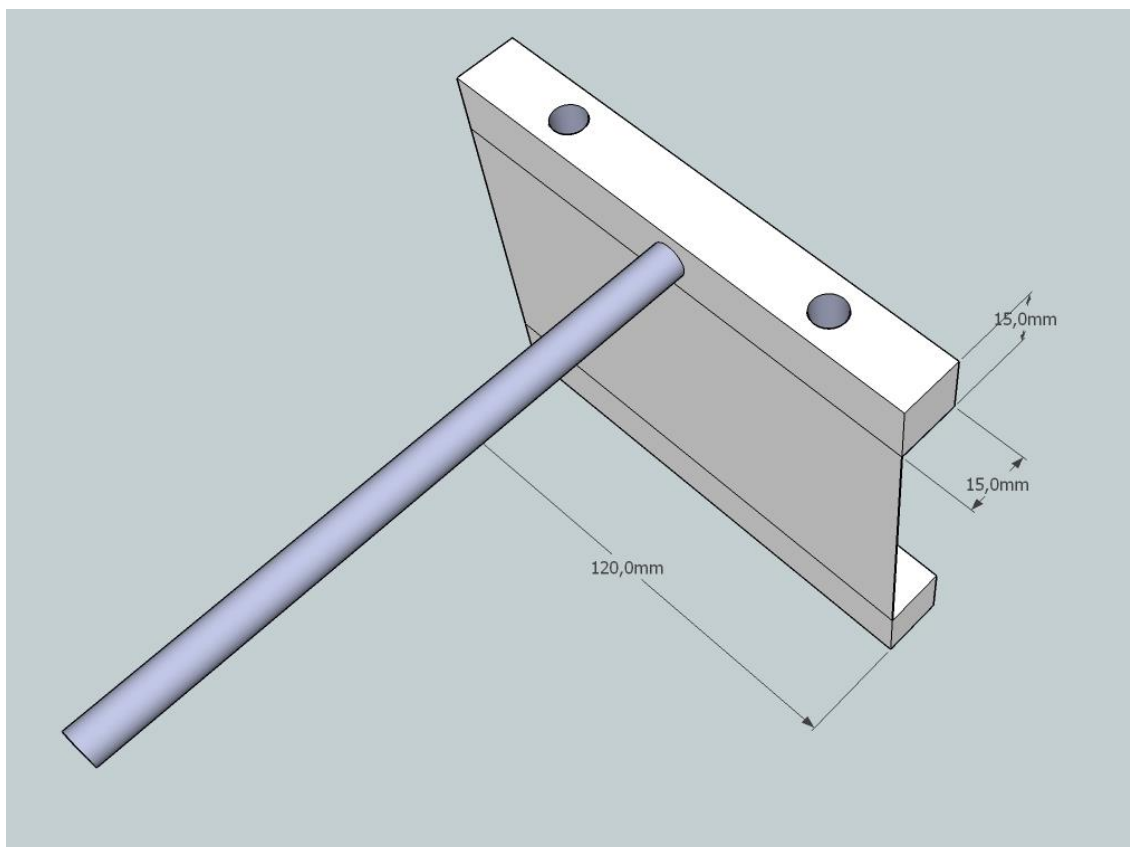
Jednotlivé LED panely sa budú pohybovať v pestovateľskom boxe vo vertikálnom smere vo vzdialenosti od 10cm do 80cm.

Pri návrhu vertikálneho pohybu nastali značné komplikácie, najskôr sa uvažovalo o použití systému koľajníc a priemyselných vozíkov, kvôli cene sa však muselo od tohto riešenia upustiť. Do úvahy prichádzal systém zložený z trapézovej tyče, dvoch vodiacich tyčí a trapézových matiek. Z tejto varianty sa upustilo kvôli minimálnemu priemeru trapézovej tyče, ktorá presahovala bočný rám z hliníkových profilov a ceny.

Nakoniec sa ako najvhodnejšie ukázalo zavesenie panelu na pohyblivom vozíku, ktorý sa pohybuje po dvoch vodiacich tyčiach. Tento vozík je lanom pripevnený k špeciálnemu navíjacemu servu.



Obr. 3.11 Vertikálny pohybový systém pre zdvíhanie panelov



Obr. 3.12 Detail vozíka

Parametre serva:

- hmotnosť: 55g
- veľkosť: 40,5mm x 20,2mm x 38mm (výška x šírka x dĺžka)
- rýchlosť: 0,9s / 360° (4,8V) - 0,7s / 360° (6,0V)
- ťah: 11kg (4,8V) - 13kg (6,0V)
- napájacie napätie: 4,8V až 6,0V

Použitie navíjacieho serva má nespornú výhodu, elektronika aj prevody sú umiestnené v jeho vnútri, nie sú nutné žiadne pomocné obvody iba napájanie a riadenie PWM. Pri použití motorov, by bolo nutné navrhnuť ďalšie ovládacie obvody.



Obr. 3.13 Navíjacie servo prevzaté z [23]

### 3.3.2 Chladienie LED panelov

Prvá verzia LED panelov bola navrhnutá tak, že LED diódy osadené na hviezdicových 20mm chladičoch (osadené od výrobcu), boli pripevnené skrutkami na oceľový plech s hrúbkou 2mm. Pre zlepšenie odvodu tepla bola medzi hviezdicové chladiče a oceľových plech nanosené vrstva teplovodivej pasty. V tejto fáze práce sa počítalo iba s 5 okruhmi LED diód (13 LED diód na panel) a v plnej prevádzke nepresiahla teplota LED panelu 32 °C, čo je podľa dostupných datasheetov teplota pri ktorej sa výkon daných LED diód pohybuje nad 95%.

Druhá verzia LED panelov je navrhnutá podobne ako verzia prvá. Diódy ponechané na hviezdicových chladičoch priskrutkované k oceľovému plechu, ktorého rozmery sa zmenšili. Počet okruhov narástol na 7 (17 LED diód na panel) a z tohto dôvodu bol osadený na panel chladiaci ventilátor s priemerom 5cm.

Tretia verzia LED panelov predpokladá použitie hliníkovej DPS na každom paneli a osadenie LED diód priamo na DPS. Zlepší sa odvádzanie tepla od diód, avšak je tu riziko poškodenia (resp. zničenia) LED diód pri odpájkovaní z chladičov, na ktorých boli osadené výrobcom. Na hornej časti panela bude osadený chladiaci ventilátor s priemerom 5cm.



## 3.4 Podmienky

### 3.4.1 Ventilácia

Základom výmeny vzduchu je jeden odt'ahový ventilátor umiestnený uprostred hornej časti pestovateľského priestoru. Bol použitý PC ventilátor, ktorý je dostatočne predimenzovaný podľa výpočtov v kapitole 1.3

Parametre ventilátora NMB 3610RL-04W-S66 [24]:

- rozmery 92 mm x 92 mm x 25 mm (dĺžka x šírka x výška)
- napájacie napätie 12V
- prúd 0,43A (maximálne 0,56A)
- rýchlosť 3600 otáčok/minútu
- prúd 0,43A (maximálne 0,56A)
- tlak vzduchu 61,8 CFM (z angl. Cubic Foot per Minute- kubická stopa za minútu)
- hlučnosť 44,5dBA
- ovládanie pomocou PWM, senzor rýchlosti otáčok

$$1 \text{ CFM} = 1,69 \text{ m}^3/\text{hodinu} \quad (1.2.)$$

Prietok ventilátoru je 105 m<sup>3</sup>/hodinu, a je dostatočne predimenzovaný (podľa oboch metód) vzhľadom na malý objem priestoru (0,18m<sup>3</sup>) postačuje jeho chod na nízkych otáčkach. Pasívne prí'ahové otvory vzduchu sú umiestnené na bočných stenách boxu v dolnej časti, majú kruhový tvar s priemerom 6cm a sú prekryté molitanovým filtrom.

### 3.4.2 Vlhkosť vzduchu

Na zvýšenie relatívnej vlhkosti je použitý membránový ultrazvukový zvlhčovač s jedným keramickým diskom (Obr. 3.14). Pracuje na princípe rýchlych vibrácií keramického disku ponoreného do vody, kde sa generujú vodné kvapky o veľkosti rádovo jednotiek  $\mu\text{m}$ . Je napájaný z AC/DC adaptéra 230V/24V a jeho výkon sa pohybuje okolo 200ml/hodinu. Je umiestnený v zavlažovacom boxe (obr. 3.8) v uzatvárateľnej plastovej nádobe s objemom 10L kde pláva na plaváku. Vo viečku nádoby je umiestnený tlačný ventilátor s priemerom 50mm (ovládaný relé) a sanitárna rúra s priemerom 30mm na odvod vlhkého vzduchu do pestovateľského boxu.



Obr. 3.14 Ultrazvukový zvlhčovač prevzaté z [25]

### 3.4.3 Zavlažovanie

Zavlažovanie je vyriešené elektrickým čerpadlo. Jedná sa o čerpaciu hlavicu nasadenú na elektromotor (Mabuchi RS-360) (Obr. 3.15). Čerpadlo je napájané napätím 7V (pracuje v rozsahu od 3V do 12V) a dĺžkou jeho chodu (spínané pomocou relé) sa počíta množstvo prečerpanej vody. Výkon čerpadla sa pohybuje okolo 700ml/minútu. Ako ochrana proti zaseknutiu čerpadla je na plášti motora osadené teplotné čidlo, ochranná funkcia zareaguje pri zvýšení teploty plášťa motora (indikácia zadrenia rotora) nad nastavený limit.



Obr. 3.15 Čerpadlo zavlažovania prevzaté z [26]

### 3.4.4 Hnojenie

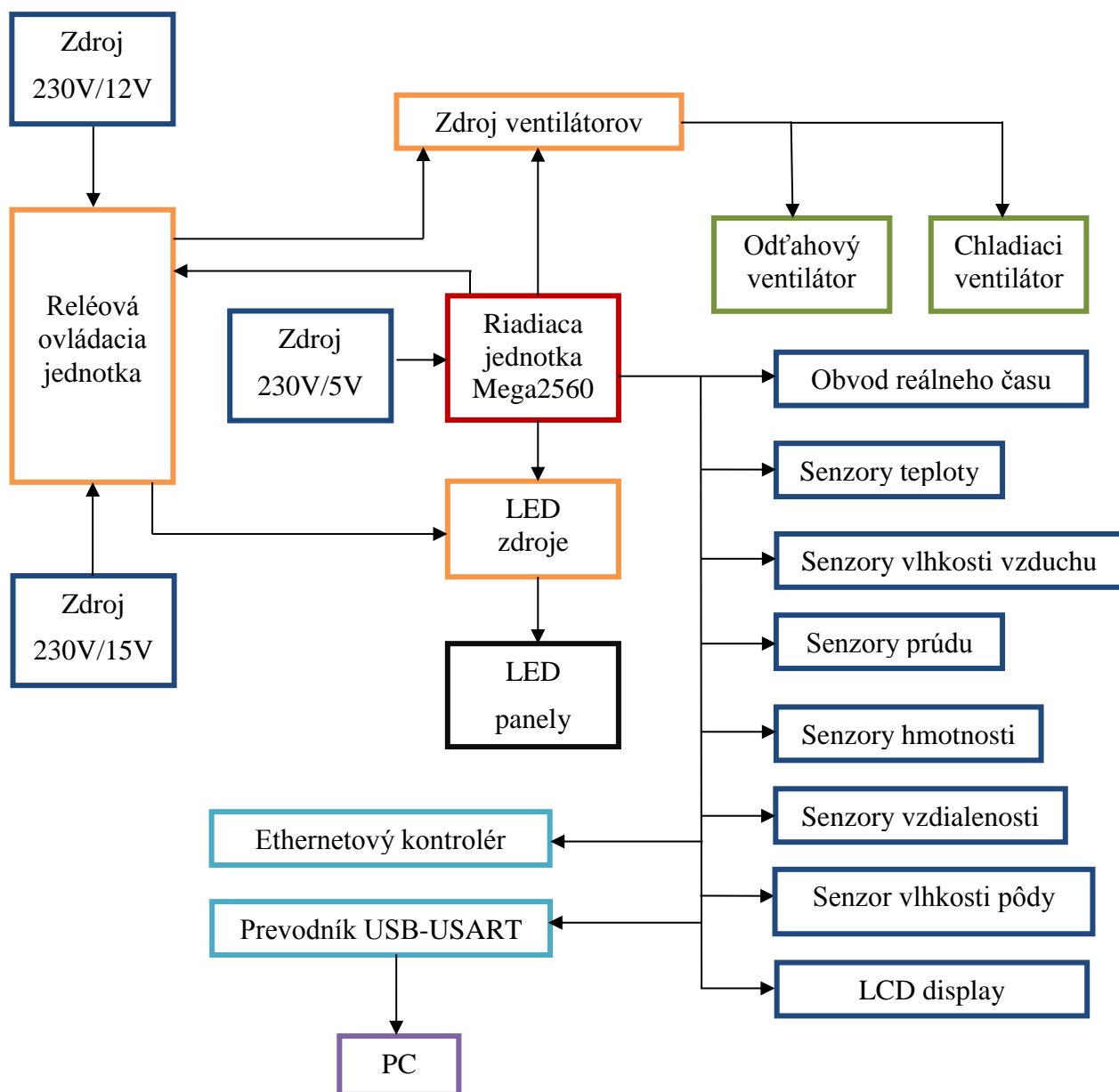
Systém hnojenia je navrhnutý na použitie organických hnojív od firmy Jungle. Použije sa systém hnojenia s tromi zložkami A, MIKRO a B. Tieto zložky sa budú miešať v špecifických pomeroch, ktoré závisia od druhu plodiny a fázy vývinu rastliny. Tento zložkový systém má nespornú výhodu v kompenzovaní parametrov pH, EC a druhu vody (tvrdá, mäkká).

Použije sa jedno čerpadlo (totožný typ ako pri zavlažovaní), ktoré bude umiestnené v zavlažovacom boxe priamo pod nádobou s hnojivom.

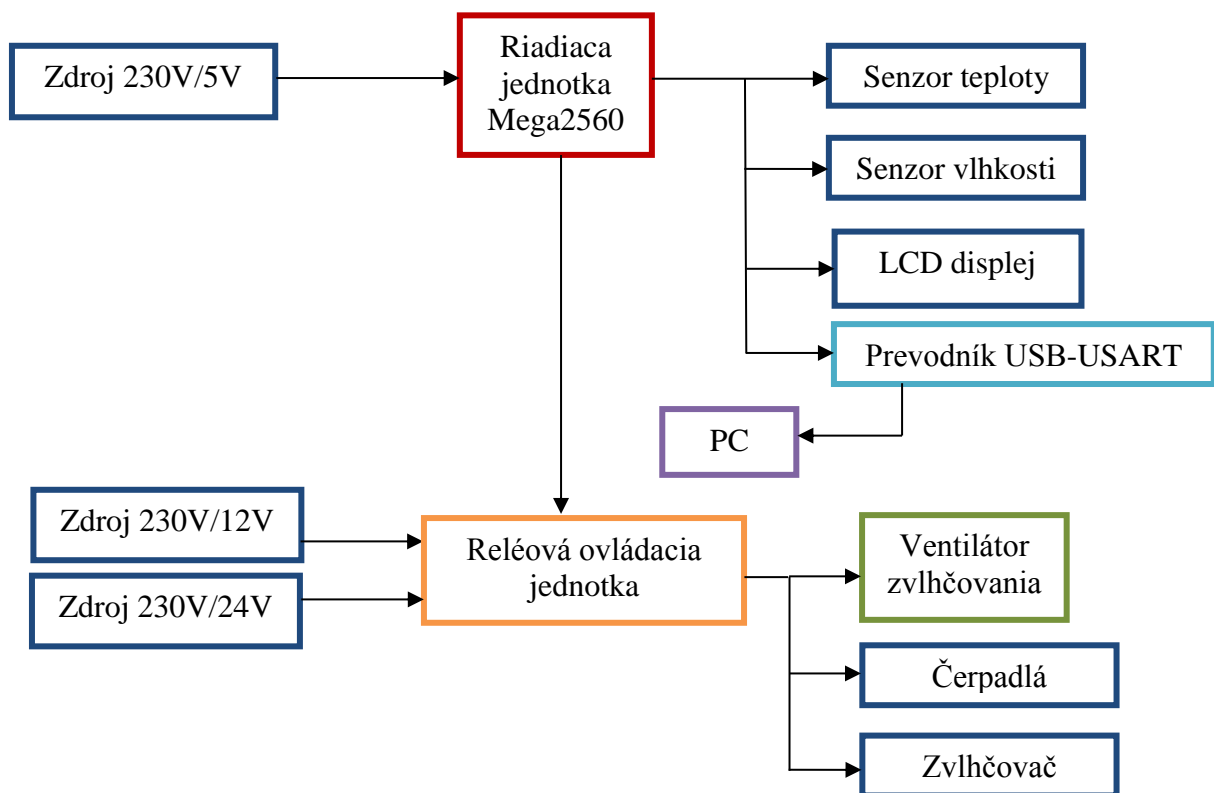
## 4 NÁVRH RIADIACEHO SYSTÉMU

Nasledujúca kapitola sa zaoberá návrhom systému, ktorý bude spĺňať požiadavky na návrh a realizáciu systému.

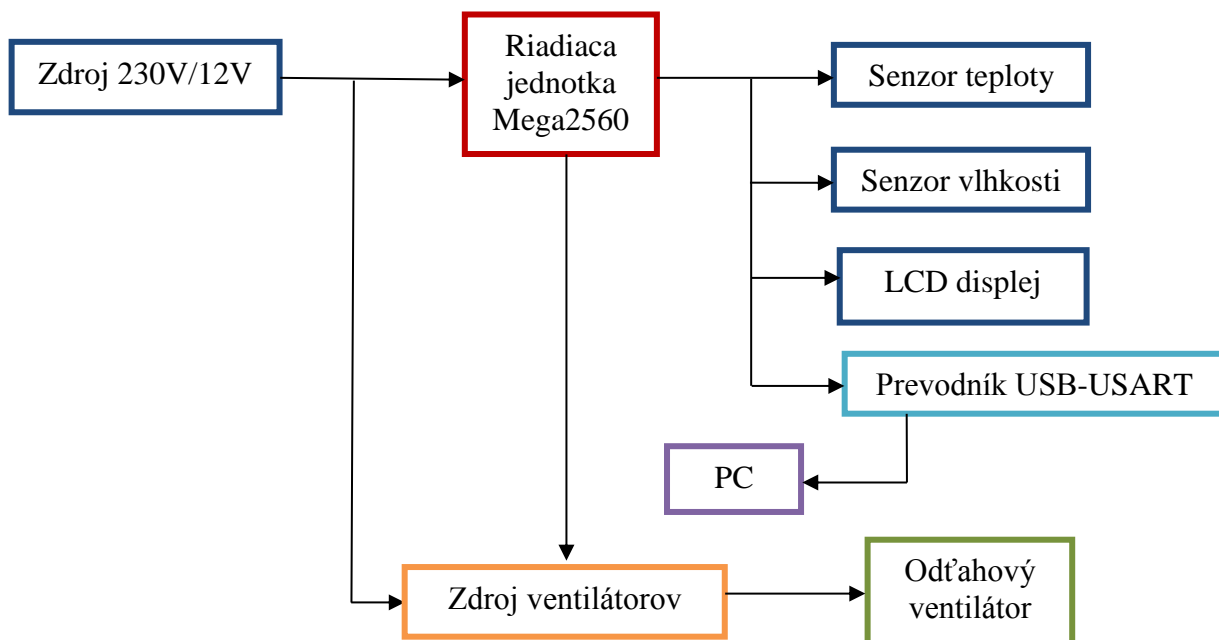
### 4.1 Návrh na úrovni funkčných blokov



Obr. 4.1 Bloková schéma elektrickej časti pestovateľského boxu



Obr. 4.2 Bloková schéma elektrickej časti zavlažovacieho boxu



Obr. 4.3 Bloková schéma elektrickej časti sušiacieho boxu

Pri návrhu bolo potrebné brať do úvahy nasledujúce požiadavky:

- **váha**  
Riadiaca jednotka by mala mať malú váhu.
- **rozmery**  
Jednotka by mala mať čo najmenšiu veľkosť s ohľadom na veľkosť miesta uloženia.
- **napät'ové úrovne**  
Aby celý merací systém korektne fungoval, musí byť systém napät'ovo zosúladený.
- **napájanie**  
Oddelené obvody napájania mikroprocesorovej jednotky, senzorov, ventilátorov, LED panelov a zvlhčovača.
- **stabilita napájania**  
Pre dosiahnutie presnosti merania je podstatná. Nestabilita by mohla mať za následok kolísanie nameraných hodnôt
- **komunikácia**  
Pre zabezpečenie dostatočnej rýchlosti toku informácií sú použité nasledovné rozhrania.
  - One Wire: senzory - MCU
  - SPI: komunikácia LCD displej a ethernetový radič - MCU
  - I<sup>2</sup>C: komunikácia ADC prevodník - MCU, MCU-MCU
  - USART: prevodník PC – MCU

## 5 REALIZÁCIA SYSTÉMU

Pri výbere dielov meracieho obvodu boli zvažované nasledujúce možnosti: spôsob merania danej veličiny, presnosť merania, mechanické prevedenie, dostupnosť a cena komponentov na trhu. Komponenty boli nakupované od predajcov GME, GES, Farnell a iných.

### 5.1 Napät'ové úrovne

Celý systém je nutné napät'ovo zladit'. Snažíme sa vyhnúť manipuláciou so sieťovým napätím, elegantným použitím AC/DC adaptérov.

Komponent	Napájanie [V]	Prúd [mA]	Výstup	Označenie
Arduino MEGA2560	5,0	40/IO pin	-	Mega2560
Senzor hmotnosti	3,0-12,0	10	U	LC5
AD prevodník	2,6-5,5	1,6	U	HX711
UVZ senzor	5,0	15	-	HC-SR04
Senzor teploty	3,0-5,5	4	one wire	DS18B20
Senzor vlhkosti vzduchu	3,0-5,0	2,5	one wire	DHT11
Senzor vlhkosti pôdy	3,3-5,0	35	U	FC-28
Senzor prúdu	4,5-5,5	13	U	ACS712
Eth modul	3,14-3,45	120	SPI	ENC28J60
Zdroj LED	6,0-75,0	2	U	LM3409
Zdroj ventilator	4,0-35,0	5	U	LM2576
Digitalny potenciometer	2,7-5,5	5	I <sup>2</sup> C	AD5241
Relé	5,0	72	-	SRD-05VDC-SL-C
Odťahový ventilátor	12,0	560	-	NMB 3610RL
Chladiaci ventilátor	5,0	360	-	HDF6015L-05HB

Tab. 5.1 Elektrické parametre jednotlivých prvkov pestovateľského boxu

Komponent	Napájanie [V]	Prúd [mA]	Výstup	Označenie
Arduino vývojová doska	5,0	40/IO pin	-	Mega2560
Senzor teploty	3,0-5,5	4	one wire	DS18B20
Senzor vlhkosti	3,0-5,0	2,5	one wire	DHT11
Relé	5,0	72	-	SRD-05VDC-SL-C
Ultrazvukový zvlhčovač	24,0	500	-	-
Tlačný ventilátor	12,0	350	-	FD-60
Čerpadlo	3,0-12,0	900	-	-

Tab. 5.2 Elektrické parametre jednotlivých prvkov zavlažovacieho boxu

Komponent	Napájanie [V]	Prúd [mA]	Výstup	Označenie
Arduino vývojová doska	5,0	40/IO pin	-	Mega2560
Senzor teploty	3,0-5,5	4	one wire	DS18B20
Senzor vlhkosti	3,0-5,0	2,5	one wire	DHT11
Zdroj ventilátor	4,0-35,0	5	U	LM2576
Digitalny potenciometer	2,7-5,5	5	I <sup>2</sup> C	AD5241
Odtáhový ventilátor	12,0	0,12	-	NJ12025SE

Tab. 5.3 Elektrické parametre jednotlivých prvkov sušiaceho boxu

## 5.2 Napájanie celého obvodu

### 5.2.1 Obvod pestovateľského boxu

Celé obvodové zapojenie špeciálneho boxu sa bude pohybovať na 4 napäťových úrovniach.



- **3,3V** (napája MCU)  
Napája ethernetový modul a LCD displej.
- **5V** (napája AC/DC adaptér 230V/5V 3A)  
Napája MCU, senzory teploty, vlhkosti, prúdu, hmotnosti, vzdialenosti, AD prevodníka.
- **12V** (napája AC/DC adaptér 230V/12V 5A)  
Napája odťahový ventilátor, senzor pôdnej vlhkosti, chladiace ventilátory.
- **15V** (napája AC/DC adaptér 230V/15V 8A)  
Napája spínané zdroje LED panelov.

## 5.2.2 Obvod zavlažovacieho boxu

Celé obvodové zapojenie špeciálneho boxu sa bude pohybovať na 4 napätových úrovniach.

- **3,3V** (napája MCU)  
Napája ethernetový modul a LCD displej.
- **5V** (napája AC/DC adaptér 230V/5V 1A)  
Napája MCU, senzory teploty, vlhkosti, reléovú dosku.
- **12V** (napája AC/DC adaptér 230V/12V 2A)  
Napája ventilátor na tlačenie vodnej hmly, čerpadlá.
- **24V** (napája AC/DC adaptér 230V/24V 1A)  
Napája ultrazvukový zvlhčovač.

## 5.2.3 Obvod sušiaceho boxu

Celé obvodové zapojenie špeciálneho boxu sa bude pohybovať na 3 napätových úrovniach.

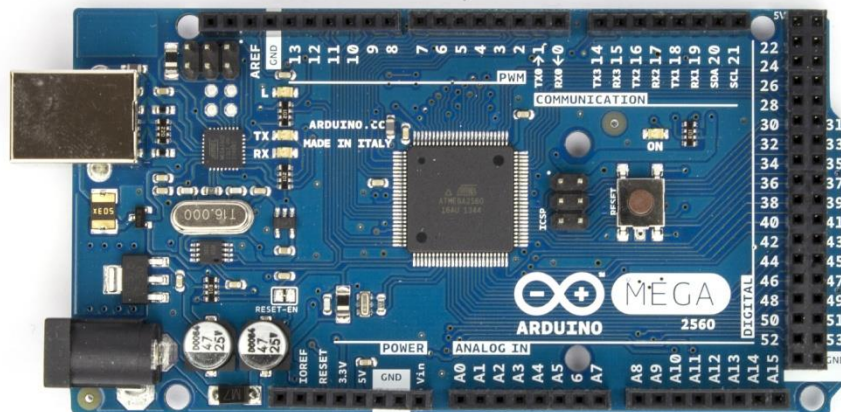
- **3,3V** (napája MCU)  
Napája ethernetový modul a LCD displej.
- **12V** (zdroj AC/DC adaptér 230V/12V 2A)  
Napája MCU, ventilátor na tlačenie vodnej hmly, čerpadlá.
- **24V** (zdroj AC/DC adaptér 230V/24V 1A)  
Napája ultrazvukový zvlhčovač.

## 5.3 Vývojová doska Arduino MEGA 2560 [27]

Vývojová doska bude použitá na riadenie každého boxu.

Parametre:

- 8 bitový mikrokontrolér ATmega 2560
- operačné napätie 5V
- napájacie napätie (požadované) od 7V do 12V
- napájacie napätie (limit) od 6V do 20V
- 53 IO pinov
- 15 PWM kanálov
- 16 analógových vstupných pinov
- 256 KB pamäte typu Flash (8 KB použitých bootloaderom)
- 8 KB pamäte typu SRAM
- 4 KB pamäte typu EEPROM
- 16 MHz vnútorný oscilátor



Obr. 5.1 Čerpadlo zavlažovania prevzaté z [28]

### 5.3.1 Mikrokontrolér Atmel ATmega 2560 [29]

Parametre:

- vysokovýkonný 8 bitový mikrokontrolér s nízkou spotrebou energie
  - 100 pinov z toho 86 IO pinov
  - 256 KB pamäte typu Flash
  - 8 KB pamäte typu SRAM
  - 4 KB pamäte typu EEPROM
  - 16 MHz vnútorný oscilátor
- operačné napätie od 1,8V do 5,5V

Rozhrania:

- dva 8 bitové časovače/počítadlá
  - štyri rozšírené 16 bitové časovače/čítače
  - počítadlo reálneho času so samostatným oscilátorom
  - dva 8 bitové PWM kanály
  - 15 PWM kanálov s programovateľným rozlíšením 2 – 16 bitov
  - 16 kanálový 10 bitový ADC prevodník
  - I2C rozhranie
  - 5 samostatných rozhraní SPI
  - 4 samostatné rozhrania USART
- rozsah pracovných teplôt: -40°C až +85°C
- programovateľný časovač Watchdog s vlastným oscilátorom (on chip)

Špeciálne funkcie:

- interný kalibrovaný RC oscilátor
- externé a interné zdroje prerušenia
- šesť režimov spánku
- softvérovo voliteľná frekvencia hodín

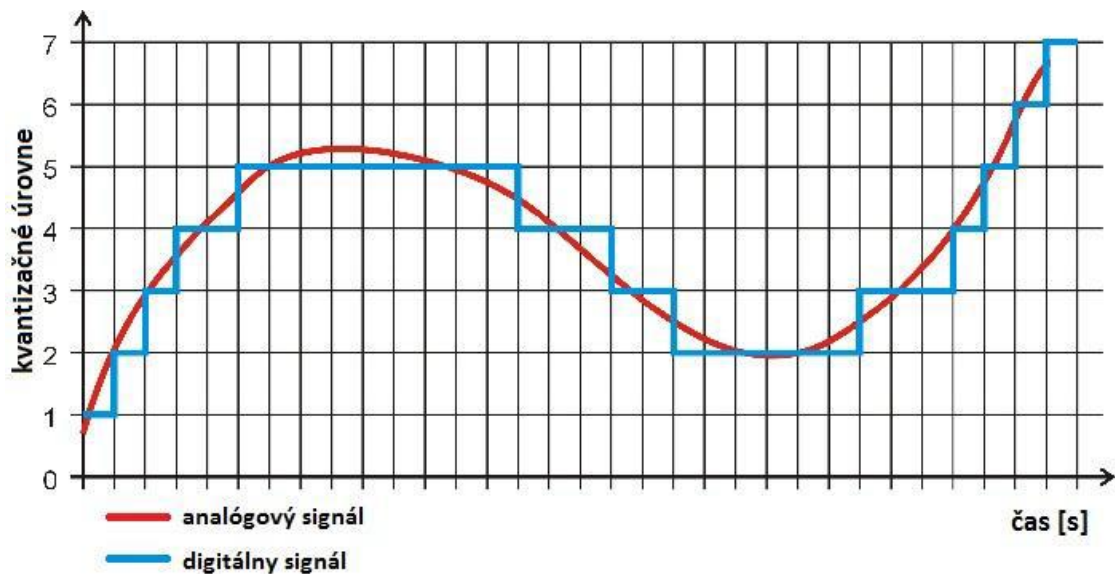
Hlavnou funkciou mikrokontroléru (ďalej MCU) bude spracovávať namerané hodnoty zo senzorov, obvodu reálneho času a zobrazovať ich na LCD displej. Bude regulovať výkon LED panelov, ADC vstupy bude využívať na meranie výstupného prúdu LED zdrojov. Ďalej budú využité aj periférie vstupy I<sup>2</sup>C, SPI a USART.

## 5.4 Meranie napätia

V meracom systéme sa objavuje niekoľko senzorov s napät'ovým výstupom (senzor prúdu a senzor vlhkosti pôdy, atď). Použitý mikrokontrolér má k dispozícii 16 kanálov 10 bitového ADC prevodníka (ďalej ADC). ADC mení analógovú vstupnú hodnotu na digitálnu výstupnú hodnotu v podobe n-bitového čísla. Počet bitov, ktoré sa použijú na zakódovanie analógovej hodnoty do číslicového formátu udáva rozlišovaciu schopnosť ADC. Znamená to schopnosť rozdeliť vstupného analógového signálu do úrovní. Napríklad pre 10 bitov ADC znamená  $2^{10} = 1024$  rôznych úrovní. ADC prevod využíva princíp kvantovania (Obr. 5.2), ktorý priradí digitálnu hodnotu, ktorá je zhodná s hodnotou analógového signálu na vstupe ADC.

Presnosť merania známa aj ako chyba kvantizácie, ktorá udáva veľkosť chyby a rozdiel medzi hodnotami signálu na výstupe a vstupe ADC. Rýchlosť A/D prevodu určuje, koľko vzoriek za sekundu je možné prevodníkom vygenerovať. Aplikácia využíva 10bitový prevodník, ktorý zabezpečuje dostatočnú presnosť merania.

Napríklad meranie vlhkosti pôdy sa používa senzor FC-28 s napät'ovým výstupom od +0V od +4,2V. ADC prevodník je schopný toto napätie rozložiť na 1024 rôznych úrovní, čo znamená že je schopný rozpoznať zmenu napätia o 4,10mV.



Obr. 5.2 Princíp kvantovania prevzaté z [38]

## 5.5 Senzor hmotnosti LC5 [30]

Čidlo (Obr. 5.3) pracuje na princípe tenzometra zapojeného do Wheatstonovho mostíka a zabezpečuje meranie hmotnosti kvetináča. Slúži na presnejšie rozpoznávanie potreby zalievania, t.j. meria hmotnosť kvetináča po zalievaní a potom čaká kým o tú istú hodnotu neklesne hmotnosť kvetináča (voda sa vyparí). Senzor bude napojený na 24bitový AD prevodník HX711 a ten bude komunikovať s nadradeným mikroprocesorom.

Parametre:

- napájacie napätie +3,0V až +12,0V
- spotreba 10mA
- vstupná impedancia  $1055 \pm 15\% \Omega$
- výstupná impedancia  $1000 \pm 5\% \Omega$
- merací rozsah do 5kg
- možnosť preťaženia 200% F.S. (z angl. Full Scale- Merací rozsah)
- napätový výstup  $1\text{mV/V} \pm 0,15\text{mV/V}$
- ochrana IP65
- rozsah pracovných teplôt:  $-55^\circ\text{C}$  až  $+125^\circ\text{C}$



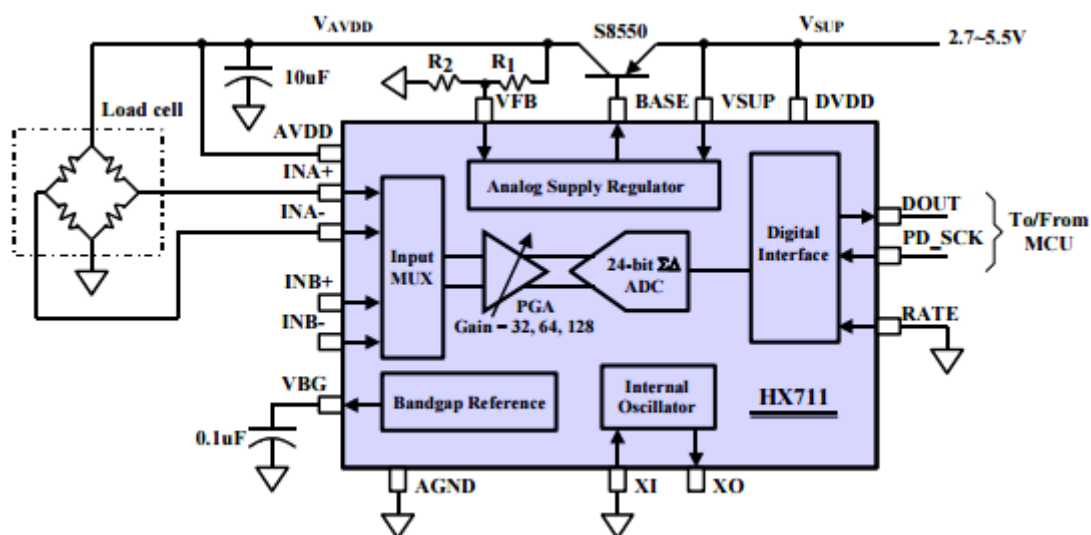
Obr. 5.3 Senzor LC5 prevzaté z [39]

### 5.5.1 AD prevodník HX711 k senzoru hmotnosti [31]

Prevodník (Obr. 5.4) je použitý z hľadiska vyššej presnosti (24 bitov) ako ADC prevodníky mikroprocesorovej jednotky (10bitový ADC) a používa napäťový výstup.

Parametre:

- napájacie napätie +2,6V až +5,5V
- spotreba 1,6mA (v pohotovostnom režime 0,1 mA)
- dva voliteľné vstupné kanály
- nízky šum PGA s voliteľným zosilnením 32,64 až 128
- vstavaný oscilátor
- presnosť 24 bitov
- rozsah pracovných teplôt: -40°C až +125°C



Obr. 5.4 Zapojenie prevodníka HX711 prevzaté z [31]

## 5.6 Ultrazvukový modul HC-SR04 na meranie vzdialenosti [32]

Senzor (Obr.5.5) pracuje na ultrazvukovom princípe, sníma vzdialenosť pod panelom, pri prekrytí dráhy vysielaného signálu vrcholcom rastliny sa panel zdvihne o nastavenú vzdialenosť.

Parametre:

- napájacie napätie +5,0V
- spotreba 15mA
- pracovná frekvencia 40Hz
- merací rozsah od 2cm do 4m
- merací uhol 15°
- presnosť 3mm
- výstupný echo signál
- rozsah pracovných teplôt: -40°C až +125°C



Obr. 5.5 Senzor DS18B20 prevzaté z [40]

## 5.7 Senzor teploty DS18B20 [33]

Čidlo (Obr. 5.6) zabezpečuje meranie teploty v rozmedzí  $-55^{\circ}\text{C}$  až  $+125^{\circ}\text{C}$  a komunikuje s nadradenou procesorovou jednotkou pomocou jednovodičovej zbernice One-wire.

Parametre:

- napájacie napätie  $+3,0\text{V}$  až  $+5,5\text{V}$
- spotreba  $4\text{mA}$  (v standby režime  $750\text{ nA}$ )
- komunikácia One-wire
- každé zariadenie má unikátny 64-Bit sériový kód uložený v ROM pamäti
- merací rozsah teploty:  $-55^{\circ}\text{C}$  až  $+125^{\circ}\text{C}$
- presnosť  $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$  pri rozsahu  $-10^{\circ}\text{C}$  až  $+85^{\circ}\text{C}$
- rozlíšiteľnosť voliteľná užívateľom v rozmedzí do 9 do 12 bitov
- rozsah pracovných teplôt:  $-55^{\circ}\text{C}$  až  $+125^{\circ}\text{C}$



Obr. 5.6 Senzor DS18B20 prevzaté z [41]

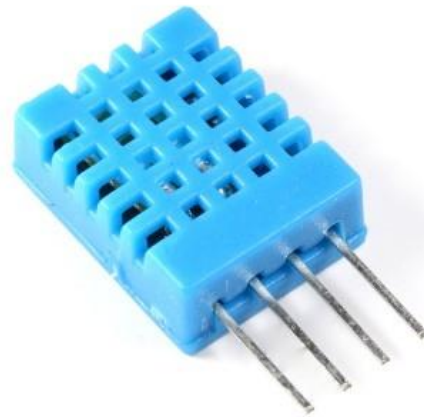


## 5.8 Senzor vlhkosti vzduchu DHT11[34]

Senzor (Obr. 5.7) zabezpečuje meranie vlhkosti, a je schopné merať aj teplotu v ale s menšou presnosťou ako vyššie uvedené DS18B20.

Parametre:

- napájacie napätie +3,0V až 5,0V
- spotreba 2,5mA (v standby režime 1 mA)
- meranie teploty NTC prvkom
- meranie vlhkosti kapacitným prvkom
- komunikácia One-wire pomocou zapuzdreného 8 bitového procesora
- merací rozsah vlhkosti: 20% až 90%
- merací rozsah teploty: 0°C až +50°C
- presnosť pri meraní vlhkosti  $\pm 5\%$
- presnosť pri meraní teploty  $\pm 2^\circ\text{C}$
- rozlíšiteľnosť 8 bitov
- rozsah pracovných teplôt: -55°C až +125°C



Obr. 5.7 Senzor DHT11 prevzaté z [42]

## 5.9 Senzor vlhkosti pôdy FC-28 []

Čidlo (Obr. 5.8) zabezpečuje meranie vlhkosti pôdy v črepníku a pracuje s napät'ovým výstupom.

Parametre:

- napájacie napätie +3,3V až +5,5V
- spotreba 35mA
- napät'ový výstup 0V až +4,2V
- presnosť  $\pm 4\%$
- rozlíšiteľnosť 0,1%
- presnosť  $\pm 0,5^\circ\text{C}$  pri rozsahu  $-10^\circ\text{C}$  až  $+85^\circ\text{C}$
- rozsah pracovných teplôt:  $-40^\circ\text{C}$  až  $+60^\circ\text{C}$



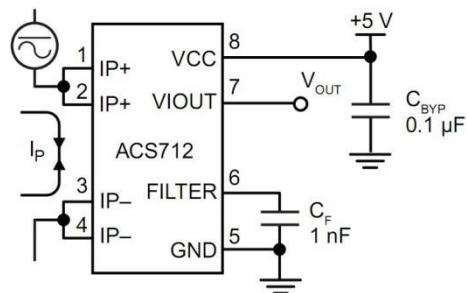
Obr. 5.8 Senzor FC-28 prevzaté z [43]

## 5.10 Senzor prúdu ACS712-05B-T [35]

Čidlo (Obr. 5.9) zabezpečuje meranie výstupného prúdu napájacích zdrojov pre LED panely. Vyznačuje sa ako ekonomické a precízne riešenie pre meranie AC a DC prúdov v priemyselných, komerčných a komunikačných systémoch. Má nízko šumovú analógovú signálovú cestu.

Parametre:

- napájacie napätie +4,5V až +5,5V
- spotreba 13mA
- merací rozsah prúdu  $\pm 5A$
- citlivosť 185mV/A
- šírka pásma 80kHz
- nelinearita 1,5%
- symetria od 98% do 102%
- rozsah pracovných teplôt:  $-40^{\circ}C$  až  $+85^{\circ}C$



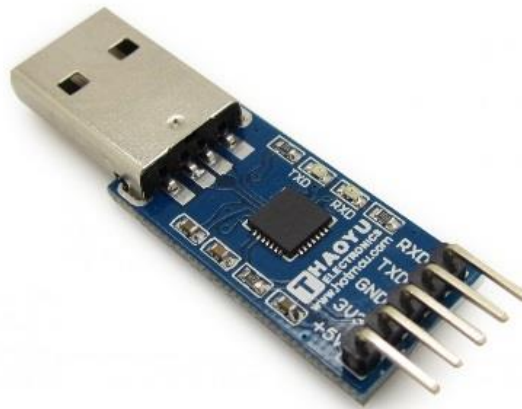
Obr. 5.9 Zapojenie senzora ACS712-05B-T prevzaté z [35]

## 5.11 Prevodník USART-USB

Na vytvorenie premostenia medzi mikrokontrolérom a aplikáciou v programe LabView slúži prevodník USART-USB (Obr.5.10). Základom prevodníka je integrovaný obvod CP2102 od firmy Silicon Labs, ktorý predstavuje lacnejšiu náhradu integrovaných obvodov FTDI.

Parametre:

- napájacie napätie +4,0V až +5,25V
- spotreba 26mA
- jedno USB rozhranie pre asynchrónnu dátovú komunikáciu
- plne integrované generovanie hodín
- rýchlosť dátového prenosu 300baud až 3Mbaud (RS422, RS485, RS232)
- integrovaná 1024 bytová EEPROM pamäť na zápis konfiguračných údajov (VID, PID a pod)
- integrovaná napäťová referencia +3,3V konvertovaná na USB I/O
- rozsah pracovných teplôt: -40°C až +85°C



Obr. 5.10 Prevodník USART-USB prevzaté z [44]

## 5.12 Ethernetový modul ENC28J60

Rozhranie Ethernet bolo zvolené ako sekundárne rozhranie pre riadenie celého systému vzdialene. Na realizáciu fyzickej vrstvy bol zvolený ethernetový radič ENC28J60 vyrábaný firmou Microchip Technology (Obr. 5.11). Integrovaný obvod zahrňuje 2 vrstvy OSI/TCP/IP modelu. Prvá vrstva je fyzická vrstva, využívajúca štandardu 10Base-T s rýchlosťou 10Mbit/s. Ako prenosové médium sa používa UTP (a angl. Unshielded Twisted Pair) kábel (4 párový krútený kábel). Druhá vrstva je linková vrstva- MAC (z angl. Media Access Control) vrstva s podporou 32-bitových fyzických adries (IPv4). Ostatné vrstvy komunikácie (IP, TCP/UDP, atď) je nutné realizovať softwarovo.

Štandard 10Base-T využíva na prenos dát UTP kábel so štyrmi párami vodičov zakončený konektormi RJ-45, ale k prenosu sa reálne používajú iba dva páry. Jeden pár pre vysielanie a druhý pár na prijímanie dát. Radič nepodporuje režim Auto MDI/MDI-X (z angl. Medium Dependent Interface / Medium Dependet Interface Crossover), z tohto dôvodu je pri nepodpore režimu druhou stranou nutné použiť krížový UTP kábel. Ak druhá strana umožňuje podporu vyššie uvedeného režimu, na type použitého UTP káblu nezáleží.

Radič je schopný pracovať v režimoch Half a Full duplex. V režime Half duplex môže radič v jednom okamihu dáta iba prijímať alebo vysielat', v režime Full duplex je možné dáta prijímať a vysielat' súčasne. Režim, v ktorom bude radič pracovať sa nastaví pri štarte obvodu (konfigurácii).

Ethernetový radič komunikuje s nadradeným mikrokontrolérom pomocou zbernice SPI a správa sa ako zariadenie typu slave, voči mikrokontroléru (master). Okrem štandardných signálov pre SPI rozhranie (MISO, MOSI, CS, CLK) má radič k dispozícii ešte výstup externého prerušenia(INT) a výstup hodinového signálu (CLKOUT), ktorý je možné použiť ako zdroj hodinového signálu. Oba signály je možné konfigurovať prostredníctvom SPI rozhrania.

Súčasťou zapojenia je i konektor RJ-45 s integrovaným oddeľovacím transformátorom (konektor MAGJACK) pre 10Mbit ethernet. Transformátor slúži ku galvanickému oddeleniu zariadení prepojených pomocou UTP kábla a slúži ako ochrana samotného radiča i celého obvodu proti statickým výbojom ESD (z angl. Electrostatic Discharge) zo strany UTP kábla. Konektor obsahuje dve indikačné LED diódy, ktorým je možné softwarovo nadefinovať funkciu indikácie vysielanie, prijímanie, kolízia, atď.

Rozhranie s radičom má tiež jednu nevýhodu, ktorá spočíva v relatívne veľkej spotrebe. Pri nevysielaní dát sa pohybuje okolo 120mA, v prípade vysielania dát vzrastá na 180mA (nie je zahrnutá spotreba indikačných LED diód). Obvod je možné uviesť do režimu spánku (nie je možné odosielať dáta, prijaté dáta sú ignorované) so spotrebou 1,2mA.

Funkcie:

- IEEE 802.3 kompatibilný ethernetový radič
- integrované MAC a 10BASE-T PHY
- podporuje jeden 10BASE-T port s automatickou detekciou polarity a korekcie
- plná podpora Half- Duplex režimu
- programovateľné automatické opakovanie vysielanie pri kolízii
- programovateľné generovanie CRC
- programovateľné automatické zamietnutie nesprávnych paketov

Buffer:

- 8 Kb vysielacích/prijímacích paketov duálneho portu SRAM
- nastaviteľná veľkosť vysielacej/prijímacej vyrovnávacej pamäte
- dve programovateľné LED výstupy pre LINK, Tx a Rx
- hodinový výstup s programovateľnou preddeličkou
- vnútorné DMA pre rýchly presu dát
- hardwarovo asistované

Parametre:

- napájacie napätie +3,14V až +3,45V
- spotreba 120mA
- 25 MHz hodiny
- dve programovateľné LED výstupy pre LINK, Tx a Rx
- hodinový výstup s programovateľnou preddeličkou
- vstupy na úrovni TTL
- zbernica SPI
- rozsah pracovných teplôt: -40°C až +85°C



Obr. 5.11 Ethernetový modul ENC28J60 prevzaté z [45]

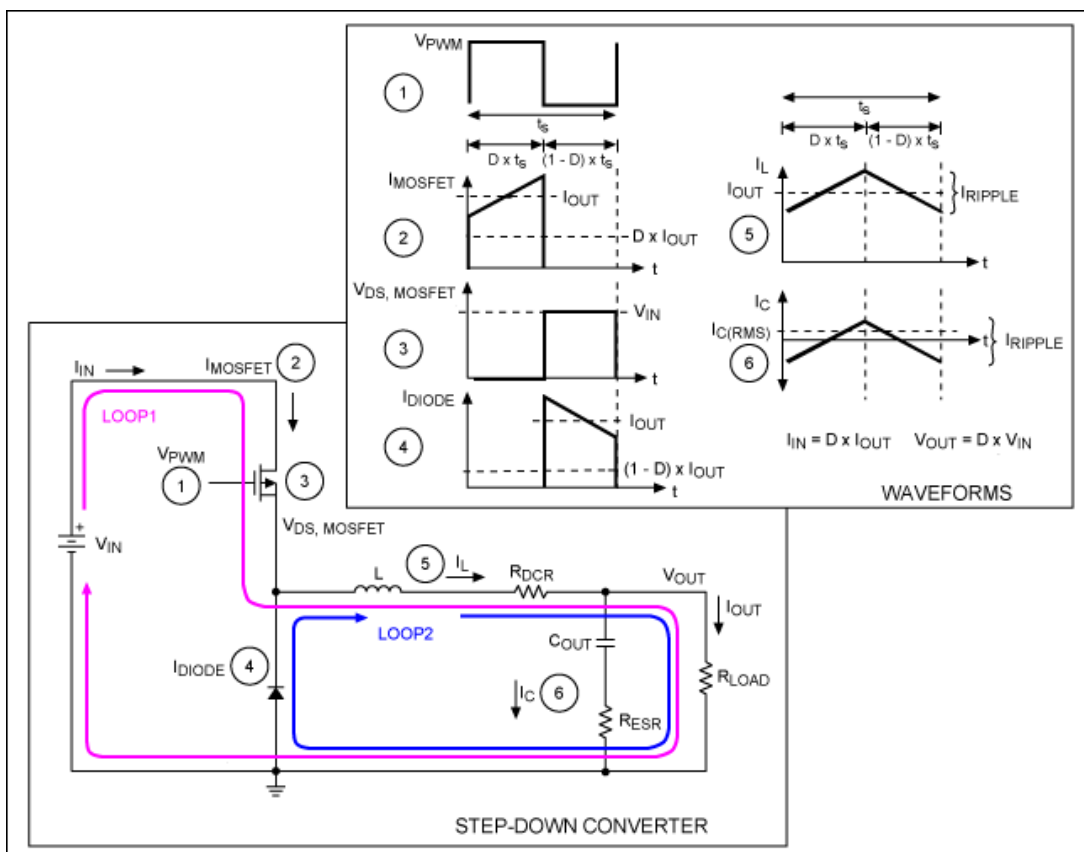
## 5.13 Zdroje LED

### 5.13.1 Návrh spínaného zdroja

Návrh zdroja je realizované ako koncepcia 7 identických zdrojov z hľadiska zapojenia, ktoré sú napájané z hlavného napájacieho zdroja. Spínaný zdroj pracuje ako DC-DC menič typu step-down (výstupné napätie je menšie alebo rovné ako vstupné). Zdroj je riadený signálom PWM z mikrokontroléra.

### 5.13.2 Princíp funkcie step-down meniča

Základnou úlohou DC-DC meniča uvedeného typu je zmeniť napätie na vstupe na menšie alebo rovné ako napätie na výstupe. Menič pracuje na princípe nabíjania indukčnosti a kapacity počas zopnutia spínacieho tranzistora a súčasne pritom napája záťaž. Nasleduje postupné vybíjanie energie, ktorá je naakumulovaná na tlmivke do záťaže v čase rozopnutia tranzistora. Nasleduje uzavretie obvodu pracovnou diódou, ktorá sa otvorí v dobe, keď je tranzistor zopnutý a zavrie, keď je tranzistor zopnutý.



Obr. 5.12 Princíp meniča typu step-down prevzaté z [46]

Na Obr. 5.12 sú znázornené priebehy napätí a prúdov v jednotlivých častiach obvodu. Ružová farba znázorňuje slučku prechádzajúceho prúdu, keď je tranzistor zopnutý a dióda „rozopnutá“ a modrá farba znázorňuje slučku, keď je tranzistor rozopnutý a dióda je „zopnutá“.

Veľkosť výstupného napätia (a prúdu s tým súvisiaceho) je závislý od doby zopnutia tranzistora t.j. od striedy (pomer doby zopnutia k celkovej perióde spínaného signálu) spínaného napätia, ktoré je privedené na riadiacu elektródu tranzistora. Ak je strieda rovná 1, je výstupné napätie teoreticky rovné vstupnému, pri striede rovnajúcej sa 0, je výstupné napätie rovné 0V.

Stabilizáciu napätia a prúdu na výstupe obsluhuje riadiaci obvod, ktorý väčšinou mení striedu riadiaceho signálu pre spínanie tranzistoru tak, aby bolo výstupné napätie/prúd väčšie/menšie ako požadované napätie/prúd. Frekvencia spínaného signálu je väčšinou konštantná a určuje nároky na rýchlosť spínacieho tranzistora, diódy a pracovnej frekvencie použitej indukčnosti (tlmivky).

### 5.13.3 Prúdový zdroj LM3409 [47]

Integrovaný obvod LM3409 je základom spínaných prúdových zdrojov, ktoré napájajú jednotlivé vetvy LED diód (zapojené paralelne (Obr. 5.15)), pracuje na meniča typu step-down popísaného v predchádzajúcej kapitole. Prúdový zdroj je ovládaný signálom PWM a umožňuje plynulú reguláciu jasu LED okruhov od 0% do 100%. Každá vetva LED diód má vlastný napájací zdroj, ktorého obvodové zapojenie a rozmery sú totožné, rozličné sú len výstupné parametre jednotlivých zdrojov. Návrh prúdových zdrojov prebiehal podľa datasheetu, hodnoty súčastok boli vypočítané v MS Excel a sú priložené v prílohe.

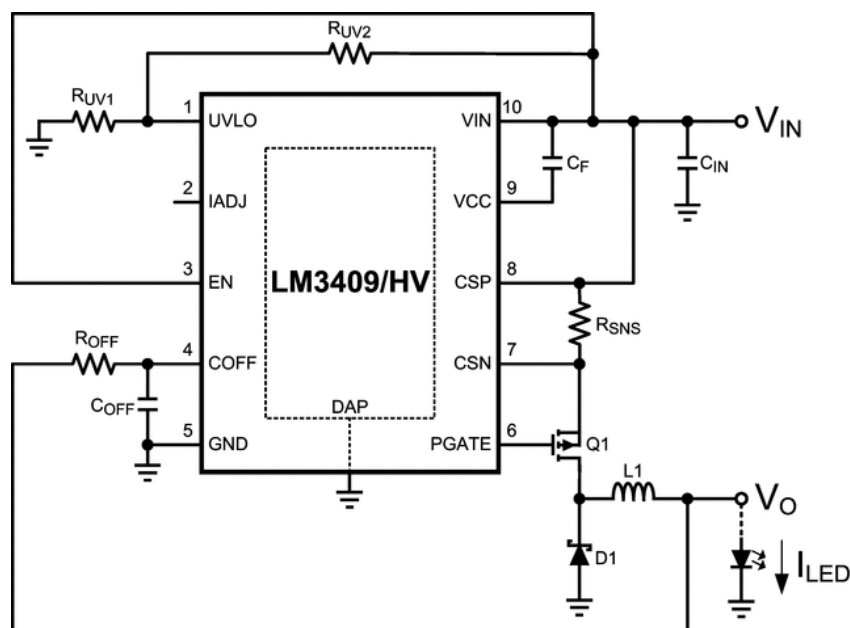
Parametre:

- vstupné napätie +6,0V až +75,0V
- maximálny výstupný prúd 5A
- rozdielový senzor prúdu
- prúdové obmedzenie
- nízko napäťové a teplotné vypnutie
- rozsah pracovných teplôt: -40°C až +125°C



Vetva č.	Názov vetvy	$U_{in}$ [V]	$I_{in}$ [A]	$U_{out}$ [V]	$I_{out}$ [A]
1	RED 1	15	8	10	2,8
2	RED 2			10	2,8
3	RED 3			10	2,8
4	RBLUE			10	1,4
5	DRED			7	1,4
6	WHITE			4	2,56
7	UV			4	0,72

Tab. 5.4 Elektrické parametre jednotlivých LED zdrojov, ktoré napájajú vetvy



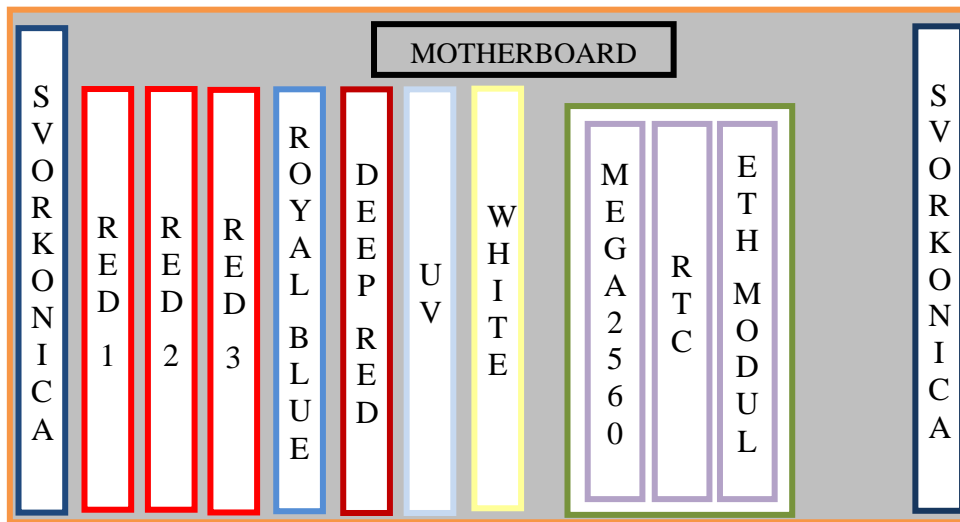
Obr. 5.13 Zapojenie prúdového zdroja prevzaté z [47]

Postupným zlepšovaním prúdových zdrojov sa vyvinuli 2 verzie.

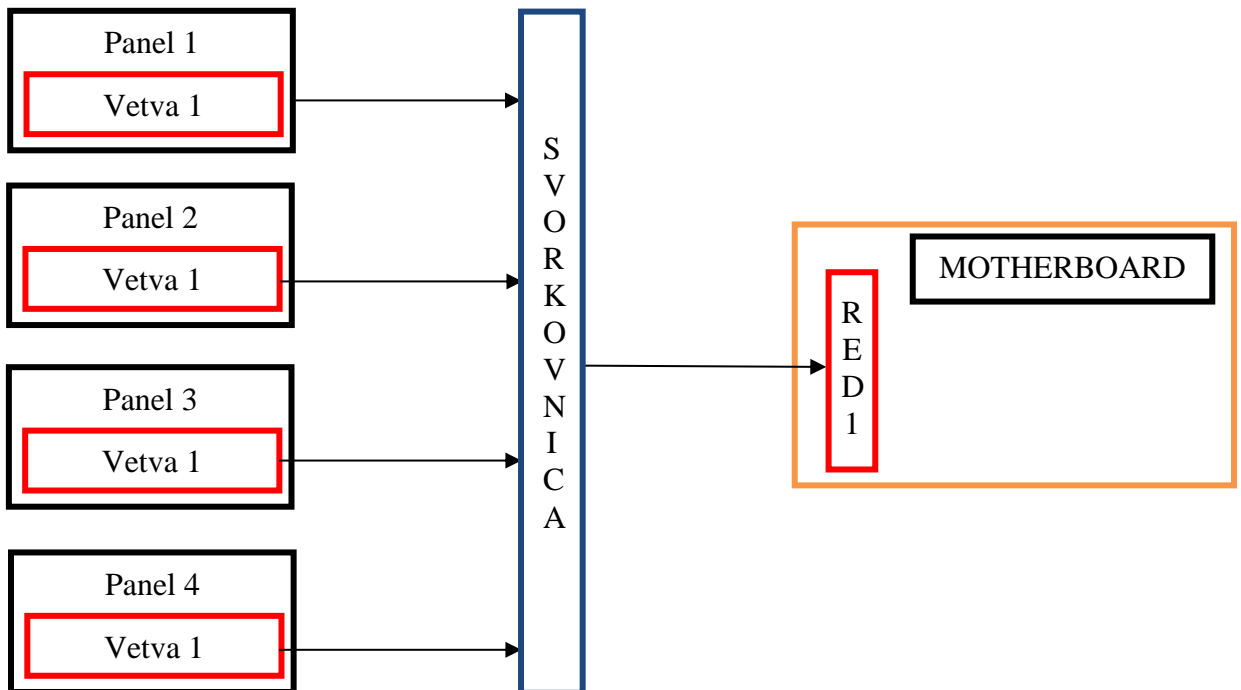
Prvá verzia je osadená na obojstrannej DPS, pripájanie vstupov a výstupov je riešené cez svorkovnice. Obvodové zapojenie (Obr. 3.9). Pri praktickom testovaní sa návrh zdroja javil ako dostačujúci, avšak po pár hodinách prevádzky sa zistilo, že sa na radiacom tranzistore uvoľňuje značné množstvo tepla. Na tranzistor bol osadený rebrovitý alumíniový chladič s teplotným čidlom a celkové zoskupenie zdrojov bolo chladené 12cm ventilátorom. Ani tieto opatrenia nezabránili poškodeniu tranzistora a vodivých cestičiek v jeho okolí na jednom zdroji po asi 1000 hodinách prevádzky.

Druhá verzia je osadená taktiež na obojstrannej DPS, pripájanie vstupov a výstupov je riešené odlišne. Všetky zdroje sa zasunú do jednej DPS („motherboard“) za seba pomocou ISO slotov (Obr. 5.14). Vzniklo tak analogické riešenie ako pri stolovom počítači, matičná doska (motherboard) a rozličné karty do nej zasunuté.

Obvodové zapojenie (Obr. 3.9.) sa mierne upravilo. Rozšírili sa cestičky na DPS okolo spínacieho tranzistora a namiesto jedného spínajúceho tranzistora sa použili dva, z dôvodu rozdelenia spínaného prúdu medzi dva tranzistory. Teplotné čidlo bolo umiestnené na spoločnom chladiči oboch tranzistorov. Ako chladič je použitý hliníkový profil 20 mm x 20 mm x 1,5 mm (šírka x šírka x hrúbka) a každú dvojicu zdrojov ešte chladí ventilátor s priemerom 5cm.



Obr. 5.14 Bloková schéma usporiadania slotov tvz. matičnej dosky

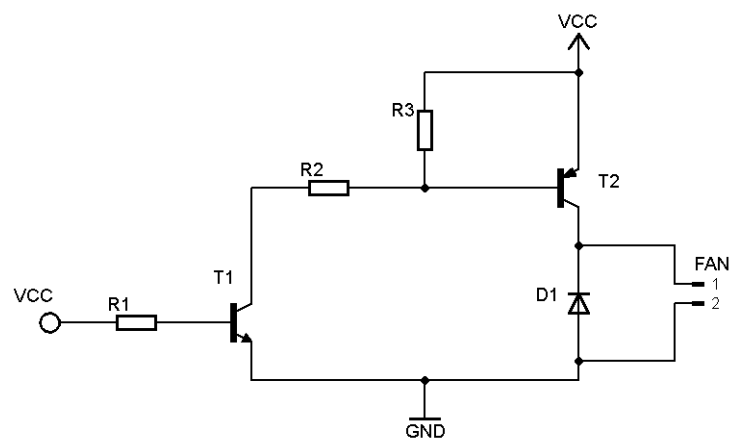


Obr. 5.15 Bloková schéma paralelného spojenia vetvy č. 1 v svorkovnici

## 5.14 Zdroj ventilátorov

Prvým zamýšľaným riešením bolo použitie 4 vodičov ventilátorov (kladný pól, záporný pól, výstup hallovej sondy, vstup PWM) bez nutnosti použitia ďalšieho zdroja. Toto riešenie bolo zavrhnuté pri zistení, že ventilátory, ktoré boli k dispozícii, bolo možné riadiť od 15% do 100%, čo je v našom prípade nevyhovujúce. Pridal sa k tomu ešte nedostatok rôznych priemerov 4 vodičových ventilátorov.

Druhým riešením bol použitie jednoduchého spínacieho obvodu s tranzistorom. Pri tomto riešení sa však pri spínaní ventilátora pri výkonoch cca od 0% do 30% objavil nepriaznivý (rušivý) jav v podobe pískania. Tento jav sa nepodarilo odstrániť ani modifikáciou zapojenia a použitím odrušovacích členov.

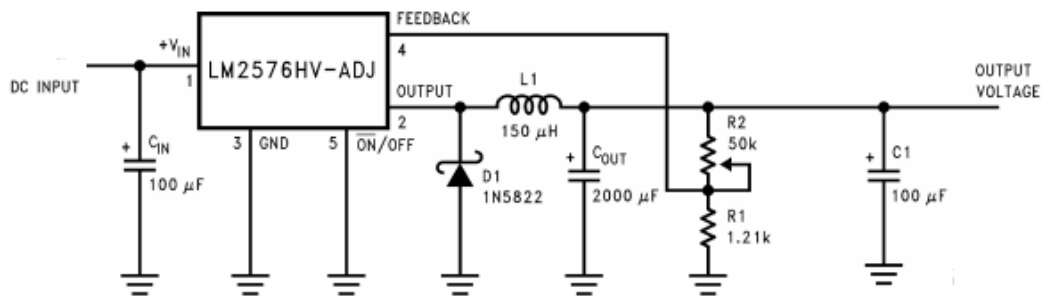


Obr. 5.16 Schéma zapojenia riadenia otáčok ventilátora

Tretím riešením bolo použitie napät'ového spínaného zdroja, ktorý bol k dispozícii v dostatočnom množstve za prijateľnú cenu, jeho základom je integrovaný obvod LM2576.

Parametre spínaného napät'ového zdroja s LM2576:

- vstupné napätie +4,0V až +35,0V
- výstupné napätie +1,23V až +30,0V
- maximálny vstupný prúd 3A
- spínacia frekvencia 150kHz
- maximálne výstupné zvlnenie 30mV
- účinnosť 92%
- ovládanie potenciometrom
- rozsah pracovných teplôt: -45°C až +85°C



Obr. 5.17 Schéma zapojenia napät'ového spínaného zdroja s LM2576 prevzaté z [48]



Obr. 5.18 Vyhotovenie napät'ového spínaného zdroja s LM2576 prevzaté z [51]

Tretie riešenie ale nespĺňalo požiadavku na automatickú reguláciu otáčok ventilátora, nakoľko zdroj obsahuje mechanický potenciometer. Riešením bolo nahradenie mechanického potenciometra potenciometrom elektronickým s výstupom v našom prípade I<sup>2</sup>C. Na zdroji bol osadený potenciometer BENTENG z rady 3296 s maximálnym nastaviteľným odporom 10kΩ. Ako jeho náhrada bol vybraný digitálny potenciometer od firmy Analog Devices AD5241 [49] s možnosťou nastavenia 256 krokov.

Parametre AD5241:

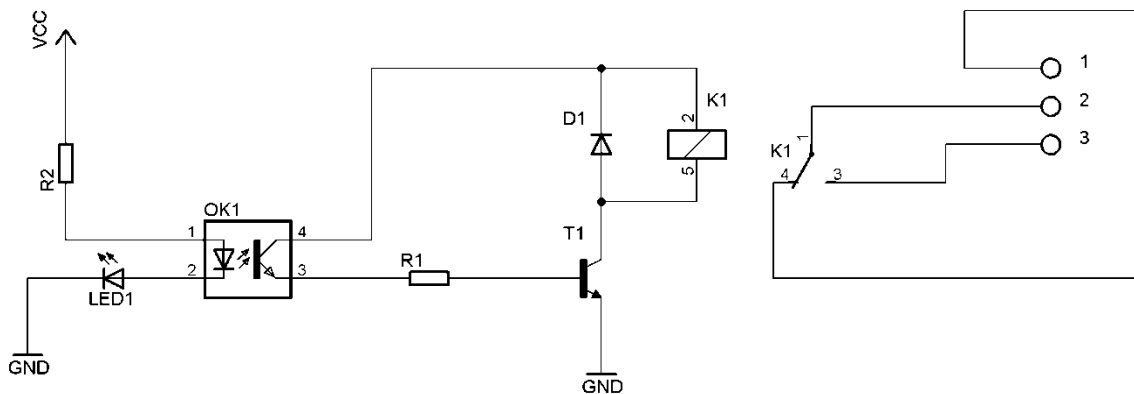
- vstupné napätie +2,7V až +5,5V alebo ±2,7V
- elektrický odpor 10kΩ
- 256 pozícií
- komunikácia I<sup>2</sup>C
- extra programovateľné logické výstupy
- nezávislá funkcia vypnutia
- rozsah pracovných teplôt: -40°C až +100°C

## 5.15 Ovládací modul s relé SRD-05V DC-SL-C [52]

Na spínanie sieťového napätia (230V AC) pri ovládacích a ochranných funkciách a na spínanie čerpadiel (10V DC) je použitý modul s ovládacími relé. Obvod je zapojený podľa Obr. 5.19 a obsahuje galvanické oddelenie napájacej a riadiacej časti optočlenom.

Parametre:

- vstupné napätie +4,9V až +5,2V
- spotreba 89mA
- spínacia frekvencia 150kHz
- maximálne výstupné zvlnenie 30mV
- účinnosť 92%
- ovládanie potenciometrom
- rozsah pracovných teplôt: -45°C až +85°C



Obr. 5.19 Schéma zapojenia modulu s relé



Obr. 5.20 Vyhotovenie jednokanálového modulu s relé prevzaté z [53]

## 5.16 Zobrazovacia časť

Ako zobrazovacia časť, bol z hľadiska ceny, dostupnosti a obsluhy vybratý grafický LCD displej z mobilného telefónu NOKIA 3310. Bude slúžiť na zobrazenie rôznych parametrov a bude umiestnený vo všetkých 3 častiach špeciálneho pestovateľského boxu (pestovateľskom, zavlažovacom a sušiacom boxe).

### 5.16.1 Grafický LCD display NOKIA 3310 [36]

Parametre:

- radič PCD8544
- 48 x 84 pixelov
- napájanie 3,3V
- 4-bit SPI sériová komunikácia
- veľkosť 4,3cm x 4,3 cm



Obr. 5.21 Grafický displej Nokia 3310 prevzaté z [50]

## 6 POPIS RIADIACICH PROGRAMOV

Kapitola sa venuje popísaniu riadiacich programov pre MCU. Ich úlohu vysvetľujú vývojové diagramy. Programovanie MCU je vykonané cez SPI rozhranie prevodníkom USB/ASP. Ako vývojové prostredie bolo použité Atmel Studio.

### 6.1 Popis programu

#### 6.1.1 Pestovateľský box

Vývojový diagram vysvetľuje funkciu riadiaceho programu pestovateľského boxu.

Po inicializácii mikrokontroléra a potrebných rozhraní (I<sup>2</sup>C, USART, SPI) nasleduje inicializácia senzorov (teploty, vlhkosti vzduchu, vlhkosti pôdy, prúdu, vzdialenosti, atď.). Následne sa inicializuje obvod reálneho času, ktorý načíta z pamäte uložený čas.

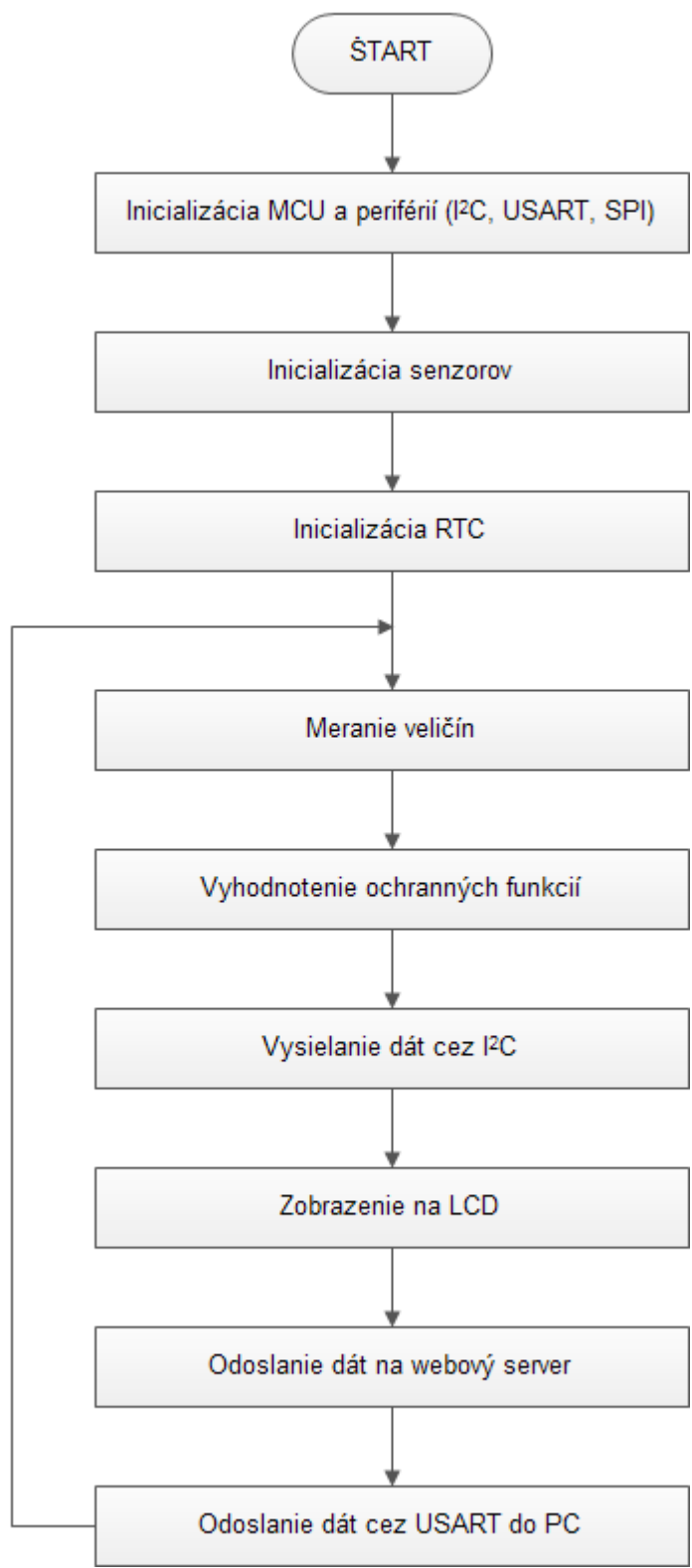
Ďalej pokračuje cyklicky meranie všetkých veličín (teploty, vlhkosti vzduchu, vlhkosti pôdy, prúdu, vzdialenosti, atď.).

Nasleduje vyhodnotenie ochranných funkcií, ktoré sledujú teplotu na LED paneloch, teplotu a vlhkosť v pestovateľskom boxe ako aj teplotu a vlhkosť na LED zdrojoch. V prípade prekročenia nastavených hodnôt mikrokontrolér zakročí a vypne príslušný obvod s problémom.

Nasleduje vysielanie dát po zbernici I<sup>2</sup>C. Vysielajú sa inštrukcie zavlažovaciemu a sušiacemu boxu. Inštrukcie zavlažovacieho boxu obsahujú informáciu, kedy a v akom množstve zavlažovať, hnojiť a zvlhčovať a taktiež možnosť vypnutia celého boxu. Inštrukcie sušiacemu boxu obsahujú informáciu kedy a na aké otáčky zapnúť/vypnúť odťahový ventilátor a taktiež možnosť vypnutia celého boxu.

Následne sú namerané hodnoty veličín zobrazené na LCD displeji.

Údaje sa odošlú cez zbernicu SPI do ethernetového kontroléru ENC28J60 a následne odošlú na web server. Ako posledné sa pošlú/vyčítajú údaje na zbernici USART, cez ktorú sa dostanú do/z ovládacieho programu v Labview v PC.



Obr. 6.1 Popis funkcie riadiaceho programu pestovateľského boxu



## 6.1.2 Zavlažovací box

Vývojový diagram vysvetľuje funkciu riadiaceho programu zavlažovacieho boxu.

Po inicializácii mikrokontroléra a potrebných rozhraní (I<sup>2</sup>C, USART) nasleduje inicializácia senzorov (teploty, vlhkosti vzduchu). Následne sa inicializuje obvod reálneho času, ktorý načíta z pamäte uložený čas.

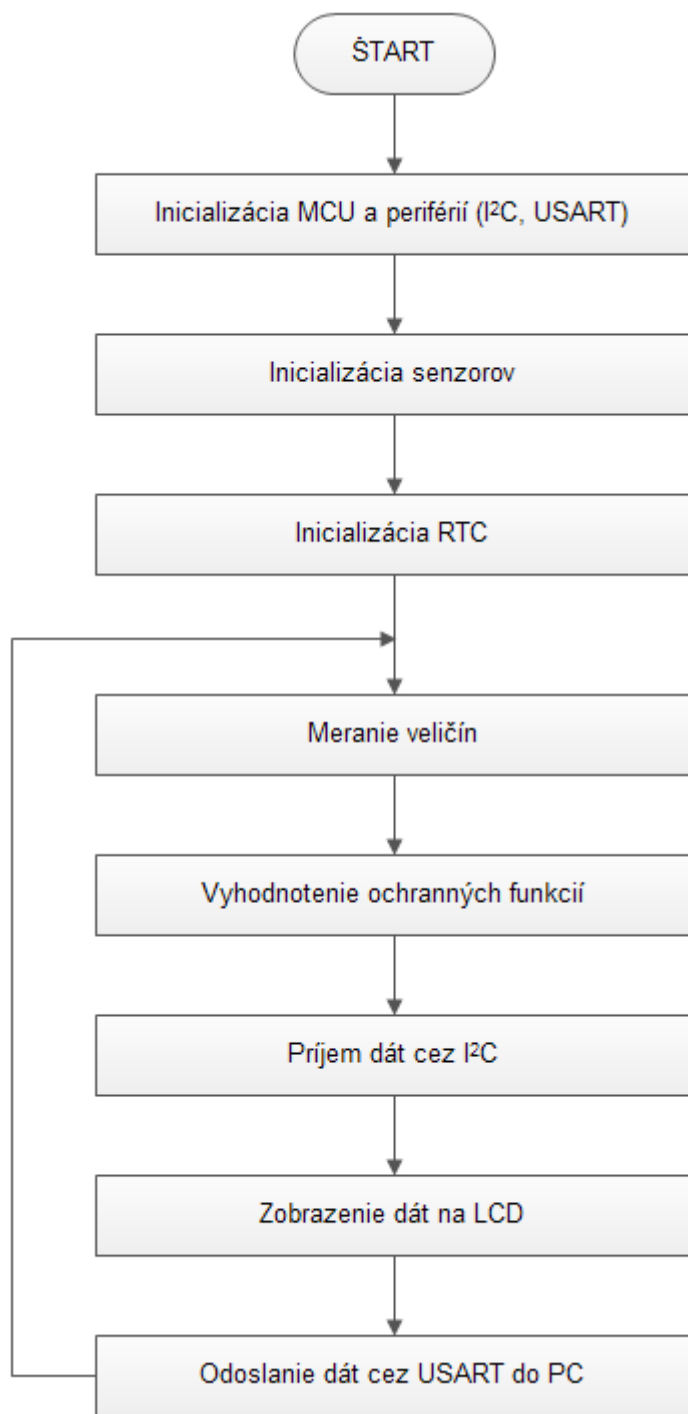
Ďalej pokračuje cyklicky meranie všetkých veličín (teploty, vlhkosti vzduchu).

Nasleduje vyhodnotenie ochranných funkcií, ktoré sledujú teplotu a vlhkosť v priestore elektroniky zavlažovacieho boxu a teplotu na čerpadle. V prípade prekročenia nastavených hodnôt mikrokontrolér zakročí a vypne príslušný obvod s problémom.

Nasleduje prijímanie dát po zbernici I<sup>2</sup>C. Prijímajú sa inštrukcie od pestovateľského boxu, ktoré obsahujú informáciu, kedy a v akom množstve zavlažovať, hnojiť a zvlhčovať ako aj informáciu o vypnutí celého zavlažovacieho boxu.

Následne sú namerané hodnoty veličín zobrazené na LCD displeji.

Ako posledné je tu možnosť posielania dát na zbernicu USART do PC (napr. do aplikácie v LabView, alebo PLX DAQ), v prípade využitia boxu ako samostatného celku.



Obr. 6.2 Popis funkcie riadiaceho programu zavlažovacieho boxu

### 6.1.3 Sušiaci box

Vývojový diagram vysvetľuje funkciu riadiaceho programu zavlažovacieho boxu.

Po inicializácii mikrokontroléra a potrebných rozhraní (I<sup>2</sup>C, USART) nasleduje inicializácia senzorov (teploty, vlhkosti vzduchu). Následne sa inicializuje obvod reálneho času, ktorý načíta z pamäte uložený čas.

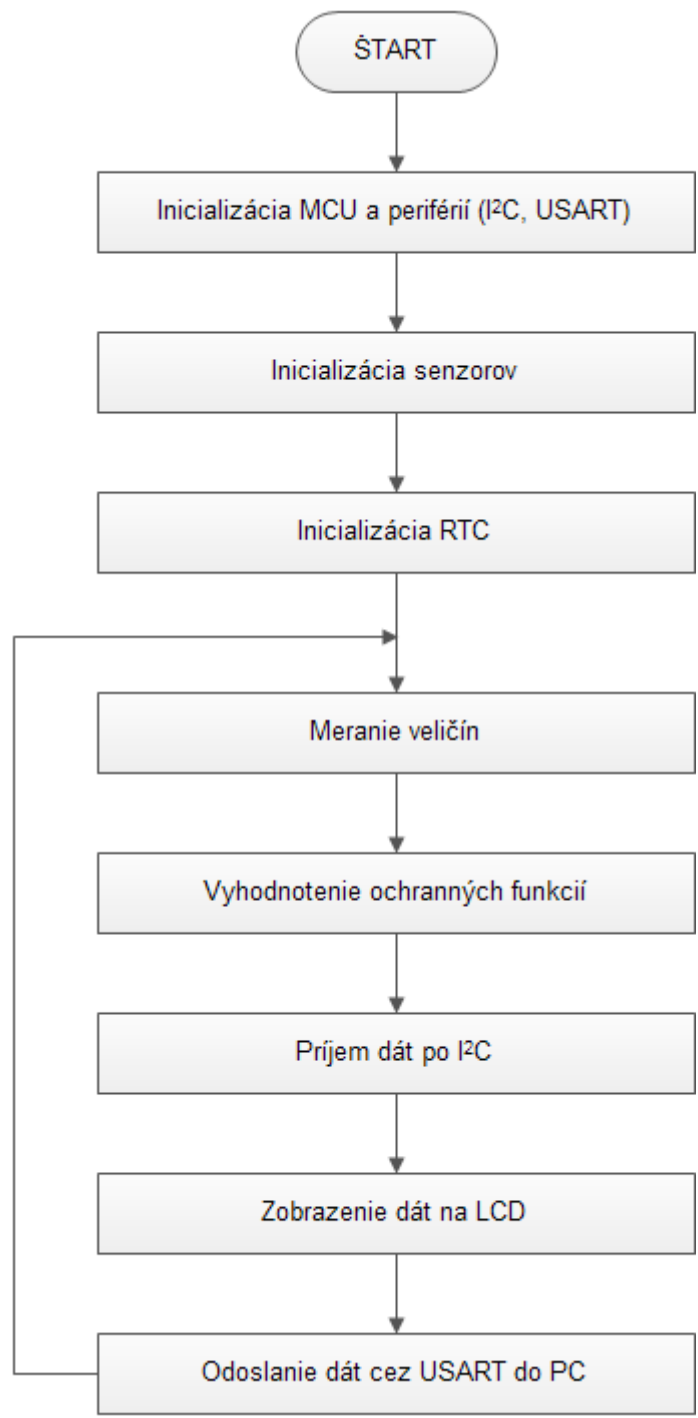
Ďalej pokračuje cyklicky meranie všetkých veličín (teploty, vlhkosti vzduchu).

Nasleduje vyhodnotenie ochranných funkcií, ktoré sledujú teplotu a vlhkosť v priestore elektroniky a teplotu a vlhkosť v priestore určenému na sušenie. V prípade prekročenia nastavených hodnôt mikrokontrolér zakročí a vypne príslušný obvod s problémom.

Nasleduje prijímanie dát po zbernici I<sup>2</sup>C. Prijímajú sa inštrukcie od pestovateľského boxu, ktoré obsahujú informáciu, kedy a na aké otáčky zapnúť/vypnúť odťahový ventilátor a taktiež možnosť vypnutia celého boxu.

Následne sú namerané hodnoty veličín zobrazené na LCD displeji.

Ako posledné je tu možnosť posielania dát na zbernicu USART do PC (napr. do aplikácie v LabView, alebo PLX DAQ), v prípade využitia boxu ako samostatného celku.

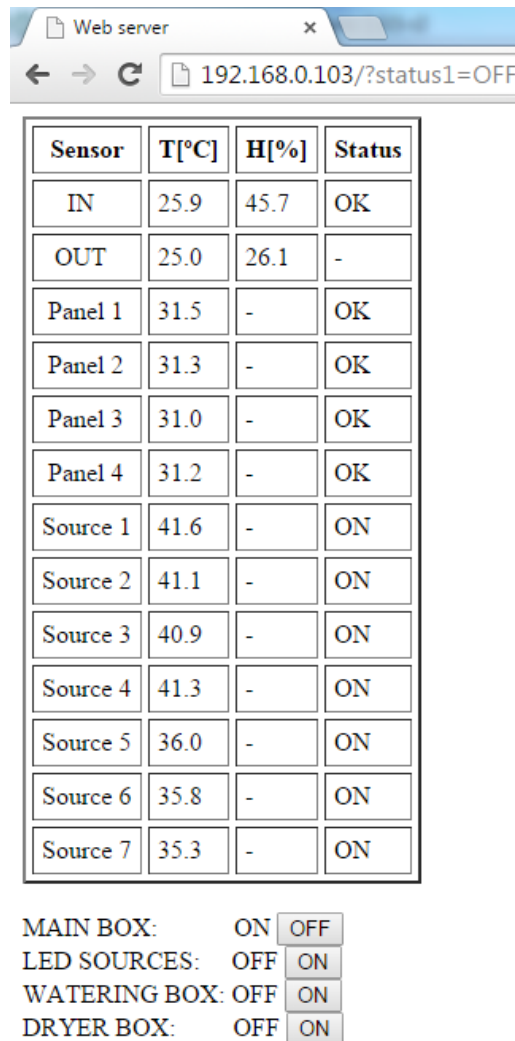


Obr. 6.3 Popis funkcie riadiaceho programu sušiaceho boxu

## 6.1.4 Webserver

V súčasnej dobe rozšíreným využitím dnešných počítačov je webový server (www server), ktorý umožňuje pomocou grafického rozhrania (html stránky), odosielať alebo prijímať požiadavky po internetovej sieti.

Bola vytvorená jednoduchá web stránka (Obr. 6.4) pre možnosť sledovania údajov v pestovateľskom boxe a jednoduchého ovládania. V tabuľke sú zobrazené v prvom stĺpci umiestnenia teplotných čidiel. V druhom stĺpci „T[°C]“ sú zobrazené aktuálne teploty jednotlivých čidiel s presnosťou na jednu desatinu. V treťom stĺpci je uvedená vlhkosť a v poslednom stĺpci je uvedený status, ktorý môže nadobúdať dve hodnoty a to „OK“ pre signalizáciu položka v poriadku alebo „ERR“ pre signalizáciu položka v poruche. Pod tabuľkou sa nachádza ovládanie štyroch položiek so signalizáciou aktuálneho stavu. Je možné ovládať (zapnúť/vypnúť) napájanie hlavného pestovateľského boxu, všetkých LED panelov, zavlažovacieho a sušiacieho boxu.



Sensor	T[°C]	H[%]	Status
IN	25.9	45.7	OK
OUT	25.0	26.1	-
Panel 1	31.5	-	OK
Panel 2	31.3	-	OK
Panel 3	31.0	-	OK
Panel 4	31.2	-	OK
Source 1	41.6	-	ON
Source 2	41.1	-	ON
Source 3	40.9	-	ON
Source 4	41.3	-	ON
Source 5	36.0	-	ON
Source 6	35.8	-	ON
Source 7	35.3	-	ON

MAIN BOX:    ON

LED SOURCES: OFF

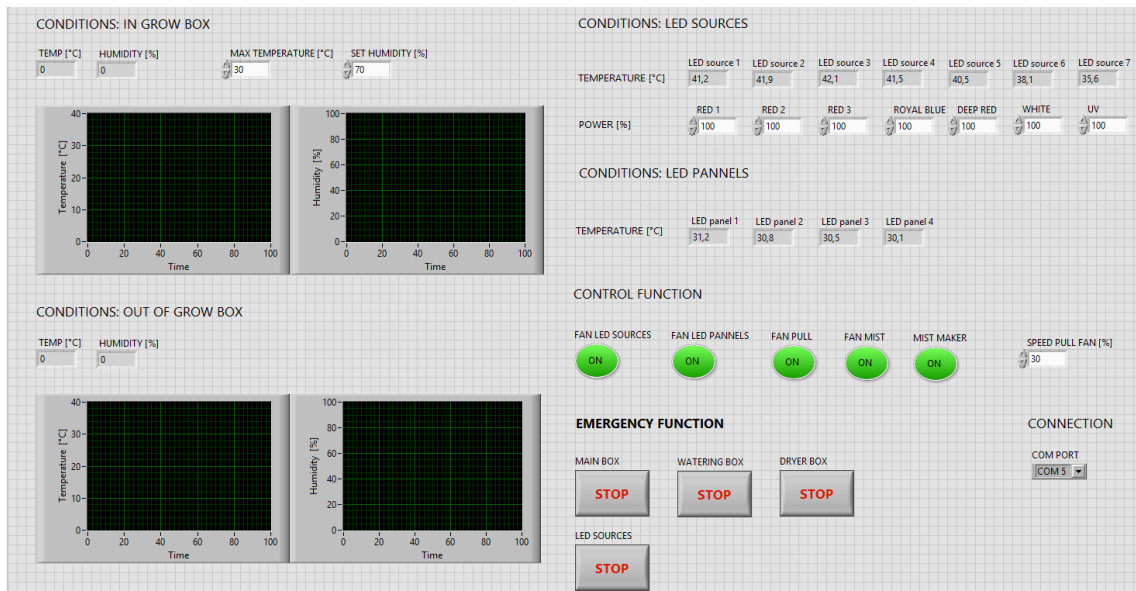
WATERING BOX: OFF

DRYER BOX:    OFF

Obr. 6.4 Zobrazenie HTML stránky webserver

## 6.1.5 LabView ovládací program

Aby bolo možné ovládať špeciálny pestovateľský box z PC, bol v programe LabView od spoločnosti National Instruments vytvorený jednoduchý program (Obr. 6.5). Program získava informácie od mikrokontroléra cez sériovú komunikáciu USART. Pri spustení programu je nutné vybrať COM PORT počítača, v ktorom je pripojený prevodník. Je možné v ňom sledovať teplotu a vlhkosť vo vnútri a okolí pestovateľského boxu, a to ako v zobrazovacom okne, tak aj v grafe závislosti teploty na čase (aby sme mohli pozorovať vývoj teploty). Ďalej je možné sledovať teplotu na chladičoch všetkých 7 zdrojoch LED a nastaviť výkon od 0% do 100% na každom z nich. Tiež je možné sledovať teplotu chladiča každého osvetľovacieho LED panelu. Pomocou kontrolných funkcií (indikujú aj chod) môžeme zapnúť/vypnúť ventilátory chladiace LED zdroje, ventilátory chladiace LED panely, odťahový ventilátor, tlačný ventilátor zvlhčovania a ultrazvukový zvlhčovač. Taktiež je možné nastaviť otáčky odťahového ventilátora. Pomocou pohotovostných funkcií je možné okamžite vypnúť hlavný (pestovateľský), zavlažovací a sušiaci box ako aj všetky zdroje LED panelov (naraz). Je tiež možné nastaviť maximálnu teplotu a vlhkosť v boxe, ale len ako jednoduchá regulácia. Je to z dôvodu, že box neobsahuje výhrevné ani chladiace zariadenie, teplota v jeho vnútri sa odvíja od teploty okolitého prostredia. Prekročenie nastavenej maximálnej teploty vedie k zvýšeniu otáčok odťahového ventilátora. Prekročenie maximálnej vlhkosti vedie k vypnutiu ultrazvukového zvlhčovača.



Obr. 6.5 Zobrazenie programu v LabView

## 7 POPIS ZARIADENIA A STANOVENIE JEHO PARAMETROV

### 7.1 Parametre LED panelov

Parametre LED osvetľovacích panelov boli zmerané zapožičaným meracím prístrojom APOGEE MQ-200 (Obr. 7.1) [54]. Merací prístroj využíva kvantový snímač, ktorý je schopný merať veľkosť fotosynteticky aktívneho žiarenia (PAR) v príslušnej jednotke  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ . Merací prístroj má externý senzor pripojený káblom. Senzorová hlava je umiestnená vo vodotesnom obale, čo umožňuje meranie v akváriách. Senzor môže byť umiestnený na vyrovnávacej podložke.

Parametre:

- neistota kalibrácie:  $\pm 5\%$
- opakovateľnosť:  $<1\%$
- nestabilita:  $<2\%$  za rok
- nelinearita:  $<1\%$  (až do  $300 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ )
- zorné pole senzoru:  $180^\circ$
- spektrálny rozsah: od 410nm do 655nm
- rozsah pracovných teplôt:  $0^\circ\text{C}$  až  $+50^\circ\text{C}$
- chyba spektra (rozličná pri každej vlnovej dĺžke) je doložené v prílohe



Obr. 7.1 Merací prístroj APOGEE MQ-200 prevzaté z [55]

Meranie prebiehalo nasledovne. Spodná podstava pestovateľského boxu s rozmermi 500mm x 500mm sa rozdelila na mriežku, ktorá obsahovala 36 buniek. Do stredu každej bunky bolo umiestnený senzor a meranie prebiehalo v troch rôznych

vzdialenostiach od panelov (jednotlivé panely vždy v jednej rovine) a to 200, 400 a 600mm.

175	173	176	177	175	179
169	250	186	187	246	174
172	180	185	187	189	176
177	180	173	178	186	179
178	251	187	182	255	172
176	165	173	179	178	174

Obr. 7.2 Zobrazenie nameraných hodnôt PAR vo vzdialenosti 20cm od LED panelov

89	92	87	88	91	90
95	110	94	92	108	87
94	97	87	95	98	93
88	95	92	98	96	89
85	113	90	97	111	90
82	87	92	88	93	87

Obr. 7.3 Zobrazenie nameraných PAR vo vzdialenosti 40cm od LED panelov



53	57	48	55	53	48
55	69	57	56	65	59
48	57	55	58	52	49
54	56	53	57	54	57
56	62	52	56	67	53
51	53	55	47	54	49

Obr. 7.4 Zobrazenie nameraných hodnôt PAR vo vzdialenosti 60cm od LED panelov

## 7.2 Parametre jednotlivých částí speciálního pestovatel'ského boxu

### 7.2.1 Pestovatel'ský box

Zariadenie spĺňa nasledujúce parametre:

- **váha**  
Celková váha pestovatel'ského boxu je asi 18Kg. (vrátane 4 kvetináčov)
- **rozmery**  
500mm x 500mm x 1000mm.
- **napät'ové úrovne**  
Boli použité celkovo 4 napät'ových úrovne.
- **napájanie**  
Zariadenie je napájané sieťovým napätím.
- **komunikácia**  
Boli použité nasledujúce komunikačné rozhrania: I<sup>2</sup>C, SPI, USART a 3 kanály ADC prevodníka.

### 7.2.2 Zavlažovací box

Zariadenie spĺňa nasledujúce parametre:

- **váha**  
Celková váha zavlažovacieho boxu je asi 10Kg. (vrátane plných zásobníkov na vodu a zvlhčovanie)
- **rozmery**  
500mm x 500mm x 500mm
- **napät'ové úrovne**  
Boli použité celkovo 4 napät'ových úrovne.
- **napájanie**  
Zariadenie je napájané sieťovým napätím.
- **komunikácia**  
Boli použité nasledujúce komunikačné rozhrania: I<sup>2</sup>C, SPI a USART.

### 7.2.3 Sušiaci box

Zariadenie spĺňa nasledujúce parametre:

- **váha**  
Celková váha sušiaceho boxu je asi 2Kg.
- **rozmery**  
500mm x 500mm x 500mm.
- **napät'ové úrovne**  
Boli použité celkovo 3 napät'ové úrovne.
- **napájanie**  
Zariadenie je napájané sieťovým napätím.
- **komunikácia**  
Boli použité nasledujúce komunikačné rozhrania: I<sup>2</sup>C, SPI a USART

## 8 ZÁVER

Cieľom tejto práce bolo navrhnuť koncepciu mikrokontrolérového systému pre špeciálny pestovateľský box, ktorý bol rozdelený na tri časti a to pestovateľský, zavlažovací a sušiaci box.

Práca je rozdelená do 7 kapitol, v ktorých je problematika pestovania rastlín v umelých podmienkach postupne rozvíjaná od teórie po realizáciu. V práci je tiež zahrnutá technická dokumentácia.

Prvá kapitola bola venovaná nárokom rastlín pri pestovaní. Boli vysvetlené požiadavky rastlín na abiotické faktory (svetelné žiarenie, atmosféru, hydrologické faktory a pôdne faktory).

V druhej kapitole boli objasnené možnosti umelého osvetlenia. V jej úvode boli popísané vlastnosti svetelných zdrojov a ich popis pomocou fyzikálnych veličín. Nasledoval popis dostupných svetelných zdrojov vhodných k osvetľovaniu rastlín a ich vlastnosti.

Tretia kapitola bola venovaná návrhu špeciálneho pestovateľského boxu. Na začiatku bola popísaná konštrukcia a materiály, nasledovaná návrhom osvetľovacích LED panelov. V závere kapitoly sú objasnené použité riešenia na ventiláciu, zvlhčovanie, zavlažovanie a hnojenie.

Štvrtá kapitola bola venovaná návrhu celého riadiaceho systému na úrovni funkčných blokov, z ktorého sa vychádzalo pri realizácii. Bolo nutné zvládnuť prácu s početným množstvom katalógov, na základe ktorých bolo navrhnuté obvodoité zapojenie. Požiadavky dané v kapitole 4.1 sme sa snažili dodržať pri návrhu. Pre bezproblémový chod systému boli stanovené hodnoty súčiastok.

Piata kapitola sa venovala samotnej realizácii systému. V úvode bola rozobraná problematika napätových úrovní, ktoré bolo nutné zosúladiť a napájanie celého obvodu. Nasledovali informácie o použítom mikrokontroléri a všetkých potrebných senzorocho a modulocho. Bol objasnený návrh spínaných prúdových zdrojov, ktoré napájajú LED panely. Po odladení po hardwarovej stránke nasledovalo napísanie riadiaceho softwaru. V prvej fáze bolo realizované oživenie potrebných periférií MCU. V druhej fáze bol oživené všetky prislúchajúce senzory a navrhnutý spôsob spracovania nameraných dát.

Šiesta kapitola bola venovaná popisu riadiacich programov (samostatné pre každý box), ktoré boli navrhnuté pre MCU ATmega 2560. Popis sa týkal aj ovládacej aplikácie v LabView a Webserveru.

V poslednej kapitole sa venujeme popisu zariadenia a stanoveniu jeho parametrov.

Podarilo sa splniť cieľ práce a navrhnuť automatizovaný systém pre pestovanie rastlín v umelých podmienkach. Spracovala sa literárna rešerš, navrhla a realizovala sa koncepcia, elektronika a DPS. Vytvorilo sa komplexné programové vybavenie a otestovala sa funkčnosť.

Napriek veľkej snahe sa nepodarilo dokončiť prepojenie k zaujímavému online nástroju Plotly, ktorý umožňuje online analýzu a vizualizáciu nameraných dát s možnosťou zdieľania. Aktuálne je problém v riešení s pracovníkmi technickej

podpory firmy Plotly.

Možné rozšírenie si predstavujeme hlavne vo vylepšení softwarovej časti, či už riadiaceho programu v LabView alebo webserveru. Ďalší vývoj môže smerovať aj k použitiu aplikácie pre mobilné telefóny.

# LITERATÚRA

- [1] Encyklopedický ústav SAV. *Encyklopaedia Beliana*. I. vyd. Banská Bystrica 1999. 696s, ISBN: 80-224-0554
- [2] WIKIPEDIA. *Fotosyntéza* [online] Posledná revízia 28.7.2014 [cit. 28-1-2014]. Dostupné na WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Fotosynt%C3%A9za>>.
- [3] Obr. Dostupné z WWW: <<http://www.growgrowinternational.com/shop/content/13-light-lumens>>.
- [4] GOLIAŠ, M. *WATT na litr vs PAR* [cit. 9-11-2014]. Dostupné na WWW: <<http://prirodni-akvarium.cz/index.php>>.
- [5] WIKIPEDIA. *Photosynthetically active radiation* [online]. Posledná revízia 27.9.2014 [cit. 28-1-2014]. Dostupné z WWW: <[http://en.wikipedia.org/wiki/Photosynthetically\\_active\\_radiation](http://en.wikipedia.org/wiki/Photosynthetically_active_radiation)>
- [6] ADAMS, P. *WEEDOLOGY*. 2012, 1. vyd., 352s, ISBN 978-90-76593-35-8
- [7] MR. JOSÉ. *Jak pěstovat INDOOR*. 2012, 2. vyd., 374s, ISBN 978-80-905353-0-5
- [8] WIKIPEDIA. *Fotometrie* [online]. Posledná revízia 2.9.2014 [cit. 28-1-2014]. Dostupné z WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Fotometrie>>.
- [9] WIKIPEDIA. *Rádiometrie* [online]. Posledná revízia 12.7.2014 [cit. 28-1-2014]. Dostupné z WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Radiometrie>>.
- [10] WIKIPEDIA. *Optika* [online]. Posledná revízia 19.8.2014 [cit. 28-1-2014]. Dostupné z WWW: <[http://cs.wikipedia.org/wiki/Optika#Vlnov.C3.A1\\_optika](http://cs.wikipedia.org/wiki/Optika#Vlnov.C3.A1_optika)>.
- [11] GOLIAŠ, M. *WATT na litr vs PAR* [cit. 6-12-2014]. Dostupné na WWW: <<http://prirodni-akvarium.cz/index.php>>.
- [12] DVOŘÁČEK, V. 2008. *Světelné zdroje- vysokotlaké rtuťové výbojky, směšové výbojky*. Svetelné zdroje, 2008, č. 6, s. 56-58
- [13] DVOŘÁČEK, V. 2008. *Světelné zdroje- halogenidové výbojky*. Svetelné zdroje, 2009, č. 1, s. 36-38
- [14] DVOŘÁČEK, V. 2009. *Světelné zdroje- vysokotlaké sodíkové výbojky*. Svetelné zdroje, 2009, č. 3, s. 40-43
- [15] DVOŘÁČEK, V. 2009. *Světelné zdroje- kompaktní zářivky*. Svetelné zdroje, 2008, č. 3, s. 43-46
- [16] GOLIAŠ, M. *Průvodce LED osvětlením* [cit. 1-12-2014]. Dostupné na WWW: <<http://prirodni-akvarium.cz/index.php>>.
- [17] Obr. Dostupné z WWW: <<http://www.volieryzelinka.cz/eshop/hlinikovy-profil-20x20x15-mm.html>>.
- [18] Obr. Dostupné z WWW: <<http://www.volieryzelinka.cz/eshop/plastova-spojka-ps-113.html>>.
- [19] Obr. Dostupné z WWW: <<http://www.volieryzelinka.cz/eshop/plastova-spojka-ps-111.html>>.

- [20] Obr. Dostupné z WWW: <<http://www.emaplasty.sk/assets/images/gallery2/plastove-dosky1.jpg>>.
- [21] CREE. *Cree XLamp XT-E LEDs* [online datasheet]. [cit. 10-12-2014]. Dostupné z WWW: <CREE. *Cree XLamp XT-E LEDs* [online datasheet]. [cit. 10-12-2014]. Dostupné z WWW: <<http://www.cree.com/LED-Components-and-Modules/Products/XLamp/Discrete-Directional/XLamp-XPE>>.
- [22] CREE. *Cree XLamp XT-E LEDs* [online datasheet]. [cit. 10.12.2014]. Dostupné z WWW: <<http://www.cree.com/LED-Components-and-Modules/Products/XLamp/Discrete-Directional/XLamp-XTE-White>>.
- [23] Obr. Dostupné na WWW: <[http://www.hobbyking.com/hobbyking/store/\\_18974\\_Sail\\_Winch\\_Servo\\_13kg\\_0\\_7sec\\_360deg\\_55g.html](http://www.hobbyking.com/hobbyking/store/_18974_Sail_Winch_Servo_13kg_0_7sec_360deg_55g.html)>.
- [24] CWC GROUPS *NMB 3610RL-04W-S66 92MM Fan* [online]. [cit. 15-12-2014] Dostupné z WWW: <<http://www.cwc-group.com/nm904cafanwi.html>>.
- [25] Obr. Dostupné na WWW: <[http://www.ebay.com/itm/12-LED-light-Ultrasonic-Mist-Maker-Fogger-Water-Fountain-Pond-Indoor-Outdoor-SC-/261678340305?pt=LH\\_DefaultDomain\\_0&hash=item3ced3e98d1](http://www.ebay.com/itm/12-LED-light-Ultrasonic-Mist-Maker-Fogger-Water-Fountain-Pond-Indoor-Outdoor-SC-/261678340305?pt=LH_DefaultDomain_0&hash=item3ced3e98d1)>.
- [26] Obr. Dostupné na WWW: <[http://ecx.images-amazon.com/images/I/31kRYqctWNL\\_SY300.jpg](http://ecx.images-amazon.com/images/I/31kRYqctWNL_SY300.jpg)>.
- [27] ARDUINO. *Arduino Mega 2560* [online]. [cit. 29-11-2014] Dostupné na WWW: <[http://www.atmel.com/images/atmel-2549-8-bit-avr-microcontroller-atmega640-1280-1281-2560-2561\\_summary.pdf](http://www.atmel.com/images/atmel-2549-8-bit-avr-microcontroller-atmega640-1280-1281-2560-2561_summary.pdf)>.
- [28] Obr. Dostupné z WWW: <[http://arduino.cc/en/uploads/Main/ArduinoMega2560\\_R3\\_Fronte.jpg](http://arduino.cc/en/uploads/Main/ArduinoMega2560_R3_Fronte.jpg)>
- [29] ATMEL. *ATmega 2560* [online datasheet]. Revízia 2/2014 [cit. 20-11-2014] Dostupné na WWW: <[http://www.atmel.com/images/atmel-2549-8-bit-avr-microcontroller-atmega640-1280-1281-2560-2561\\_summary.pdf](http://www.atmel.com/images/atmel-2549-8-bit-avr-microcontroller-atmega640-1280-1281-2560-2561_summary.pdf)>.
- [30] MYDUINO. *Weight sensor module* [online datasheet]. [cit. 20-11-2014]. Dostupné na WWW: <[http://www.myduino.com/index.php?route=product/product&product\\_id=518](http://www.myduino.com/index.php?route=product/product&product_id=518)>.
- [31] AVIA SEMICONDUCTOR. *HX711* [online datasheet]. [cit. 20-11-2014]. Dostupné na WWW: <[http://www.dfrobot.com/image/data/SEN0160/hx711\\_english.pdf](http://www.dfrobot.com/image/data/SEN0160/hx711_english.pdf)>.
- [32] ELEC FREAKS. *Ultrasonic Ranging Module HC-SR04* [online datasheet]. [cit. 29-11-2014]. Dostupné na WWW: <<http://www.micropik.com/PDF/HCSR04.pdf>>.
- [33] MAXIM INTEGRATED. *DS18B20* [online datasheet]. Revízia 22.8.2004 [cit. 20-11-2014]. Dostupné na WWW: <<http://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18B20.pdf>>.
- [34] D-ROBOTICS. *DHT11 Humidity and Temperature sensor* [online datasheet] Revízia 30.7.2010 [cit. 20-11-2014].

- Dostupné na WWW: <<http://www.micropik.com/PDF/dht11.pdf>>.
- [35] ALLEGRO. AS712 [online datasheet] Rev. 15 [cit. 20-11-2014].  
Dostupné na WWW: <<http://www.allegromicro.com/en/Products/Current-Sensor-ICs/Zero-To-Fifty-Amp-Integrated-Conductor-Sensor-ICs/ACS712.aspx>>.
- [36] INTEGRATED CIRCUITS. PCD8544 [online datasheet]. [cit. 20-11-2014].  
Dostupné na WWW:  
<<https://www.sparkfun.com/datasheets/LCD/Monochrome/Nokia5110.pdf>>.
- [37] Obr. Dostupné z WWW:  
<[http://i.ebayimg.com/00/s/NTAwWDUwMA==/z/b7wAAOxyf45SDIJ/\\$T2eC16R,!y0E9s2S6cbQBSDIJ!elsg~~60\\_35.JPG](http://i.ebayimg.com/00/s/NTAwWDUwMA==/z/b7wAAOxyf45SDIJ/$T2eC16R,!y0E9s2S6cbQBSDIJ!elsg~~60_35.JPG)>.
- [38] ČAMAJ, P. *Bezdrátový telemetrický systém pro RC model*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Ústav radioelektroniky, 2012. 37 s., 11 s. příloh. Bakalárska práca. Vedoucí práce: doc. Ing. Jiří Šebesta, Ph.D
- [39] Obr. Dostupné z WWW: <[http://www.phidgets.com/images/3133\\_0\\_Web.jpg](http://www.phidgets.com/images/3133_0_Web.jpg)>.
- [40] Obr. Dostupné z WWW:  
<<http://www.ezsbc.com/media/catalog/product/cache/1/image/800x800/9df78eab33525d08d6e5fb8d27136e95/r/t/rtk-hcsr04-1.jpg>>
- [41] Obr. Dostupné z WWW:  
<<https://tushev.org/images/electronics/arduino/ds18x20/DS18B20.jpg>>
- [42] Obr. Dostupné z WWW: <<http://www.lezohtml.eu/images/articles/dht11/capteur-dht11.jpg>>
- [43] Obr. Dostupné z WWW: <[http://ecx.images-amazon.com/images/I/41nvqxNNQ5L\\_SY355.jpg](http://ecx.images-amazon.com/images/I/41nvqxNNQ5L_SY355.jpg)>
- [44] Obr. Dostupné z WWW:  
<[http://www.haoyuelectronics.com/ebay/CP2102\\_module/CP2102\\_3.jpg](http://www.haoyuelectronics.com/ebay/CP2102_module/CP2102_3.jpg)>
- [45] Obr. Dostupné z WWW:  
<<http://g01.s.alicdn.com/kf/HTB17eE9FFXXXXXUXVXXq6xXFXXXp/220976807/HTB17eE9FFXXXXXUXVXXq6xXFXXXp.jpg>>
- [46] Obr. Dostupné z WWW: <<http://www.maximintegrated.com/en/app-notes/index.mvp/id/4266>>
- [47] TEXAS INSTRUMENTS. LM3409 [online datasheet]. Revízia 20.5.2013 [cit. 25-3-2015]. Dostupné na WWW: <<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm3409hv.pdf>>.
- [48] TEXAS INSTRUMENTS. LM2576 [online datasheet]. Revízia 20.4.2013 [cit. 25-3-2015]. Dostupné na WWW: <<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm2576hv.pdf>>.
- [49] ANALOG DEVICES. AD5241 [online datasheet]. Revízia 12.9.2009 [cit. 25-3-2015]. Dostupné na WWW: <[http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/AD5241\\_5242.pdf](http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/AD5241_5242.pdf)>.
- [50] Obr. Dostupné z WWW: <[http://ecx.images-amazon.com/images/I/51Iixs6OVL\\_SY300.jpg](http://ecx.images-amazon.com/images/I/51Iixs6OVL_SY300.jpg)>.
- [51] Obr. Dostupné z WWW: [http://i01.i.aliimg.com/wsphoto/v2/953622683\\_1/10pcs-](http://i01.i.aliimg.com/wsphoto/v2/953622683_1/10pcs-)



- [lot-LM2596S-buck-dc-dc-voltage-power-supply-module-3A-dc-12V-TO-dc-5V.jpg](#).
- [52] SONGLE RELAY. *SRD* [online datasheet]. Revízia 15.3.2010[cit. 25-3-2015]. Dostupné na WWW:  
<<https://www.ghielectronics.com/downloads/man/20084141716341001RelayX1.pdf>>.
- [53] Obr. Dostupné z WWW:  
<[http://img.dxcn.com/productimages/sku\\_156088\\_1.jpg](http://img.dxcn.com/productimages/sku_156088_1.jpg)>
- [54] APOGEE INSTRUMENTS. *QUANTUM METER* [online manual]. Revízia 2.7.2014[cit. 29-4-2015]. Dostupné na WWW:  
<[http://www.apogeeinstruments.co.uk/content/MQ-100\\_200\\_300manual.pdf](http://www.apogeeinstruments.co.uk/content/MQ-100_200_300manual.pdf)>.
- [55] Obr. Dostupné z WWW:  
<[http://www.advancedaquarist.com/2013/9/review\\_album/mq200\\_front\\_55355.1353348131.1280.1280.jpg](http://www.advancedaquarist.com/2013/9/review_album/mq200_front_55355.1353348131.1280.1280.jpg)>

## ZOZNAM SYMBOLOV, VELIČÍN A SKRATIEK

LCD	Liquid Crystal Display (displej z tekutých kryštálov)
PC	Personal Computer (osobný počítač)
LED	Light Emitting Diode (svetlo emitujúca dióda)
PAR	Photosynthetically Active Radiation (fotosynteticky aktívna radiácia)
N	Nitrogenium (dusík)
P	Phosphorus (fosfor)
K	Kalium (draslík)
HID	High Intensity Discharge (vysoko intenzívny výbojový zdroj)
HPS	High Pressure Sodium (vysokotlaká sodíková výbojka)
PPFD	Photosynthetic Photon Flux Density (Fotosyntetická hustota prúdenia fotónového toku)
PUR	Photosynthetically Usable Radiation (fotosynteticky použiteľné žiarenie)
AC	Alternating Current (striedavý prúd)
DC	Direct Current (jednosmerný prúd)
MVL	Mercury Vapor Lamp (ortuťová výbojka)
MH	Metal Halogenid (metal halogenidová výbojka)
CFL	Compact fluorescent lamp (kompaktná fluorescenná žiarivka)
PSH	Polystyrén húževnatý (HPS)
ABS	Akrylonitrilbutadiénstyren
DPS	Doska Plošného Spoja
CFM	Cubic Foot per Minute (kubická stopa za minútu)
EC	Electric Conductivity (elektrická vodivosť)
MCU	Micro Controller Unit (mikrokontrolér)
USART	Universal Synchronous/ Asynchronous Receiver Transmitter (synchronný a asynchronný prenos)
I <sup>2</sup> C	Inter Integrated Circuit (názov štandardu sériovej zbernice)
SPI	Serial Peripheral Interface (názov štandardu sériovej zbernice)
SRAM	Static Random Access Memory (statická pamäť)
EEPROM	Electrically Erasable Programmable Real Only Memory (elektricky mazateľná a programovateľná pamäť)
IO	Input/ Output (vstup/ výstup)
PWM	Pulse Width Modulation (pulzne šírková modulácia)
ADC	Analog to Digital Converter (analogovo digitálny prevodník)
ROM	Read Only Memory (pamäť určená iba na čítanie dát)
NTC	Negative Temperature Coefficient (negatívny teplotný koeficient)
MAC	Media Access Control (riadenie prístupu k médiu)
OSI	Open System Interconnection (štandardizácia komunikácie)
TCP	Transmission Control Protocol (internetový protokol)
IP	Internet Protocol (internetový protokol)
UTP	Unshielded Twisted Pair (netienená krútená dvojlinka)
MISO	Master Input Slave Output (signál SPI zbernice)
MOSI	Master Output Slave Input (signál SPI zbernice)

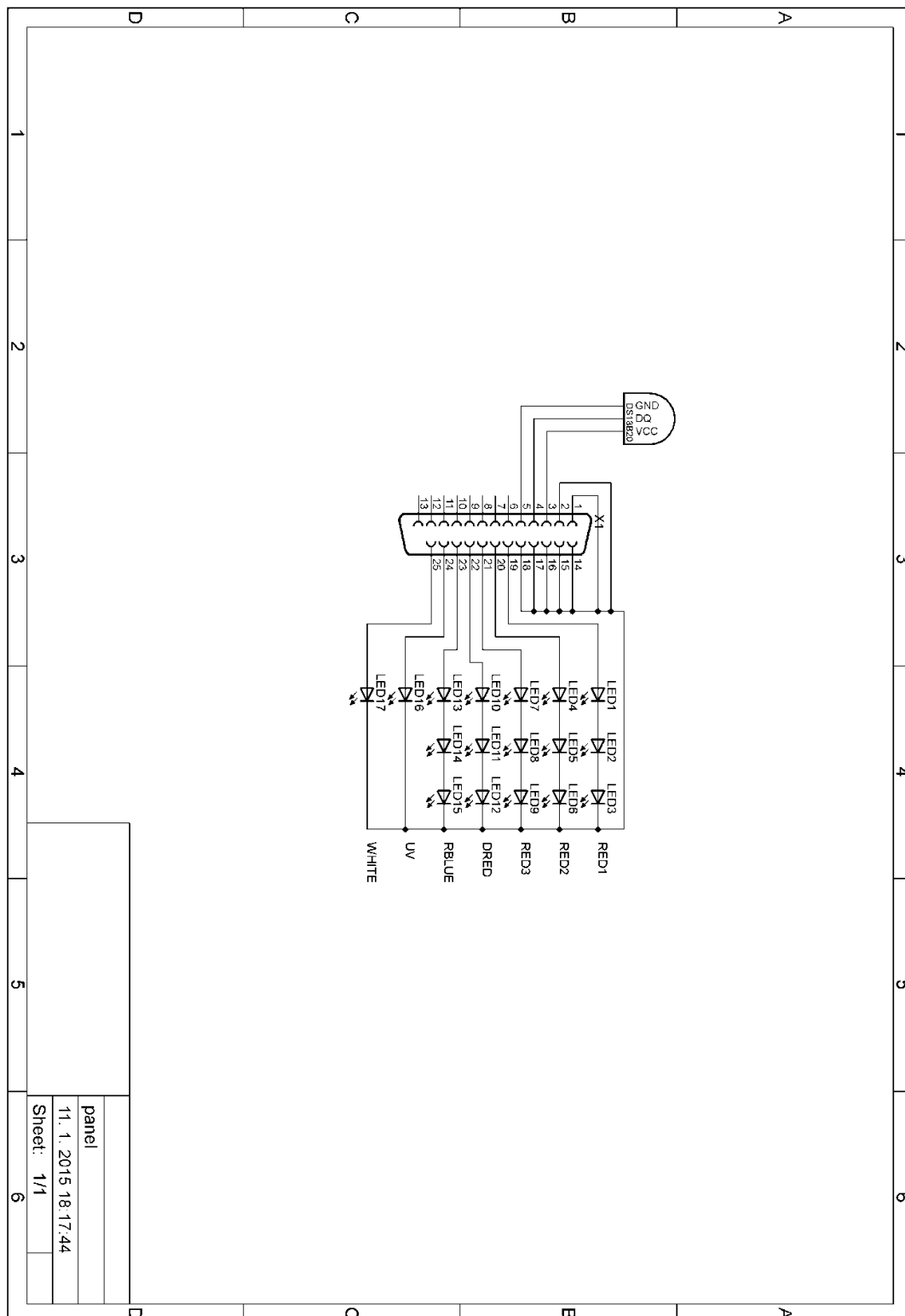
CS	Chip Select (signál SPI zbernice)
CLK	Clock (signál SPI zbernice)
CRC	Cyclic Redundancy Check (kontrola cyklickým kódom)
ISO	International Organization for Standardization (medzinárodná organizácia pre normalizáciu)
WWW	World Wide Web (svetová rozsiahla sieť)
<i>lm</i>	lumen
<i>lx</i>	lux
<i>cd</i>	kandela
<i>lm.s</i>	lumen sekunda
<i>lm/W</i>	lumen na wat
$\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$	mikro mol na meter a sekundu
<i>W/m</i>	wat na meter
$\mu\text{E. m}^{-2}.\text{s}^{-1}$	mikro Einstein na meter a sekundu
<i>dB</i>	decibel

# ZOZNAM PRÍLOH

<b>A</b>	<b>NÁVRH ZARIADENIA</b>	<b>82</b>
A.1	Obvodové zapojenie LED panelu .....	82
A.2	Obvodové zapojenie zdroja LED DEEP RED V1 .....	83
A.3	Doska plošného spoja zdroja LED DEEP RED V1 .....	84
A.4	Obvodové zapojenie zdroja LED RED V1 .....	85
A.5	Doska plošného spoja zdroja LED RED V1 .....	86
A.6	Obvodové zapojenie zdroja LED RED 1 V2 .....	87
A.7	Doska plošného spoja zdroja LED RED 1 V2 .....	88
<b>B</b>	<b>VYHOTOVENIE ZARIADENIA</b>	<b>89</b>
B.1	Vyhotovenie spínaného zdroja LED RED V1 .....	89
B.2	Vyhotovenie potrubia s odťahovým ventilátorom .....	89
B.3	Vyhotovenie systému pre vertikálny pohyb LED panelov .....	90
B.4	Vyhotovenie pestovateľského boxu .....	91
B.5	Vyhotovenie pestovateľského boxu (prvá verzia) .....	92
<b>C</b>	<b>ZOZNAM PRÍLOH NA DVD NOSIČI</b>	<b>93</b>

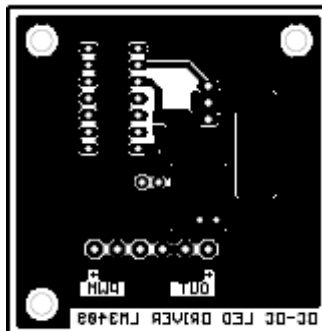
# A NÁVRH ZARIADENIA

## A.1 Obvodové zapojenie LED panelu

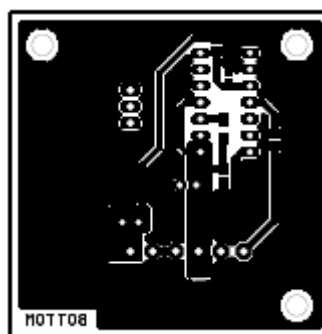




### A.3 Doska plošného spoja zdroja LED DEEP RED V1



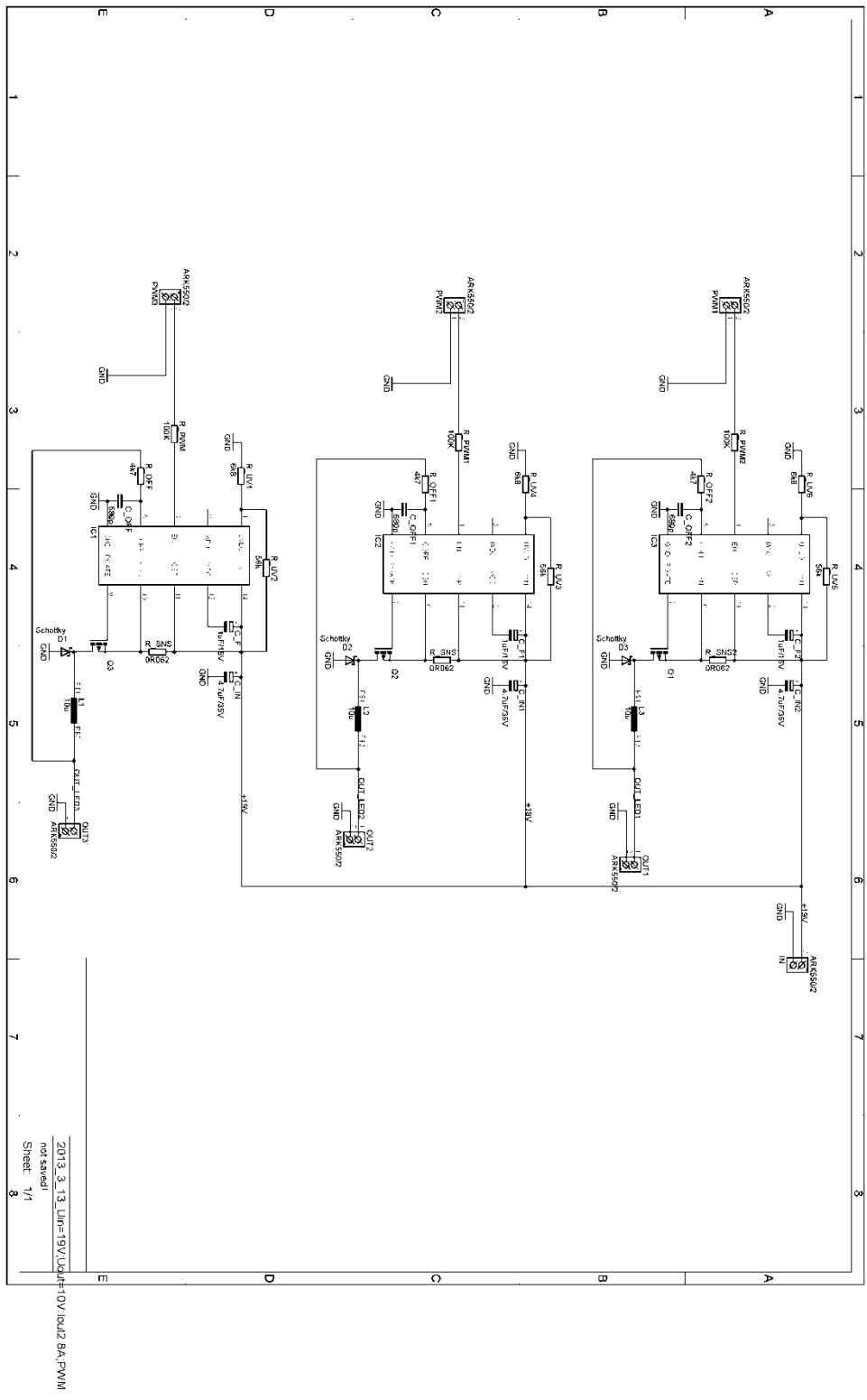
Rozmery dosky 48mm x 48mm, mierka M1:1 (strana TOP)



Rozmery dosky 48mm x 48mm, mierka M1:1 (strana BOTTOM)

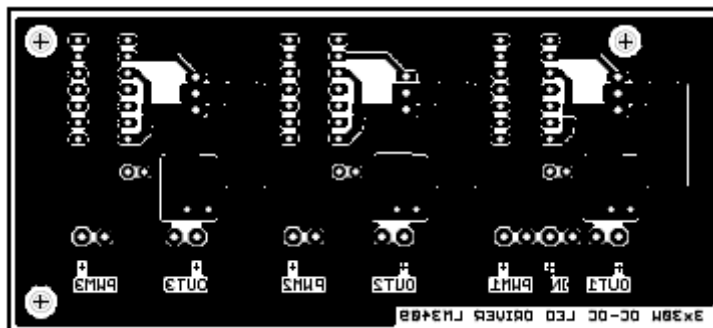
\*Zdroje verzie 1 majú totožnú DPS pre verzie DEEP RED a ROYAL BLUE, preto uvádzam DPS iba pre prvý menovaný, všetko ostatné je v prílohe na DVD nosiči.

# A.4 Obvodové zapojenie zdroja LED RED V1

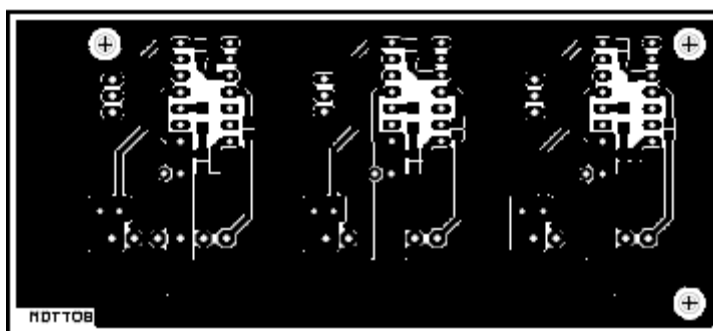




## A.5 Doska plošného spoja zdroja LED RED V1

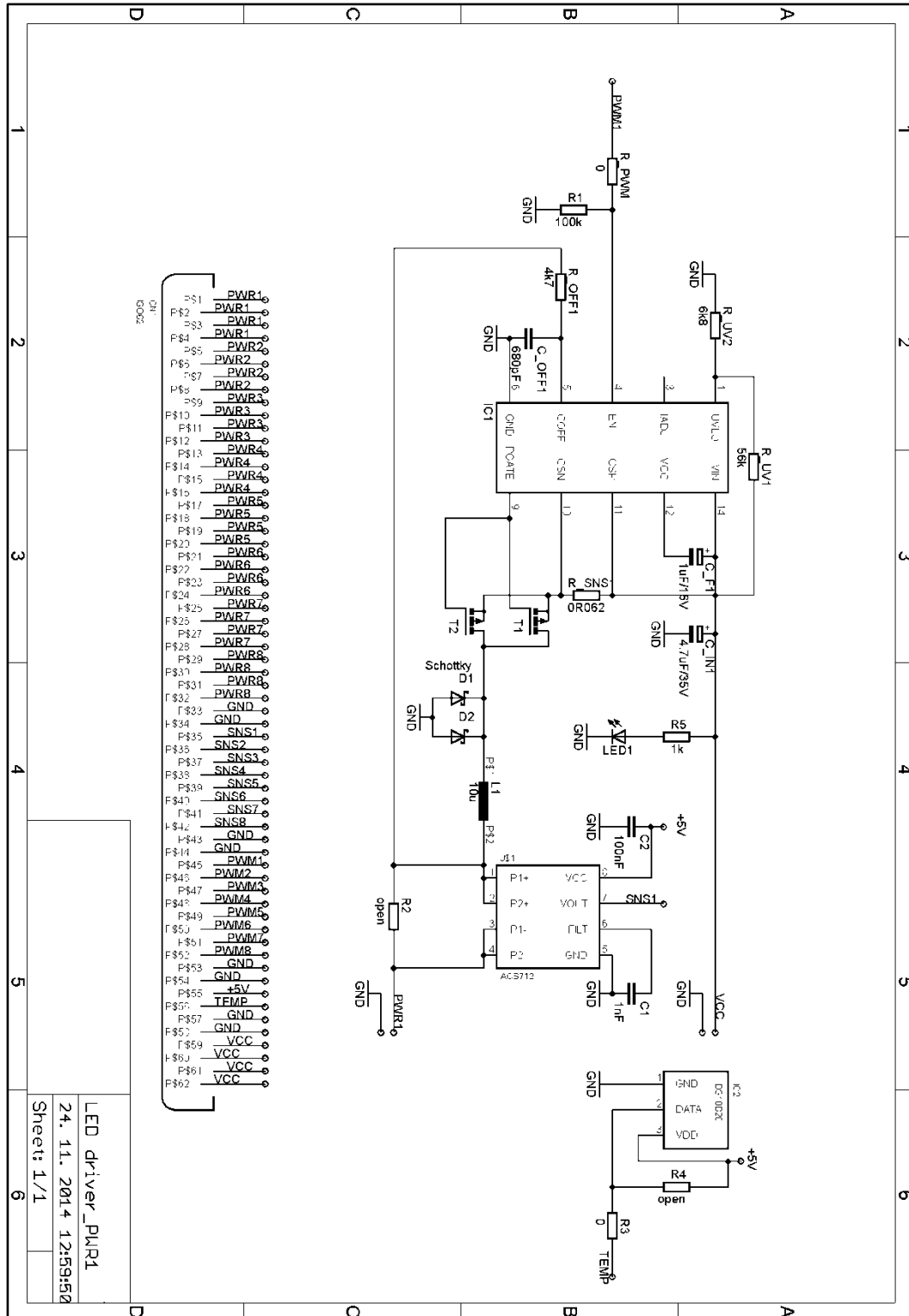


Rozmery dosky 110mm x 50mm, mierka M1:1 (strana TOP)

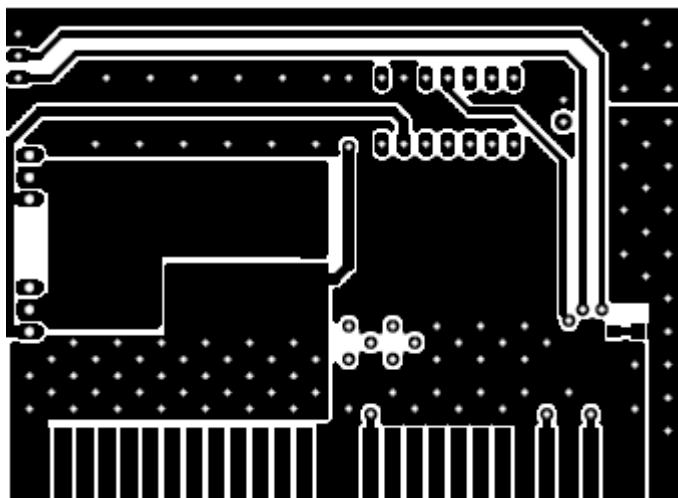


Rozmery dosky 110mm x 50mm, mierka M1:1 (strana BOTTOM)

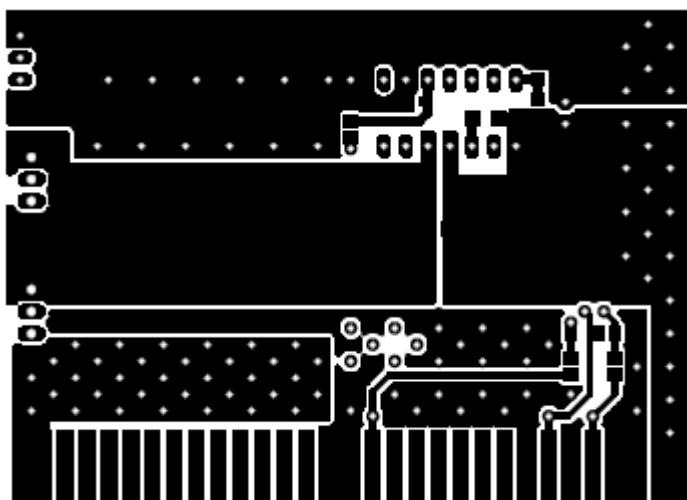
## A.6 Obvodové zapojenie zdroja LED RED 1 V2



## A.7 Doska plošného spoja zdroja LED RED 1 V2



Rozmery dosky 82mm x 58mm, mierka M1:1 (strana TOP)

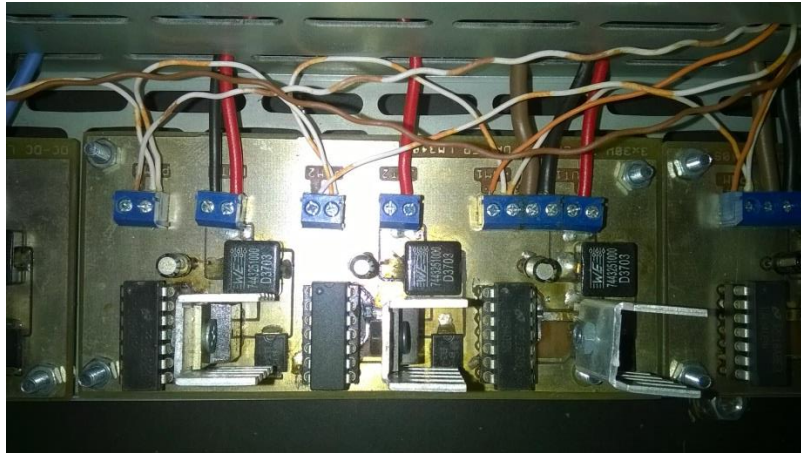


Rozmery dosky 82mm x 58mm, mierka M1:1 (strana BOTTOM)

\*Zdroje verzie 2 majú totožnú DPS pre všetky verzie preto uvádzam DPS iba pre prvý z nich (RED 1), všetko ostatné je v prílohe na DVD nosiči.

## **B VYHOTOVENIE ZARIADENIA**

### **B.1 Vyhotovenie spínaného zdroja LED RED V1**



### **B.2 Vyhotovenie potrubia s odťahovým ventilátorom**



### **B.3 Vyhotovenie systému pre vertikálny pohyb LED panelov**



#### **B.4 Vyhotovenie pestovateľského boxu (prvá verzia)**



## B.5 Vyhotovenie pestovateľského boxu (prvá verzia)



## **C ZOZNAM PRÍLOH NA DVD NOSIČI**

- Elektronická verzia práce vo formáte PDF v priečinku /PDF
- Vytvorené zdrojové súbory v priečinku /Atmel
- Vytvorené dosky plošného spoja v Eagle a zoznam použitých súčiastok v priečinku /Eagle
- Návrh parametrov spínaných zdrojov a ich súčiastok v priečinku /Excel
- Program ovládania v LabView v priečinku /Program
- Fotodokumentáciu v priečinku /Photos
- Vybrané katalógové listy v priečinku /Datasheets