

Univerzita Pardubice
Fakulta elektrotechniky a informatiky

Uzavřený systém pěstování rostlin
Lubomír Jirásek

Bakalářská práce

2020

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Lubomír Jirásek**
Osobní číslo: **I16027**
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Komunikační a mikroprocesorová technika**
Název tématu: **Uzavřený systém pěstování rostlin**
Zadávající katedra: **Katedra elektrotechniky**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Cílem práce je navrhnout a sestavit automatizovaný systém pro pěstování rostlin bez zexterního zásahu v uzavřeném systému. Zařízení bude možno připojit k počítači pomocí USB, nastavení podmínek bude uloženo v paměti pro případné obnovení nastavení v případě výpadku proudu. Řídící SW pro PC bude naprogramován v jazyce C#.

V teoretické části musí student nastudovat možnosti automatického pěstování rostlin.

V praktické části pak student musí navrhnout a sestavit uzavřený demonstrační systém, který bude schopen automatizovaně pěstovat rostliny bez externích zásahů.

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy: **30**

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

[1] MATOUŠEK, David. Práce s mikrokontroléry ATMEL AT89C2051: [měření, řízení a regulace pomocí několika jednoduchých přípravků]. Praha: BEN - technická literatura, 2006. μ C & praxe. ISBN 8073001748.

[2] ROUBAL, J. a P. HUŠEK. Regulační technika v příkladech. BEN, 2011. ISBN 978-80-7300-260-2. [3] ŠEDA, M., I. ŠVARC a M. VÍTEČKOVÁ. Automatické řízení. CERM, 2011. ISBN 978-80-214-3491-2.

[3] PIRKL, Josef. Řešené příklady v C#, aneb, C# skutečně prakticky. České Budějovice: Kopp, 2005. ISBN 80-7232-265-6.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Luboš Rejfek, Ph.D.**

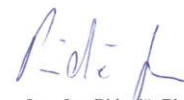
Katedra elektrotechniky

Datum zadání bakalářské práce: **15. října 2018**

Termín odevzdání bakalářské práce: **10. května 2019**



Ing. Zdeněk Němec, Ph.D.
děkan



Ing. Jan Pidaňič, Ph.D.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 15. listopadu 2018

Prohlašuji:

Tuto práci jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 9/2012, bude práce zveřejněna v Univerzitní knihovně a prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 14. 5. 2020

Lubomír Jirásek

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval svému vedoucímu této bakalářské práce Ing. Luboši Rejfkovi Ph.D. za odborné vedení.

Děkuji také rodině, přátelům a přítelkyni, že mě podporovali po celou dobu studia na vysoké škole, že mě podporují i nadále v této těžké době karantény, abych mohl zdárně dokončit svoji práci.

Děkuji panu Ing. Pavlu Rozsivalovi za výrobu DPS. Dále děkuji panu Mgr. Slavomíru Račickému za jazykovou kontrolu.

V neposlední řadě všem kolegům ze SPŠE Pardubice, zejména Martinovi Zahálkovi a Janu Hurdovi, za technickou výpomoc.

ANOTACE

Tato bakalářská práce se zabývá návrhem a konstrukcí uzavřeného automatizovaného systému pěstování rostlin. V teoretické části je proveden rozbor uzavřených systémů pěstování rostlin (Aquaponie, Hydroponie, ...) a na základě získaných poznatků byl vybrán systém, který byl nakonec realizován. Navržený systém byl otestován pomocí kalibračních měření, čímž byla potvrzena jeho funkčnost a jeho schopnost vytvářet a udržovat klima potřebné pro automatizované pěstování rostlin.

KLÍČOVÁ SLOVA

Hydroponie, Aquaponie, Skleníky, Autonomní systémy, Umělé klima

TITLE

Closed growing system

ANNOTATION

This bachelor paper regards design and construction of closed automated gardening system. In theoretical part We analyse gardening closed systems like Aquapoine, Hydroponie, etc. and based on founding We choose best suited system. Designed system was tested with calibration measuring which affirmed functionality of said system and its ability to create suitable climate for automated plant cultivation.

KEYWORDS

Hydroponics, Aquaponics, Greenhouses, Autonomous systems, Artificial Climate

OBSAH

Seznam obrázků	9
Seznam tabulek	11
Seznam grafů	11
Úvod	13
1 Plodiny a jejich pěstování	15
1.1 Přehled nejčastějších komerčně pěstovaných plodin.....	15
1.2 Přehled systémů používaných při pěstování plodin.....	16
1.3 Podmínky pro pěstování	19
1.3.1 Náročnosti pěstování rostlin	19
1.3.2 Růstový cyklus rostlin	21
1.3.3 Pěstování zeleniny – výsev	22
1.3.4 Stanoviště.....	23
2 Návrh a výběr automatizovaného regulovaného systému pěstování rostlin	25
2.1 Senzory a regulátory využívané při pěstování plodin	26
2.1.1 Měření vzdušné vlhkosti	26
2.2 Měření teploty	29
2.3 Měření vlhkosti půdy	32
2.4 Měření světelného toku a světelné zdroje.....	33
2.5 Regulátory.....	34
2.5.1 Regulace teploty, vlhkosti a jasu	36
3 Návrh HW systému	45
3.1 Konstrukce systému	45
3.2 Použité senzory	47
3.3 Akční členy	48
3.4 Řídící členy	49
3.5 Napájení a bezpečnostní prvky systému	52
4 Řídicí program pro mikrokontrolér	56
4.1 Firmware	56

5	Uživatelské rozhraní	61
5.1	Aplikace a komunikace s mikrokontrolérem	61
6	Kalibrace a testování systému	63
6.1	Testování systému.....	63
	Závěr	70
	Použitá literatura:.....	71
	Přílohy.....	76

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1.1 - Rozložení plodin pěstovaných v ČR.	15
Obrázek 1.2 - Aquaponie	18
Obrázek 1.3 - Přehled systémů	18
Obrázek 1.4 - Přehled nejčastějších půd [9].....	19
Obrázek 1.5 - Zobrazení tratí	21
Obrázek 1.6 - Životní cyklus lilku brambory	21
Obrázek 1.7 - A) Výsev na široko B) a C) Výsev do hnízd, který je rozdělen na dva druhy. D) vysazování do řádků.	23
Obrázek 2.1 - Ukázka hydroponického pěstování	25
Obrázek 2.2 - Ukázka pěstebních hal	26
Obrázek 2.3 - Absolutní vlhkost v závislosti na teplotě	27
Obrázek 2.4 - Závislost rezistence na relativní vlhkosti	28
Obrázek 2.5 - Závislost výstupního napětí na absolutní vlhkosti	28
Obrázek 2.6 - Princip vlhkoměru DHT 11	29
Obrázek 2.7 - Senzor na měření vlhkosti DHT 11	29
Obrázek 2.8 - Odporové teploměry.	30
Obrázek 2.9 - Teplotní čidlo DS18B20	31
Obrázek 2.10 - Kapacitní snímač	32
Obrázek 2.11 - Eses půdní vlhkoměr	33
Obrázek 2.12 - VA. Charakteristika. Závislost odporu na osvětlení	33
Obrázek 2.13 - Senzor KY-018	34
Obrázek 2.14 - PID regulace	35
Obrázek 2.15 - Regulovaná soustava [vlastní schéma].....	35
Obrázek 2.16 - Regulace teploty	36
Obrázek 2.17- Topné těleso s poniklovaným povrchem a termostatickou hlavicí 3f	37
Obrázek 2.18 - Topné těleso RS-T50.....	37
Obrázek 2.19 - CSC2 topný kabel	38
Obrázek 2.20 - Spektrální charakteristika zářivého toku sluneční energie na hranicích atmosféry země [37]	39
Obrázek 2.21 - LED pásek UV	40
Obrázek 2.22 - Příklad barevných spekter vybraných světelných zdrojů.....	40
Obrázek 2.23 - UV LED chip s aktivním chladičem	41

Obrázek 2.24 - Časový spínač na DIN CS4-16.....	42
Obrázek 2.25 - Periodický časový spínač	42
Obrázek 2.26 - 12V ventilátor.....	43
Obrázek 2.27 - Ponorné čerpadlo AD20p.1230E.....	43
Obrázek 2.28 - Elektromagnetický ventil	44
Obrázek 3.1 - Prvotní blokový nákres systému	45
Obrázek 3.2 - Výslední blokový nákres systému.....	46
Obrázek 3.3 - Výsledná konstrukce	46
Obrázek 3.4 - Rozmístění senzorů v uzavřené soustavě.....	47
Obrázek 3.5 - Řídící část uzavřené soustavy	48
Obrázek 3.6 - Kontrolní LCD	48
Obrázek 3.7 - LED s aktivním chlazením.....	49
Obrázek 3.8 - Konstrukce umístění mikrokontroléru	50
Obrázek 3.9 - Řídící panel	50
Obrázek 3.10 - Blokové schéma zapojení senzorů k řídicí jednotce	51
Obrázek 3.11 - Relé.....	51
Obrázek 3.12 - Provedení napájecího obvodu	52
Obrázek 3.13 - DC-DC měnič.....	53
Obrázek 3.14 - Zdroj 12 V	53
Obrázek 3.15 - Výsledné zapojení napájení.....	54
Obrázek 3.16 - Komunikační rozhraní pro dílčí jednotky	55
Obrázek 3.17 - Blokové schéma zapojení napájecí skříně.....	55
Obrázek 4.1 - Diagram regulace vlhkosti	56
Obrázek 4.2 - Diagram řízení teploty.....	57
Obrázek 4.3 - Diagram řízení závlahy	57
Obrázek 4.4 - Bluetooth modul HC-05	58
Obrázek 4.5 - Komunikace uživatelského rozhraní se systémem.....	58
Obrázek 4.6 - Diagram Bluetooth nastavení	59
Obrázek 4.7 - Modul pro SD kartu.....	59
Obrázek 4.8 - Uložené hodnoty na SD kartě.....	60
Obrázek 5.1 - Uživatelské rozhraní.....	61
Obrázek 6.1 - Ověření hodnot z LCD a meteostanice	66

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1.1 - Plodiny vhodné pro pěstování v uzavřeném systému [7]	16
Tabulka 6.1 - Naměřené hodnoty z 1. měření	64
Tabulka 6.2 - 1. Měření relativní vlhkosti.....	64
Tabulka 6.4 - Noční měření teploty 32 °C	67

SEZNAM GRAFŮ

Graf 6.1 - Měření teploty 16 °C	63
Graf 6.2 - 1. Měření relativní vzdušné vlhkosti	64
Graf 6.3 - Měření udržení vyšší teploty 30 °C	65
Graf 6.4 - Noční měření teploty 32 °C	66
Graf 6.5 - Měření relativní vlhkosti vzduchu při teplotě 32 °C	67
Graf 6.6 - Měření půdní vlhkosti.....	68
Graf 6.7 - Měření teploty 32 °C po 3 dny	68
Graf 6.8 - Měření vzdušné vlhkosti 60 % po 3 dny	69

Seznam zkratk:

PDF	Portable Document Format
SW	Software
ČR	Česká republika
HZ	Hertz
P-N	Pozitivní a negativní pól vodiče
LED	Ligth Emitting Diode
V	Volt
A	Ampér
I	Proud
HW	Hardware
SD	Secure Digital
MOSFET	Metal Oxide Semiconductor Field Effect Tranzistor
LCD	Liquid crystal display

ÚVOD

Pěstování plodin vznikalo stejně s tím, jak se člověk vyvíjel. Lidé byli sběrači a lovci, ale za účelem efektivnějšího a dlouhodobějšího získávání potravy se z nich začali stávat zemědělci. Tento přechod nebude naší současné civilizaci nikdy přesně znám. Šlo o postupný vývoj trvající desetitisíce let, lze ho jen velmi nepřesně určit pomocí archeologických nálezů. Jde spíše o spekulace. Od dob prvních zemědělců do průmyslové revoluce byly používány k obdělávání půdy jednodušší nástroje nejdříve tažené pouhou lidskou silou, která byla nahrazována domestikovanými zvířaty (koně, krávy, ...). V průběhu průmyslové revoluce v 18. a 19. století prošla technika pěstování plodin prudkým vývojem, a to zejména stroje na obdělávání okopanin (brambory, řepa, cukrovka) [1]. V tomto období se rozvíjely pluh, brány a různé kultivační prostředky. Roku 1828 byl sestaven první secí stroj na řepu [1], strana 278. První komerční kombajn byl vynalezen v roce 1885. [2] Technologie pěstování rostlin se stále vyvíjí a automatizuje. Již od dob Římanů se také rozvíjí pěstování plodin v uzavřeném systému, které umožňovalo prodloužit sklizeň plodin, zejména zeleniny. Římský císař Tiberius si zamiloval okurky z Indie natolik, že pro ně museli udělat speciální pařeniště zakryté kousky slídy. [3]. Uzavřené systémy se také postupně vyvíjí k plné automatizaci, ať už se jedná o zavlažování, hnojení a v některých případech i o sklizeň (sklizení listové zeleniny kombajnem). Dnešní moderní uzavřené systémy umožňují získávání zeleniny i v pouštních oblastech. [4] Tyto systémy jsou vybaveny solárními zdroji energie pro svůj provoz a řízenou polarizací skla jsou schopny určovat množství slunečního záření v systému. Dalším krokem rozvoje je recyklace vody, která v oběhu neustále koluje. Pomocí této recyklace se snižuje spotřeba vody systémem, což je zvláště v pouštních oblastech důležité. Pro opylování v těchto systémech jsou využívány poryvy větru (větrání, větráky) nebo hmyz. Velmi se osvědčili čmeláci pěstovaní ve sklenících. [5] V případě vyhřívaných skleníků lze i v chladných oblastech zajistit celoroční produkci zeleniny. V poslední době se také velmi rychle rozvíjí technologie hnojení a použitých substrátů, kdy se již nevyužívá pouze zemina s chlévskou mrvou, ale také umělá hnojiva rozpuštěná ve vodě, jež omývá kořeny rostliny (hydroponie). Také se využívá kombinace pěstování plodin a ryb, které tvoří živiny pro pěstované plodiny (aquaponie).

Cílem této bakalářské práce bylo provést rozbor používaných uzavřených systémů pro pěstování plodin a na základě tohoto rozboru vybrat vhodný typ, který by mohl být použit při návrhu uzavřeného automatizovaného systému pro pěstování plodin. Zavlažování je prováděno auto-

matically ze zásobníku vody a regulace teploty a osvětlení, aby jej bylo možné využívat v průběhu celého roku. Systém je možno připojit bezdrátově ke kontrolnímu počítači za účelem přenastavení při změně požadavků na systém.

Práce je rozdělena do tří částí, v první je proveden rozbor systémů pro pěstování plodin, jejich soupis využitelných pro uzavřený systém, rozepsány požadavky, popis komplikací doprovázejících pěstování v uzavřeném systému a jejich řešení.

Druhá část práce se věnuje samotnému návržení uzavřeného systému pro pěstování plodin. Na základě poznatků z první části je vybrán vhodný systém a proveden rozbor senzorů a akčních členů nutných pro jeho realizaci. Následně byla navržena řídicí jednotka, která je řízena mikroprocesorem Arduino. Bezdrátovou komunikaci obstarává technologie Bluetooth, SW pro počítač je napsán v jazyce C#.

Třetí část práce se věnuje testovacím měřením jednotlivých částí, při nichž se kontrolovalo, jestli řídicí a akční část udržuje nastavené podmínky v systému. Účelem tohoto měření bylo zjistit, zda je systém schopen samostatného pěstování plodin.

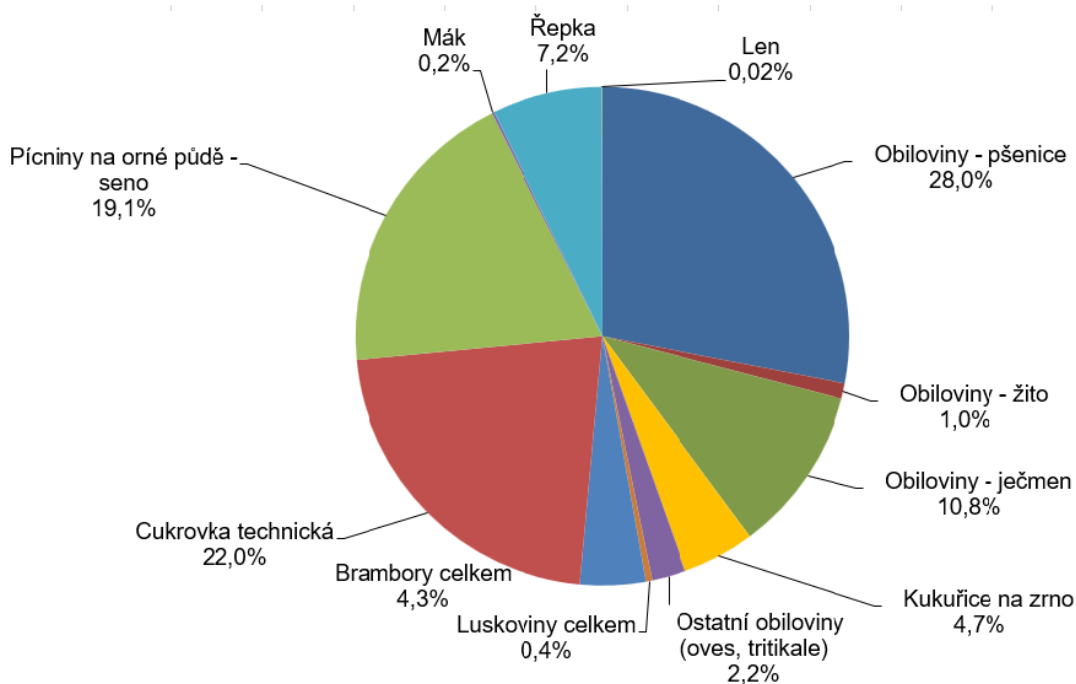
1 PLODINY A JEJICH PĚSTOVÁNÍ

Při pěstování plodin je důležitých mnoho aspektů. Mimo řízení závlahy, teploty, světla a vlhkosti je třeba zmínit i způsob a místo výsevu, životní cyklus rostliny nebo třeba zeměpisnou polohu. Tato práce má za cíl popsat univerzální zařízení pro vytvoření různých podmínek. Proto je nutný tento přehled.

1.1 Přehled nejčastějších komerčně pěstovaných plodin

Podnebí v České republice je mírné, přechodné mezi oceánským a kontinentálním. Jsou zde poměrně hojné srážky. Z toho také plyne graf nejčastěji pěstovaných rostlin v České republice: brambory, cukrovka, hořčice, hrách, ječmen jarní a ozimý, kukuřice, len, mák, oves jarní, pšenice jarní a ozimá, řepka olejka jarní a ozimá, slunečnice, sója, tritikale ozimé a žito ozimé.

Celý přehled je uveden v příloze 1.A. [6]



Obrázek 1.1 - Rozložení plodin pěstovaných v ČR. ¹

¹ http://www.cittadella.cz/cenia/sites/images/vzdel_modul/environmentalni_pohled/puda_jako_ekosystem/ekosystem_pole_817.jpg

Na obrázku 1.1 je graf plodin pěstovaných v ČR. Z grafu je velice dobře patrné, že nejpěstovanější plodinou jsou u nás obiloviny (pšenice, žito, ječmen, oves a tritikale), píceiny (seno) a technická cukrovka. V minimálním množství se u nás pěstuje len, luskoviny a mák.

Plodiny vhodné pro využití v uzavřených systémech jsou prezentovány v tabulce 1.1. U rostlin je uveden krátký popis, dále pak, zda se jedná o jednoleté nebo víceleté, a do jakého patří řádu. Nejznámějším zástupcem rostlin pěstovaných v uzavřených systémech je rajče jedlé.

Typ plodiny	Druhový název	Délka pěstování	Čeleď	Popis
plodová	Okurka setá	jednoletá	tykvovité	Popínavá rostlina
plodová	Vodní meloun	jednoletá	tykvovité	Z čeledi tykvovité
plodové	Zeleninová paprika	jednoletá	lilkovité	Keříkového vzrůstu
plodové	Rajče jedlé	trvalé /jednoleté	lilkovité	Keříkového vzrůstu
plodové	Lilek vejcoplodý	jednoletá	lilkovité	-
luskové	Fazol obecný	jednoletá	bobovité	Keříkového nebo stonkového vzrůstu
luskové	Hrách setý	jednoletá	bobovité	Popínavá rostlina
košťálové	Květák	jednoletá	brukvovité	-
listové	Řeřicha setá	jednoletá	brukvovité	-

Tabulka 1.1 - Plodiny vhodné pro pěstování v uzavřeném systému [7]

1.2 Přehled systémů používaných při pěstování plodin

Základním způsobem pěstování je výsadba na polích a v zahradách. Do připravené půdy se zaseje (zasadí) daná plodina. Závlaha, teplota, vlhkost závisí na podnebí a počasí (nelze nijak regulovat či automatizovat), jedná se tedy o systém neautomatizovaný otevřený.

Tento způsob pěstování lze částečně automatizovat například pomocí automatického centrálního zavlažování. Tím zabráníme spálení a následnému uhynutí rostlin. Ostatní aspekty jsou neregulovatelné, jedná se tedy o systém (částečně) automatizovaný otevřený.

Pro pěstování rostlin náročnějších na specifické nebo přesné podmínky využíváme skleníky nebo fóliovníky. Ty dokáží udržovat teplotu a vyšší vlhkost.

Skleníky či fóliovníky jsou ve většině případů (důvodem je cena) neautomatizované, ale přesto efektivní. Dokáží udržovat stálou i vyšší teplotu a vlhkost. Jsou vhodné pro pěstování například paprik a okurek. Větrání se provádí manuálně (otevřením okna či dveří), jedná se tedy o systém uzavřený neautomatizovaný.

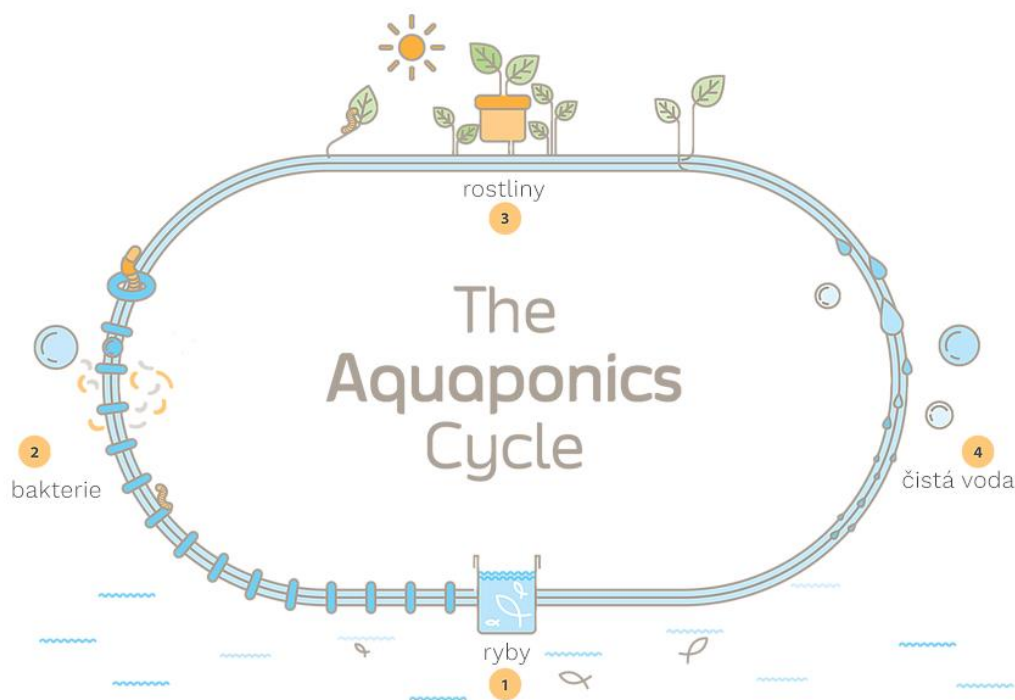
Tento systém lze i v běžných podmínkách částečně automatizovat. Automatickým otevíráním oken, dveří, případně vytápěním (často využívané na jaře proti přizemnímu mrazu), jedná se tedy o systém (částečně) automatizovaný uzavřený.

Automatizované skleníky či fóliovníky se používají hlavně při velkoplošném pěstování. Náklady spojené se stavbou a automatizací se na běžné zahradě nevyplatí. Jsou to obrovské skleníky vybavené vytápěním, ventilací a cirkulací vzduchu, řízením závlahy a dosvícování. Pro řízení osvětlení se používá veličina nasvícené radiace [W/m^2]. Je důležité, kolik bylo nasvíceno, ne jak dlouho svítilo slunce (v letním poledni max. 1 000 až 1 050 W/m^2). Dále se hlídá například množství CO_2 . V praxi jsou rozdělené místnosti pro klíčení, růstu do dospělosti i na dozrávání plodů, jedná se tedy o systémy automatizované uzavřené.


Po konzultaci s odborníkem Miloslavem Součkem [7] se i při dnešní technologii a přesném měření v praxi využívají zkušenosti odborníků, protože lidské smysly jsou stále nejlepšími senzory a čidly.

Z výše provedeného rozboru je patrné, že nejideálnější by byl systém, který dokáže rostlinu vypěstovat od semene do sklizně. Proto je nutné zajistit ideální podmínky pro všechna stadia růstu rostlin s co největší přesností a nejmenším zásahem. [8] Z výše zmíněných systémů a po zvážení jejich problematik byl pro tuto práci zvolen uzavřený systém se substrátem. Závlaha byla vybrána klasickým způsobem. Důvodem volby tohoto systému byla náročnost konstrukce aquaponického systému, jehož princip je uveden na obrázku 1.2, a výše zmíněná délka vyladění celého procesu

Na obrázku 1.3 je ukázán přehled výhod a nevýhod pěstebních systémů.



Obrázek 1.2 – Aquaponie ²

	AQUAPONIE	HYDROPONIE	ZEMEĎELSTVÍ
Nároky na místo	Nízké	Nízké	Vysoké
Nároky na vodní zdroje	Nízké	Střední	Vysoké
Nároky na pracovníky	Nízké	Střední	Vysoké
Udržitelná produkce	Ano	Ne	Ne
Kontaminace vody	Ne	Ano	Ano
Rostliné hormony	Ne	Ano	Ano
Přírodní hnojiva	Ano	Ne	Ne
Pesticidy	Ne	Ano	Ano
Agrochemie	Ne	Ano	Ano

Obrázek 1.3 - Přehled systémů ³

² <https://farmaprovsechny.cz/domu/aquaponie>

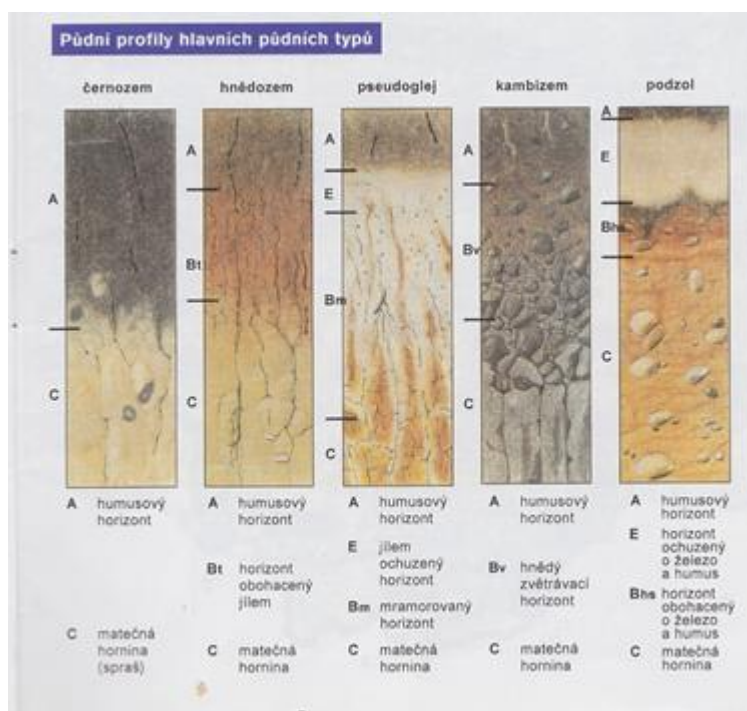
³ <https://www.aaqp.eu/UserFiles/Image/1557955668Rozdily-AQP-HYRDO.png>

1.3 Podmínky pro pěstování

Aby bylo pěstování ideální, je potřeba zajistit vhodné podmínky. Většina rostlin vyžaduje specifickou půdu, sluneční svit, zálivku a jiné. Rozdělení půd podle druhu je ukázáno v přílohách 2.B.

Všechny druhy zeleniny vyžadují pravidelnou závlahu ideálním množstvím vody po celou dobu vegetace. Některé druhy ji vyžadují ráno, aby večer měly suché listy, např. rajská jablka, jiné zase večer. Náročnější na pravidelnou a efektivní závlahu jsou košťálové a listové zeleniny (květák, kapusta, salát apod.). Důvodem je velká listová plocha. Méně náročné jsou kořenové plodiny (cibule, česnek). Ale i krátkodobý nedostatek vody vede ke ztrátě kvality rostliny.

Kompletní rozdělení typů půd v České republice je uvedeno na obrázku v příloze 7.C. Na obrázku 1.4 jsou ukázány základní druhy půd. Každá z nich má své přednosti i zápory.



Obrázek 1.4 - Přehled nejčastějších půd [9]

1.3.1 Náročnosti pěstování rostlin

Vhodnost půdy pro pěstování plodin a jejich střídání je popsáno v [10] a v [11]. Ze zmíněných zdrojů plyne následující. Protože pěstování zeleniny je jedním z nejnáročnějších, je v této práci kladen důraz na automatizované pěstování plodin (zavlažování, regulace teploty, řízení osvětlení a kontrola vlhkosti). Je také nutno vzít v úvahu i druh a výživnost půdy. Každá plodina má své požadavky na vhodnou zeminu. Jedním z mnoha dělení náročnosti pěstování je rozdělení

do třech tratí. Principem je rozvržení místa pěstování (zahrady, pařeniště, skleníku) tak, aby se plodiny měnily a nepěstovaly stále na jednom a tomtéž místě. Půda se tak využívá rovnoměrně a stačí se obnovovat (načerpávat živiny a minerály).

- Zelenina 1. trati: Je skupina zeleniny, která je nejnáročnější na podmínky a hnojení. Jedná se o košťálovou zeleninu (například brokolice), lilkovité (například brambory), brukvovité (hlávkové zelí). Tyto plodiny vyžadují dobře vyhnojenou půdu (například organickými hnojivy, jako jsou kompost či statkové hnojení), případně přihnojování hnojivy průmyslovými.
- Zelenina 2. trati: Má vysoké nároky na obsah humusu v půdě, nesnáší přímě hnojení. Jedná se o salátové zeleniny, rané košťáloviny (například kedlubna), kořenovou zeleninu (například petržel), Pěstujeme ji následující rok na místě po skupině 1. trati nebo rok po na hnojení půdy organickými hnojivy. Druhá trať zeleniny je náročná na zavlažování. V poslední řadě je důležité časté kypření půdy, aby byla zachována prodyšnost a zbavování plevele.
- Zelenina 3. trati: Rostliny, které nesnášejí statková hnojení, vyžadují méně dusíku v půdě. Jedná se o luskoviny (například fazol), méně náročná listová zelenina (například špenát), cibule, česnek apod. Tento typ rostlin je ideální pěstovat po dvou letech od nahnojení půdy.

Dále se půda musí chránit před různými druhy škůdců, před plísněmi (ochrana jak ideálními podmínkami, tak různými postřiky). Tato práce bude v praktické části pracovat s ideálně připravenou půdou pro dané rostliny. Na obrázku 1.5 je ukázán princip střídání plodin.

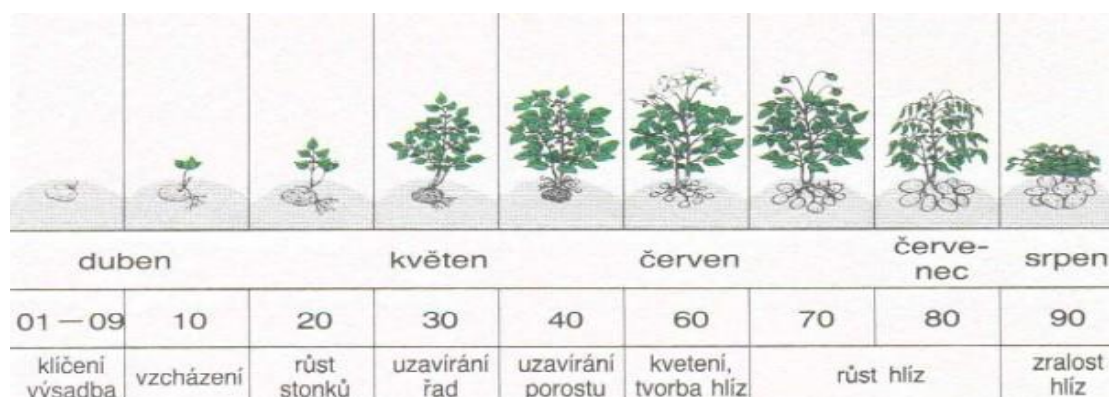


Obrázek 1.5 - Zobrazení tratí⁴

Pěstování na polích a zahradách je závislé na počasí, podnebí a dalších vlivech, které nejdou nijak hlídat či regulovat. Proto se začaly stavět a využívat automatizované systémy jak otevřené, tak i uzavřené, které budou popsány v následujících kapitolách.

1.3.2 Růstový cyklus rostlin

Při pěstování rostlin je velice důležité uvědomit si stádia jejího růstu. Pro představu (viz. Obrázek 1.6) zjednodušíme (zobecníme) jednotlivé fáze života rostliny.



Obrázek 1.6 - Životní cyklus lilku brambory⁵

⁴ https://priroda-zahrada.cz/wp-content/uploads/2014/03/stridani-plodin-obrazek-z-knihy-milan-bruchter-zakladame-udrzujeme-ekozahradu_467_446-300x181.png

⁵ https://web2.mendelu.cz/af_221_multitext/hnojeni_plodin/images/okopaniny/brambory/v_faze_brambory.jpg

Každá rostlina má několik růstových fází. V každé fázi potřebuje jiné podmínky, které je třeba zajistit. Nelze po celý cyklus provádět stejnou zálivku nebo mít stejnou vlhkost. Je třeba si uvědomit, že v přírodě se s jejich růstem mění měsíce a mnohdy i roční období, jak je patrné z obrázku 1.6. Pro úplnost si přiblížíme některé důležité fáze růstu:

- První z fází je zasazení a následné klíčení (semene, hlízy) – nejnáročnější fáze co se týče hlídání ideálních podmínek.
- Růst rostliny až do dosažení dospělosti je zásadní fáze, vyžaduje pravidelné závlahy a dostatek tepla a světla.
- Po dosažení dospělosti je fáze, kdy rostliny (většina) kvetou. Zálivka je důležitá, ale nesmí být vydatná, aby neponičila květy.
- Poslední fází je plození. Některé rostliny vyžadují vydatnější zálivku v této fázi, jiné zas menší.

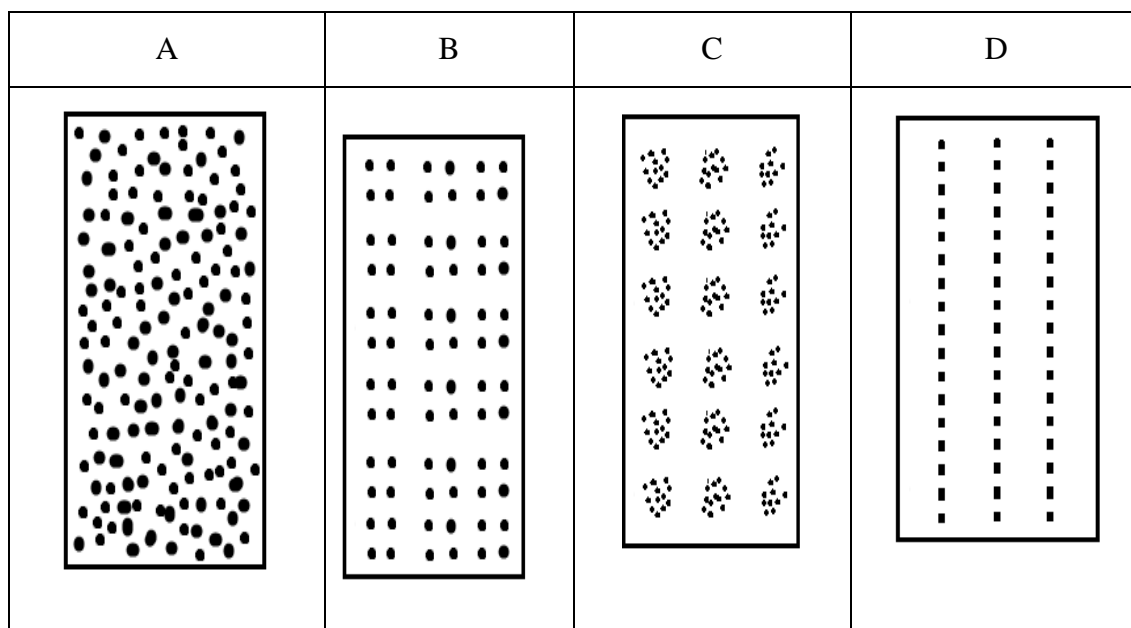
Popis je velmi zjednodušený, jelikož cílem práce je návrh a sestavení systému pro pěstování plodin, a nikoliv analýza růstu plodin. Tato práce umožní uživateli nastavit si potřebné parametry. Předpokládáme, že systémové požadavky bude nastavovat člověk se zkušenostmi v pěstivatelství.

1.3.3 Pěstování zeleniny – výsev

Jak se můžete dočíst v [12], postup výsevu nebo výsadby je následující. Zeleninu lze pěstovat přímým výsevem nebo z předpěstované sadby. Přímý výsev se využívá u rostlin, které nejsou náchylné na pokles teploty a nevyžadují vysoké teploty na naklíčení (některé rostliny klíčí při 4 °C), a u rostlin, u kterých není požadavek na rychlé plození. Pro rostliny náročné na stabilní a vyšší teploty při klíčení si před nasazením do venkovního záhonu předpěstujeme sadbu. Výhodou je rychlejší plození, ale je náročnější na realizaci.

Setí lze provádět několika způsoby. Zde na obrázku 1.7 jsou ukázky těch nejpoužívanějších v běžné praxi. Na obrázku A je ukázka setí na široko. Takto vyséváme rostliny s krátkou vegetační dobou, například: ředkvičky, kopr, cibuli a podobné. Tento způsob je však náročný na údržbu od plevelů. Na obrázku B a C je výsev do hnízd, který je rozdělen na dva druhy. První typ, jenž je zobrazen na obrázku B, je vhodný pro pěstování okurek, kukuřice, rajčat, paprik a dalších. Druhý typ hnízd, který můžete vidět na obrázku C, se hodí pro pěstování například řepy

nebo fazolí. Na obrázku D je zobrazen způsob vysazování do řádků. Tento princip je vhodný zejména pro pěstování cibule, póru, česneku a jiných.



Obrázek 1.7 - A) Výsev na široko B) a C) Výsev do hnízd, který je rozdělen na dva druhy. D) vysazování do řádků.

Sadba z předpěstovaných sazenic je náročnější. Rostlinky se nejprve musí zasít samostatně do jednotlivých květináčů. Ty by měly být dostatečně hluboké. Sazenice se musí pravidelně a přesně zalévat a udržovat v dostatečné teplotě ideální pro naklíčení. Až poté se přesadí na finální místo, proto jsou výhodnější automatizovaná stanoviště, kde je možné řídit celý proces (klíčení, růst, plození) bez nutnosti přesazování na vhodná místa na zahradě, ve sklenících, fóliovnících nebo pařeništích.

1.3.4 Stanoviště

Stanovištěm je myšleno místo, kam jsou umístěny pěstované rostliny. Jelikož každá rostlina vyžaduje svůj prostor pro pěstování, je důležité správně rozvrhnout, kam bude rostlina umístěna. Stanoviště lze dělit podle podmínek, které na nich panují, podle množství světla, podle teploty a podle vzdušné vlhkosti. [13]

Podle množství světla jsou stanoviště dělena na stanoviště s přímým svitem, polostínem a stinná. Stanoviště s přímým svitem jsou ta, na která svítí slunce celý den nebo velkou část dne přímo, například okna na východ nebo západ. Dochází zde však k rychlejšímu vysychání půdy a může dojít i ke spálení listů pěstovaných rostlin. Polostinným stanovištěm míníme místo, kam sluneční záření nedopadá přímo, ale například stíněně, korunou stromu, žaluziemi, roletami

nebo záclonami případně speciálními stínicími fóliemi. Procentuálně odpovídá 50–70 % přímého záření. Stinným stanovištěm je myšleno místo, kam slunce nedopadá přímo ani stíněně. Dopadá sem jen 25 % přímého záření. Posledním je stanoviště s nedostatečným množstvím denního světla. To jsou místa, která se musí uměle osvětlovat. Tímto tématem se tato práce bude zabírat v samostatné kapitole.

Z hlediska teploty potřebné k pěstování je možné dělit rostliny podle podnebných (klimatických) pásů. Ty základní jsou tropický, subtropický podnebný pás, podnebný pás mírných šířek a polární podnebný pás. Rozdělení podnebných pásů je uvedeno v příloze 4.D.

V každém pásu rostou různé druhy rostlin přizpůsobených daným podmínkám. Proto jsou autonomní systémy výhodné. Díky těmto systémům můžeme pěstovat plodiny bez omezení podnebním.

Další podmínkou je relativní vzdušná vlhkost. Většina pěstovaných rostlin potřebuje relativní vzdušnou vlhkost alespoň 40 %, běžná pokojová se pohybuje okolo 15 %, což není dostatečné.

2 NÁVRH A VÝBĚR AUTOMATIZOVANÉHO REGULOVANÉHO SYSTÉMU PĚSTOVÁNÍ ROSTLIN

Po prostudování systému pro pěstování rostlin vyplývá, že pro efektivní růst rostlin je nutné zajistit po dobu celého růstu dostatek vláhy, správnou vlhkost vzduchu, dostatek světla a tepla a v neposlední řadě i cirkulaci vzduchu uvnitř systému a výměnu za čerstvý. Jak bylo výše zmíněno, hlavním důvodem volby tohoto systému byla míra nákladů na vybudování funkčního aquaponického systému a dlouhá doba pro vytvoření systému vyváženého. Jedním z hlavních cílů bylo vytvořit co nejdostupnější systém, ve kterém by bylo možné vypěstovat co nejvíce druhů plodin. Z toho důvodu byla zvolena uzavřená izolovaná soustava a v ní umístěna topná tělesa a světelná jednotka s ventilátorem pro vnitřní běh vzduchu. Měření teploty je zajištěno na několika místech, aby byla teplota rovnoměrná v celé soustavě.

Návrh a realizace systému probíhaly v několika fázích. Prvním krokem byl výběr principu systému a zajištění vhodné izolované soustavy. Jelikož se tato práce zabývá automatizovaným pěstováním rostlin, nikoliv zkoumáním tepelných vlastností různých materiálů, byl použit dvoukomorový izolovaný box. První myšlenka byla sestavit systém zcela nezávislý na rozvodné elektrické síti s využitím baterie a solární energie, ale toto řešení se ukázalo energeticky neudržitelné z důvodu spotřeby topných těles a světelných zdrojů, proto bylo upuštěno od využití baterie. Na obrázku 2.1 je ukázán příklad plně automatizovaného hydroponického systému.



Obrázek 2.1 - Ukázka hydroponického pěstování⁶

⁶ <https://www.volty.cz/2020/01/22/diky-hi-tech-technologieim-pestuji-zdravou-zeleninu-bez-pesticidu/>

Na obrázku 2.2 je externí pohled na uzavřený automatizovaný systém pěstování plodin. Vybavení stropů a stěn průsvitnou konstrukcí vede při vhodném počasí k energetické úspoře.



Obrázek 2.2 - Ukázka pěstebních hal⁷

2.1 Senzory a regulátory využívané při pěstování plodin

Při pěstování rostlin je velice důležité měření teploty, vzdušné vlhkosti, vlhkosti půdy a slunečního záření. Dalším důležitým úkolem je regulace a udržení těchto hodnot, aby byl růst optimální a efektivní. Následující část práce čerpá z [14].

2.1.1 Měření vzdušné vlhkosti

Základní vlastností vzduchu je vlhkost. Rozeznáváme relativní a absolutní vlhkost. Absolutní vlhkost (1) udává, kolik je gramů vody v m³ vzduchu. Relativní vlhkost vzduchu (2) nám říká, kolik % vody je v něm obsaženo.

$$a = \frac{m_v}{V} = \rho_v \text{ [g/m}^3\text{]} \quad (1)$$

m_v je hmotnost vodních par, V je objem vzduchu

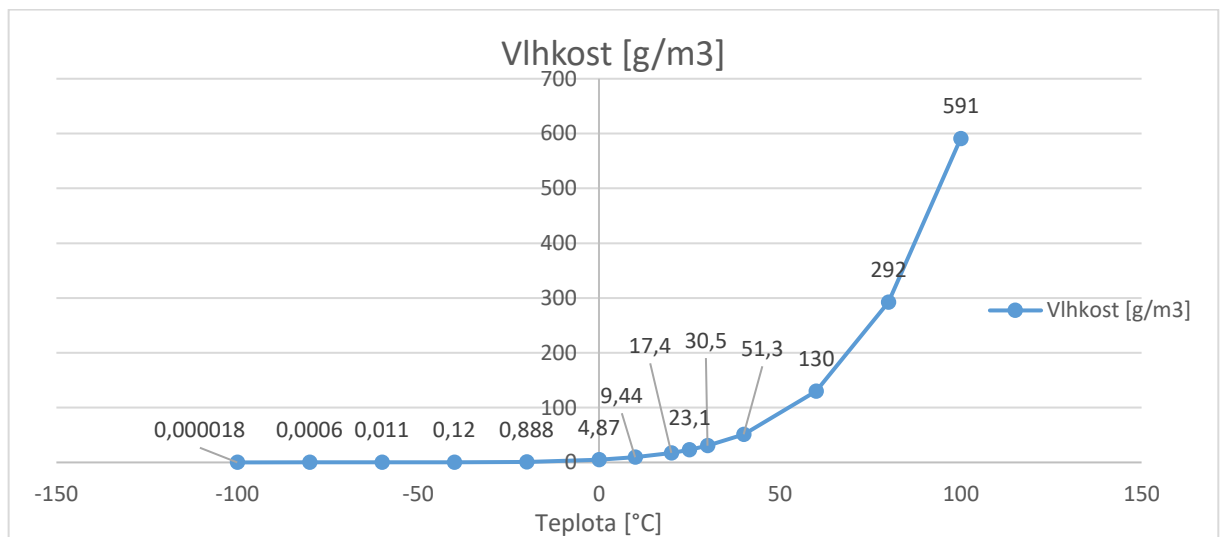
⁷ <https://www.volty.cz/2020/01/22/diky-hi-tech-technologieim-pestuji-zdravou-zeleninu-bez-pesticidu/>

$$\varphi = \frac{a}{a_{max}} * 100 [\%] \quad (2)$$

a je absolutní vlhkost, a_{max} je maximální dosažitelná vlhkost.

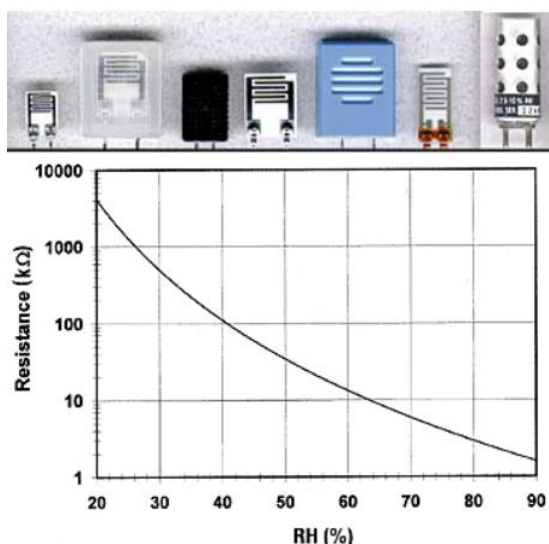
Důležitým pojmem je rosný bod. To je teplota, při které dosáhne vzduch relativní vlhkosti na 100 %.

Relativní vlhkost zjistíme buď výpočtem z tabulek nebo pomocí Mollierova grafu. Moderní přístroje už mají automatické vypočítávání hodnot a vlhkost odečteme přímo ze zobrazovače přístroje. Výhodou psychrometrů je jejich jednoduchost, přesnost a také nemají složité kalibrace. Nevýhodou je, že se snižující se teplotou klesá citlivost, závislost měření na atmosférickém tlaku je patrná z níže uvedeného grafu, který je uveden na obrázku 2.3. Hodnoty použité do grafu čerpány z [15].



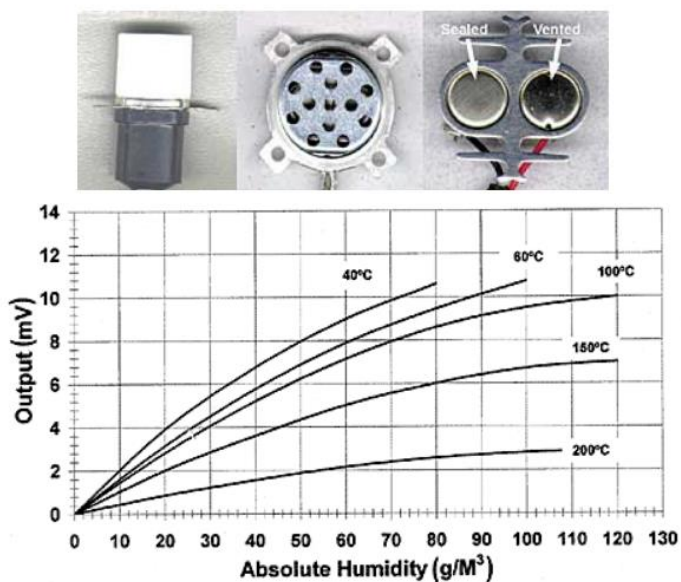
Obrázek 2.3 - Absolutní vlhkost v závislosti na teplotě

Odporové senzory vlhkosti dělíme dle způsobu měření na přímé a nepřímé. Přímé měření využíváme při měření sypkých a pevných látek, kdy měříme pomocí elektrod vodivosti daných látek (např. obilí, dřevo). Nepřímým měřením převádíme měření vlhkosti na měření teplotních rozdílů nebo polohy. Změna vlhkosti je převedena na změnu odporového článku. Podmínkou je vratnost daného děje. [16] Příklady těchto senzorů a příklad převodní křivky mezi odporem a relativní vlhkostí jsou na obrázku 2.4.



Obrázek 2.4 – Závislost rezistence na relativní vlhkosti ⁸

Vlhkoměry s vyhřívanými termistory využívají závislosti tepelné vzduchové vodivosti na vlhkosti vzduchu. V praxi se používají dva termistory, první je hermeticky uzavřený v suchém dusíku a druhý není uzavřený. Oba jsou v sériovém zapojení připojeny k měřicímu můstku, ve kterém jsou rezistory a nulovací trimer. Senzor měří absolutní vlhkost ovzduší. Tento senzor pracuje i při vysokých teplotách až 200°C. [17]. Příklady těchto senzorů a příklady převodních křivek mezi napětím a absolutní vlhkostí jsou na obrázku 2.5.

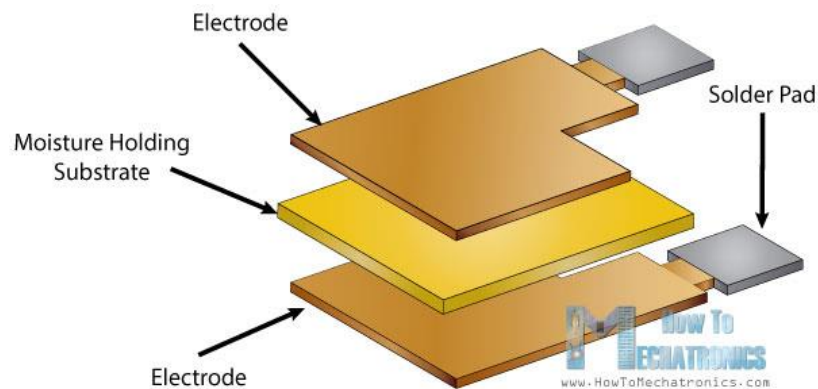


Obrázek 2.5 - Závislost výstupního napětí na absolutní vlhkosti ⁹

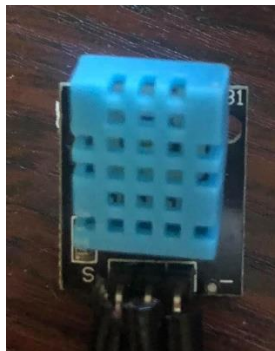
⁸ http://img.hw.cz/v/Vlhkomery/odporove_graf.gif

⁹ http://img.hw.cz/v/Vlhkomery/thermal_graf.gif

Pro implementaci do výsledného systému byl vybrán senzor DHT 11 [18], jelikož snímá za pomoci dvou elektrod vlhkost prostředí mezi elektrodami. Se změnou vlhkosti se mění vodivost substrátu (odpor) mezi elektrodami. Tuto změnu změří a přepošle do mikroprocesoru. [19] Princip senzoru DHT 11 je na obrázku 2.6.



Obrázek 2.6 - Princip vlhkoměru DHT 11



Obrázek 2.7 – Senzor na měření vlhkosti DHT 11

Měřicí rozsah tohoto senzoru je v rozmezí od 20 do 90 % s přesností ± 4 %. Ovšem přesnější je senzor DHT 22 [20]. Tento modul měří relativní vlhkost od 0 – 100 % s přesností ± 2 %. Pro naše účely dostačuje senzor měřící relativní vlhkost do 90 %, proto je použit DHT11, který je na obrázku 2.7. Připojení je velice jednoduché, využity jsou pouze 3 vodiče. Napájení ± 5 V a datový vodič.

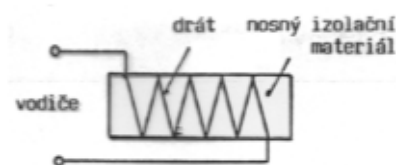
2.2 Měření teploty

Jak se lze dočíst v [18], dalším důležitým faktorem při pěstování plodin je teplota. Základní jednotkou SI je kelvin [K] a odvozenou jednotkou jsou stupně Celsia ($^{\circ}\text{C}$). Nejnižší jednotkou této stupnice je 0 K (absolutní nula) ve stupních Celsia to je $-273,15^{\circ}\text{C}$.

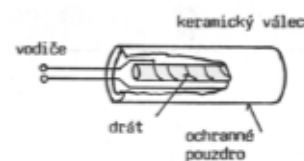
Měření teploty se dělí podle několika aspektů (styku s prostředím, transformace výsledného signálu a fyzikálního principu). V této práci jsou senzory rozděleny podle fyzikálních principů. Odporové kovové senzory pracují na principu měření vlastního odporu kovu (například platiny). Jak je definováno v [21], základními požadavky na materiál teplotních senzorů jsou malá hystereze, malá změna teplotního součinitele. Používají se nejčastěji čisté kovy, například platina, měď, zlato, stříbro nebo jejich slitiny. Platina se používá jako etalonový teploměr (-269,34 °C až 630,74 °C), dále nikl (-60 °C až 150 °C), zlato lze použít do teplot až 400 °C. Tyto senzory mají výhodu ve vysokém rozsahu měřených teplot, lze je budít většími proudy a mají dobrou linearitu. Nevýhodou je malý teplotní součinitel (malá citlivost) a pomalá reakce na změnu teploty. [22]. Principy realizace odporových senzorů jsou ukázány na obrázku 2.8.

Realizace odporových senzorů

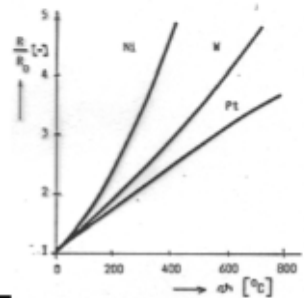
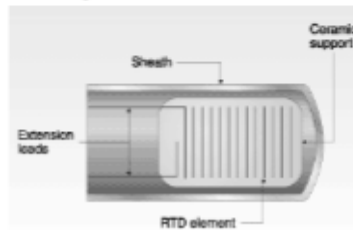
• spirálové vinutí



• vinutí v keramickém pouzdře



• tenký film



Obrázek 2.8 - Odporové teploměry. ¹⁰

Odporové polovodičové senzory dále rozdělujeme na monokrystalické nebo bez PN přechodu (s jedním a více) a dále na polykystalické termistory NTC či PTC. Podle informací uvedených zde [21] víme, že odporové polovodičové senzory (termistory) pracují na principu závislosti elektrického odporu materiálu na teplotě. Výhodou těchto termistorů je velká citlivost, to znamená i velký výstupní signál. Nevýhodou těchto čidel je horší stabilita, nelineární průběh a

¹⁰ https://automatizace.hw.cz/files/styles/clanek-300/public/story_automat/10541/pnvsthremistor.jpg

malý rozsah měřených teplot. NTC termistor (též také negistor) má základní měřicí rozsah od $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $150\text{ }^{\circ}\text{C}$, při použití jiných technologií výroby, například práškové, se horní hranice posune až na $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$, nebo při využití tenkovrstvé technologie se bude rozsah pohybovat od $-170\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $450\text{ }^{\circ}\text{C}$. Průběh NTC termistoru je zobrazen v příloze 5.E. Využívají se především v klimatizačních zařízeních při hlídání teplot okolí nebo jako venkovní senzory nebo při měření chladicí kapaliny v automobilech, toto je popsáno v [23]

PTC Termistor (též také pozistor) má rozsah od $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $180\text{ }^{\circ}\text{C}$, při zvyšující se teplotě vzrůstá jeho odpor. Protože jejich charakteristika je zlomová, používají se jako dvoustavové senzory. Vlhkostní senzor DHT 11 má v sobě i teploměr, který pracuje na technologii NPC. Průběh a konstrukce jsou zobrazeny v příloze 6.F.

DS18B20 využívající technologii NTC. Teplotní rozsah těchto čidel je -55 do $125\text{ }^{\circ}\text{C}$ s $\pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ přesností. Tento rozsah a přesnost je pro použití do automatického pěstitelského zařízení více než dostačující. Toto teplotní čidlo lze pořídit ve vodě odolném pouzdru, viz obrázek 2.9 nebo v klasickém pouzdře TO-92, což je vhodné pro umístění např. do desky plošného spoje jako pojistka proti přehřátí zařízení. [24]



Obrázek 2.9 - Teplotní čidlo DS18B20 ¹¹

Tento senzor pracuje s napájením $\pm 5\text{ V}$, kde je potřeba propojit napájení s datovým vodičem přes odpor $4\text{k}7\Omega$. Lze zapojit více senzorů na jednu sběrnici. Díky tomu na řídicí desce zabere pouze 1 digitální pin. Tento senzor byl zvolen pro svoji jednoduchou montáž, voděodolnost, vyhovující parametry a cenovou dostupnost. Senzor PT1000 má lepší parametry a teplotní rozsah, ale jeho pořizovací cena je vysoká a potenciál senzoru by nebyl využit.

¹¹ <https://arduino-shop.cz/photos/produkty/f/2/2029.jpg?m=1508313854>

2.3 Měření vlhkosti půdy

Měření vlhkosti se v automatizovaných pěstitelských zařízeních používá zřídka. Při konzultaci s výše zmíněným odborníkem a exkurzi v jejich zařízení v Suchohrdlech u Miroslavi jsme zjistili, že měření půdní vlhkosti nevyužívají. Měření vlhkosti využívá hlavně Český hydrometeorologický ústav pro dlouhodobé monitorování vody obsažené v půdě na různých místech. Tato práce bude využívat senzor pracující na principu měření elektrických vlastností půdy, aby nedošlo k vyschnutí půdy rostlin.

Dále jsou popsány dvě metody měření půdní vlhkosti. První je kapacitní metoda měření vlhkosti. V principu jde o měření kapacity mezi dvěma elektrodami, kde výsledná kapacita závisí na vlhkosti půdy. [25]

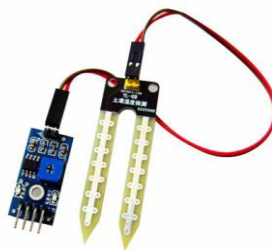
Zástupcem kapacitního měření vlhkosti půdy je analogový snímač Capacitive Soil Moisture Sensor V1.2, který je ukázán na obrázku 2.10.



Obrázek 2.10 - Kapacitní snímač¹²

Druhá metoda je odporová, je založena na zvyšování vodivosti při stoupající vlhkosti půdy. [25] Půdní vlhkoměr eses je velice jednoduché čidlo s analogovým výstupem pro přesné měření vlhkosti půdy a digitální výstup, který zná pouze stavy 0 a 1 vhodné pro přímé spínání ovládacích prvků. V našem případě využijeme analogový výstup a naměřenou hodnotu budeme dále vyhodnocovat. Napájení je 5 V, což je běžné v oboru kitů Arduino. V navrženém systému budou využity 2 tyto senzory pro detekci vyschnutí a přelití. Senzor je ukázán na obrázku 2.11.

¹² <https://arduino-shop.cz/photos/produkty/f/4/4875.jpg?m=1531824539>

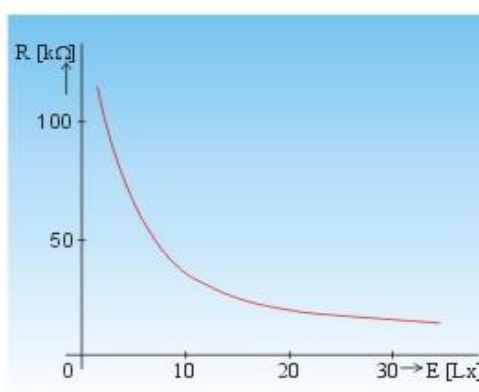


Obrázek 2.11 - Eses půdní vlhkoměr¹³

2.4 Měření světelného toku a světelné zdroje

Jak je definováno v [26], světelný tok je veličina udávající, kolik energie se vyzáří za jednu sekundu. Jednotkou je lumen [lm]. Jednotka je odvozená od základní jednotky SI kandely [cd]. Označuje svítivost zdroje světla. Další jednou je lux [lx]. Udává se v g/m^3 . [27] V tomto systému nebude luxmetr implementován, bude použit pouze pro kalibraci osvětlení systému, zdali dané světlo splňuje požadavky.

Fotorezistor je jednobran, který nemá PN přechod, využívá vnitřní fotoelektrický jev, díky kterému je závislý odpor na osvětlení, pohlcované světlo vyvolává změnu elektrické vodivosti. [28] Vztah mezi odporem a osvětlením není lineární. Výhodou fotorezistorů je například nízká cena a využití jak ve střídavém, tak stejnosměrném obvodu. Nevýhodou je dlouhá odezva při změně osvětlení nebo jeho teplotní závislost. Graf závislosti foto odporu na osvětlení je uvedena na obrázku 2.12.



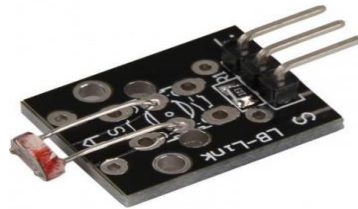
Obrázek 2.12 - VA. Charakteristika. Závislost odporu na osvětlení¹⁴

¹³ <https://arduino-shop.cz/photos/produkty/f/1/1399.jpg?m=1502871395>

¹⁴ https://eluc.kr-olomoucky.cz/uploads/images/18194/content_92-1.png

Detektorů viditelného záření je mnoho, pro účely práce dostačují senzory typu on-off. Senzory lze využít analogové (výstupem je spojitý signál v amplitudě i čase) nebo digitální (výstupem je log. 0 nebo log. 1) či jejich kombinaci, která umožňuje vybrat, zda chceme přijímat data analogová nebo digitální.

Fotorezistor KY-018, který je na obrázku 2.13, má analogový výstup. Tento senzor bude použit pro indikaci, zda osvětlení svítí, či nikoliv a slouží pouze ke kontrole. Senzor byl vybrán pro svou jednoduchost a možnosti dalšího využití analogové informace v případě rozšiřování systému. U digitálních senzorů probíhá komunikace pomocí protokolu, tak se pozná, jestli komunikuje, či nikoliv



Obrázek 2.13 - Senzor KY-018 ¹⁵.

2.5 Regulátory

Regulátory se používají na regulaci systému. Kvalita regulátoru určuje kvalitu regulace, pomocí rozdílu žádané a regulované veličiny nastavuje akční veličinu tak, aby byla výsledná regulace optimální. [29] Zesílení lze nastavit pomocí záporné zpětné vazby. [30], [31]

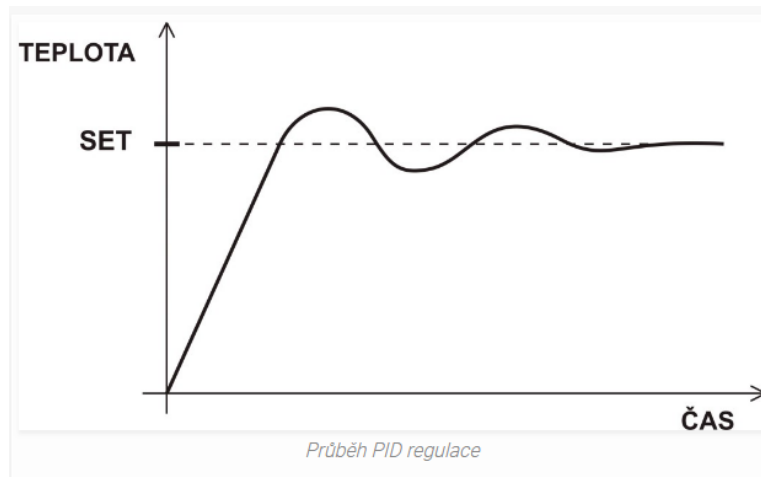
Základní typy regulátorů

1. P – regulátor je základní nejjednodušší regulátor. Jak je patrné z obrázku v příloze 7.G, jedná se o stejnosměrný invertující zesilovač. Zesiluje regulační odchylku.
2. I – regulátor zcela odstraní regulační odchylku. Soustava se za určitý čas ustálí na výsledné hodnotě. Je vhodný pro soustavy s krátkodobými odchylkami.
3. D – regulátor, samotné zapojení není možné z důvodů parazitních kapacit.

¹⁵ <http://sensorkit.en.joy-it.net/images/thumb/1/17/ky-018.jpg/358px-ky-018.jpg>

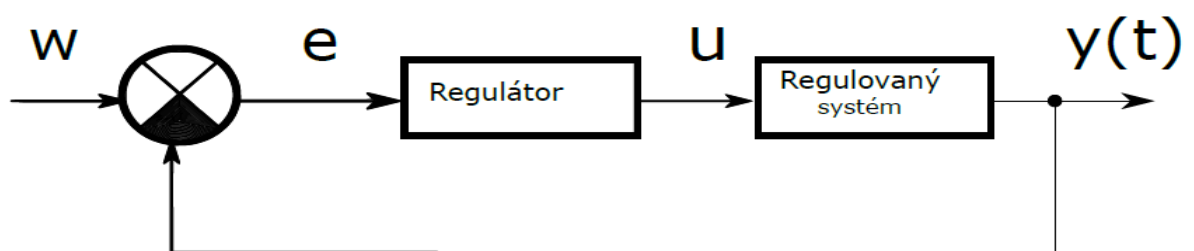
Regulátory v základním zapojení se v praxi používají jen výjimečně. Používané kombinace regulátorů jsou uvedeny v příloze 7.G.

Obrázku 2.14 ukazuje příklad průběhu na PID regulátoru, který je popsán například v [32]. Z obrázku lze vidět, že se výstup na požadované hodnotě neustálí skokově, ale k ustálení dojde se zpožděním.



Obrázek 2.14 - PID regulace ¹⁶

Každý uzavřený systém je potřeba řídit a regulovat (vytápění, větrání, závlahu, ...). Proto při návrhu je důležité znát princip regulátorů a regulace. Základní blokové schéma a popis regulované soustavy je ukázán na obrázku 2.15, kde je referenční (požadovaná) veličina w , akční veličina, což je výstupní veličina z regulátoru u , výstupní veličina, a regulační odchylka e .

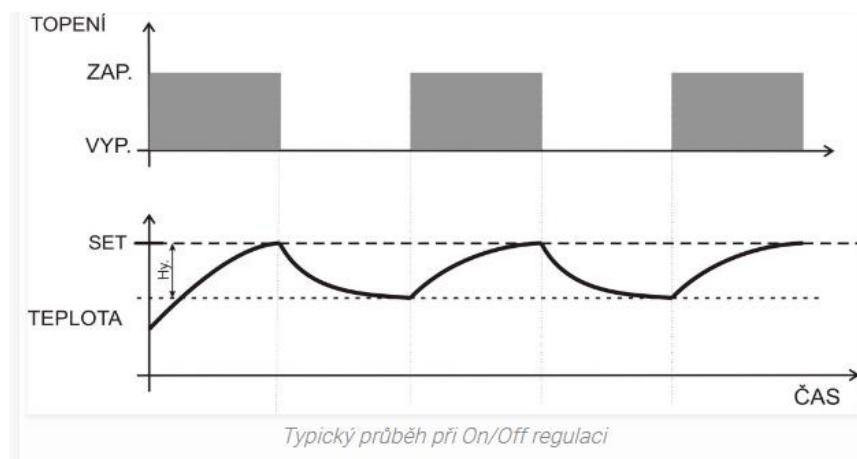


Obrázek 2.15 - Regulovaná soustava [vlastní schéma]

¹⁶ <https://www.dixell.cz/wp-content/uploads/GRAF2-1024x559.jpg>

2.5.1 Regulace teploty, vlhkosti a jasu

Při regulaci teploty a vlhkosti se nesmí zapomenout vzít v úvahu hystereze. Soustava na změnu nereaguje okamžitě, jak bylo popsáno u principu PID regulace v předchozí kapitole. Regulace metodou relé ve zpětné vazbě je ukázána na obrázku 2.16. Z průběhu je patrná setrvačnost soustavy, kdy soustava na ohřátí na požadovanou teplotu potřebuje čas a po vypnutí topení teplota neklesá skokově



Obrázek 2.16 - Regulace teploty ¹⁷

Výběr topného tělesa soustavy byl velice náročný krok. Topné těleso nesmělo zatěžovat napájecí obvod systému, muselo být vodotěsné, ale muselo být dostatečně výkonné, aby dokázalo udržet stále tepelné podmínky po celý rok.

Topné těleso s poniklovaným povrchem a termostatickou hlavicí (typ G a výkonem 3 - 4.5 kW), by zvládlo lehce vytápet celý systém. Izolací vyhovuje také, jelikož je určeno pro ohřev stojaté i proudící vody, dokonce i nemrznoucích směsí. Ale napájení vyžaduje 7 žilového přívodního kabelu a na to není náš napájecí obvod zkonstruován. [33]

Stejně topné těleso, jen odlišný model (typ M), jak je patrné z [34]. na 1x230V, vybavené termostatem, by bylo vhodné. Ale konstrukční požadavky to nesplnilo. Topné těleso je sice výkonné, až 3 kW, ale na velice malé ploše, to by znamenalo, že v soustavě by vznikalo jedno centrální ohnisko o vysokých teplotách. Teplo by se muselo rozvádět buď pomocí ventilátorů nebo teplovodivými materiály. To by však zapříčinilo proměnu v pec, nikoliv automatizovaný

¹⁷ <https://www.dixell.cz/wp-content/uploads/GRAF3-1024x509.jpg>

system pro pěstování rostlin. Anebo by výkon byl tak malý, že než by se rozešel po požadovaném prostoru, nesplnil by požadavek na rovnoměrnou teplotu. Ukázka topného tělesa na obrázku 2.17.



Obrázek 2.17- Topné těleso s poniklovaným povrchem a termostatickou hlavicí 3f¹⁸

RS-T50 je odtokový ohříváč kondenzátu. Toto topné těleso je stavěno na výhřev odpadních cest a je konstruováno s vysokou odolností nejen proti vodě, ale i organickým a anorganickým sloučeninám. Výrobce též zaručuje vysoké izolační vlastnosti. Izolační vrstva je tvořena tak, aby byla kompatibilní s potravinami a aby nedošlo k infekci a znehodnocení úrody uvnitř našeho systému pro pěstování rostlin. Délku má 5 m, z toho 1,6 m je studený přívod, který je označen. Výkon topného tělesa je 264.5 W. Z toho plyne, že výkon odpovídá 52.90 W/m pro 230 V střídavého napětí. Vysoká odolnost je zaručena i pracovní teplotou -100 až +220 °C. Tento topný prvek je ukázán na obrázku 2.18. [35]



Obrázek 2.18 - Topné těleso RS-T50¹⁹

Díky těmto všem vlastnostem bylo zvoleno právě toto topné těleso. Jeho další výhodou je, že se zahřívá na délce 3.4 metru, to umožňuje rozptýlení tepelného ohniska.

¹⁸ https://www.regulus.cz/img/_/product.319/11787_6.jpg

¹⁹ https://www.schiessl-kaelte.com/Lieferanten/1_Euro_SCHIESSL/Heizkabel/image-thumb__9854__lightbox-img/Schiessl%20Ablaufheizung.png

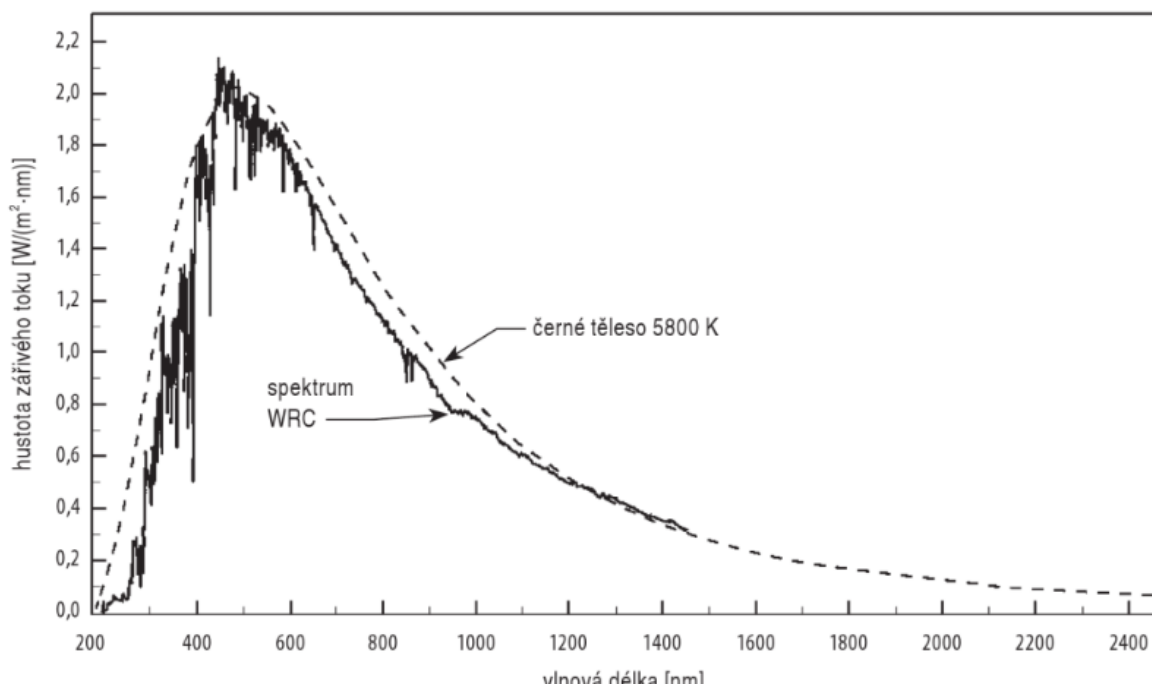
CSC2 je topný kabel pro odvodňovací potrubí, podle informací z [36] je též odolný vůči vlivům a je izolovaný silikonovou gumou. Maximální teplota je 200 °C a minimální povolená je -70 °C. Délka je 2 m, z toho 1 m je studený přívod. V tomto provedení činí celkový výkon 80 W při střídavém napětí 230 V. Toto topné těleso je použito jako ochrana vodní nádrže proti zamrznutí a přehřátí, aby závlaha byla prováděna přiměřeně ohřátou vodou a nedošlo k přílišnému ochlazení celé soustavy, případnému poškození pěstovaných rostlin mrazivou vodou. Topný kabel CSC2 je ukázán na obrázku 2.19.



Obrázek 2.19 - CSC2 topný kabel

Výběr světelného zdroje a jeho regulace je pro tuto práci celkem zásadním bodem. Jelikož se jedná o osvětlení uzavřené soustavy bez přístupu vnějšího světelného (slunečního) záření, je třeba ho co nejlépe nahradit. Pro porovnání si uvedeme běžně používané světelné zdroje, které jsme uvažovali pro zařazení do této práce, abychom splnili světelné požadavky rostlin.

Sluneční záření si lze přiblížit jako záření dokonale černého tělesa, jehož povrch dosahuje teplot okolo 5800 K. Sluneční záření je elektromagnetické vlnění v rozsahu od několika nanometrů (RTG, UV) až do několika metrů (rádiové). Nás zajímá energetická část záření, která se nachází v oblasti 0.2 až 3.0 μm vlnové délky. V této oblasti lze rozlišit několik druhů UV záření. Ale v našem případě to pro zjednodušení nebudeme dále rozdělovat, protože tímto se naše práce nezabývá. Energie UVC a UVB (tzv. tvrdé záření) záření je schopno rozkládat nebo narušovat bílkoviny nebo jiné důležité organické sloučeniny a způsobovat vážné následky na metabolismu zasaženého organismu. Toto záření je však pohlcováno atmosférou (ozónovou vrstvou). Na zemský povrch dopadá jen UVA záření, jak je ukázáno na grafu na obrázku 2.20. [37]



Obrázek 2.20 - Spektrální charakteristika zářivého toku sluneční energie na hranicích atmosféry země [37]

Porovnání různých světelných zdrojů, které mohou být využity jako zdroj záření pro navrhovaný systém, je ukázáno v tabulce 2.1.

Klasická žárovka		Ekvivalentní světelný zdroj			
Příkon	Světelný tok	Halogenová žárovka	Lineární zářivka	Kompaktní zářivka	LED žárovka
15 W	180–200 lm	12 W	4 W	7 W	3–4 W
25 W	200–250 lm	20 W	6 W	9 W	4–6 W
40 W	330–520 lm	30 W	8–10 W	11–12 W	5–8 W
60 W	700–800 lm	45 W	12–13 W	15–18 W	9–12 W
75 W	900–1000 lm	60 W	14–16 W	20–25 W	12–16 W
100 W	1300–1700 lm	75 W	18–30 W	25–32 W	16–20 W
150 W	2000–2200 lm	115 W	30 W		
200 W	2500–3000 lm	150 W	36 W		

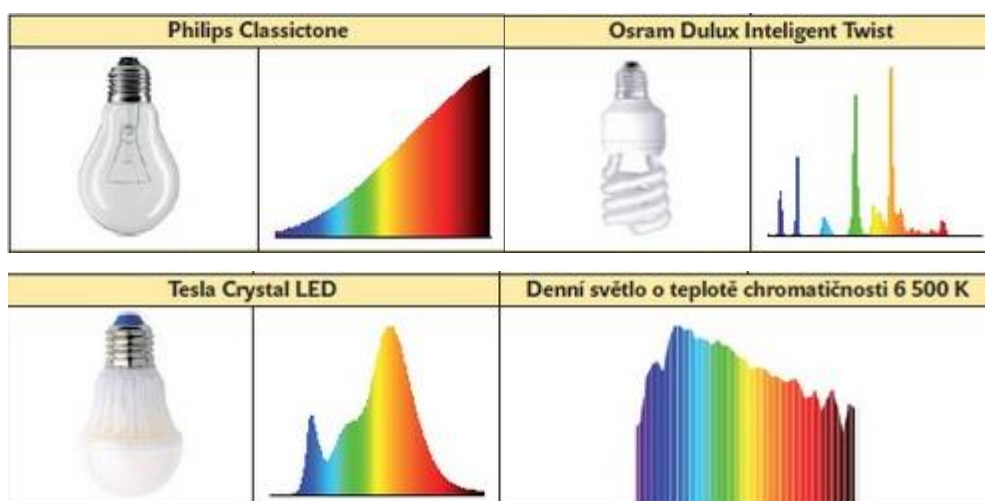
Žárovka je dnes už spíše minulost v osvětlení, protože její výkonové ztráty byly příliš velké a stejně tak vyzářené teplo, které je vedlejším nežádoucím produktem. Napájení je 230 V a výkon 15 – 200 W, záleží na provedení. Pro naši aplikaci byla žárovka zprvu celkem ideálním světelným prvkem. Světelný zdroj by byl dostatečně silný a zbytkové teplo by napomohlo snadnější udržitelnosti tepelných podmínek uvnitř uzavřené soustavy.

UV LED pásek je úsporné řešení osvětlení, napájení bývá ± 12 V s výkonem 4,7 W/m a vlnovou délkou 395-405. LED pásek (LED Solution) je ukázán na 2.21.



Obrázek 2.21 - LED pásek UV²⁰

Na obrázku 2.22 je rozdělení barevných spekter základních dostupných světelných zdrojů, jejich rozšíření je umístěno v příloze 8.H.

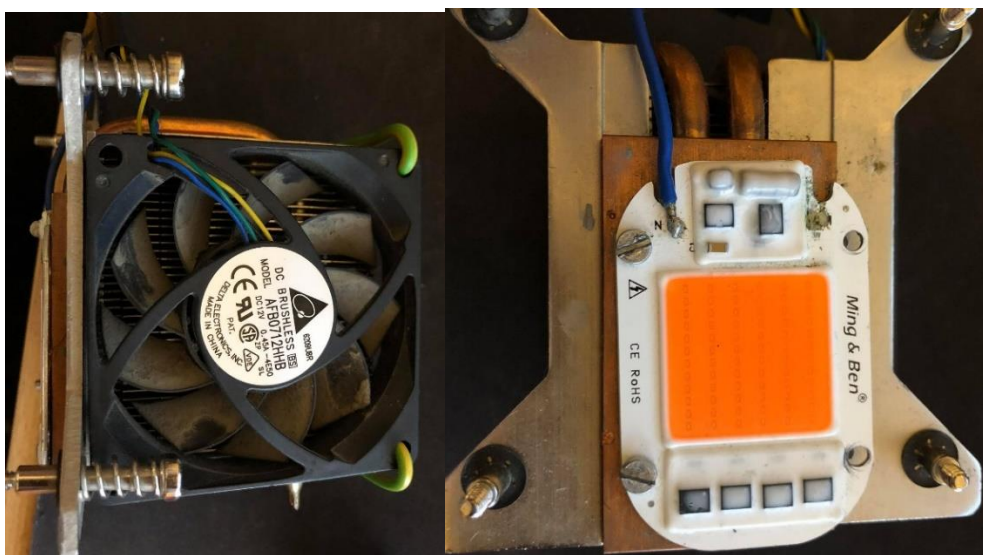


Obrázek 2.22 - Příklad barevných spekter vybraných světelných zdrojů²¹

Pro návrh systému byl nakonec využit světelný zdroj UV LED COB phytolamp chip o výkonu 50 W. Ten je nutné připojit na chladič a nejlépe opatřit i aktivním chlazením. To se projevilo v uzavřené soustavě jako velice žádoucí. Světelný zdroj slouží i jako sekundární tepelný zdroj v navrženém systému a také napomáhá k cirkulaci vzduchu uvnitř systému díky neustále zapnutému aktivnímu chlazení, jak je ukázáno na obrázku 2.23. Napájení světelného zdroje je 230 V střídavého napětí. Pro tento zřič není třeba řešit napájecí zdroj 12 V, jak by tomu bylo v případě LED pásku.

²⁰ https://cdn.myshoptet.com/usr/eshop.ledsolution.cz/user/shop/detail_alt_1/65856-2_led-pasek-14-4w-m-12v-ip20-upravene.jpg?5d95bf5e

²¹ http://www.odbornecasopisy.cz/img/content/S_02_2015_zdrojedom_tab_02.jpg



Obrázek 2.23 - UV LED chip s aktivním chladičem

K ovládní světelného zdroje lze využít několik možných variant. Jednou z nich je kit Arduino. K tomu je ovšem zapotřebí připojit modul reálného času.

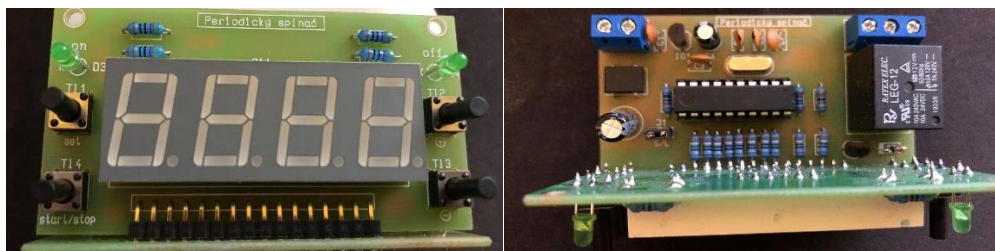
Tím jen například DS3231 + AT24C32. Obvod DS3231 je známý jako modul reálného času a AT24C32 je paměť EEPROM. Pomocí tohoto modulu je možné používat reálný čas namísto počítání zpoždění, ale v určitém časovém okamžiku spínat nebo rozepínat ovládací periférie. V našem případě se tato varianta, která byla finančně nejpřívětivější, projevila jako nepraktická.

Ukázalo se zbytečné zatěžovat Arduino dalším modulem, navíc využívaným jen 2 - 3x během 24 hodin na sepnutí a vypnutí světelného obvodu. Dalším ovládacím prvkem je časový spínač na din lištu, například CS4-16, který je ukázán na obrázku 2.24. Tento model má 10 nastavitelných časových programů a možnost spustit jen v určité dny. Dokonce má funkci letního i zimního času. Tato varianta se ukázala jako velice nákladná a zbytečně složitá pro naši aplikaci. I přes svoji jednoduchou montáž na lištu DIN má tento modul zbytečně moc funkcí, které by stejně nebyly využity.



Obrázek 2.24 - Časový spínač na DIN CS4-16²²

Obrázek 2.25 ukazuje periodický časový spínač. Využívá napájecí napětí $\pm 12\text{ V}$ s galvanickým oddělením elektroniky od spínače, jednoduchý led display + kontaktní relé 10 A 230 V. Dobu zapnutí lze volit ze dvou intervalů. První interval je 23 hodin a 59 minut a druhý 59 min a 59 sekund. Jednoduchým nastavením lze určit dobu rozepnutí a dobu sepnutí kontaktního relé. Pro naši práci je zcela ideálním řešením. I přes vyšší cenu byl zvolen pro svoje značné přednosti (pro účely práce byl zapůjčen ze SPŠE Pardubice).



Obrázek 2.25 - Periodický časový spínač

K regulaci vlhkosti se používají zvlhčovače (při suchém vzduchu) nebo odvlhčovače (při vysoké vlhkosti vzduchu). V této práci budeme řešit odvlhčování pouze výměnou vzduchu. Jelikož se tato práce bude zabývat uzavřeným systémem, ve kterém bude udržována konstantní teplota a bude prováděno zavlažování, tak se předpokládá vysoká vzdušná vlhkost. Proto zde bude umístěno odvětrávání a následné vhánění nového čerstvého vzduchu.

²² <https://www.elektrobock.cz/casovy-spinac-na-din-listu/p10>

Odvětrávání soustavy je vyřešeno pomocí 12 V ventilátoru, který bude přebytečnou vlhkost odvádět mimo naši uzavřenou soustavu. Ventilátor je zobrazen na obrázku 2.26



Obrázek 2.26 - 12V ventilátor

Zvyšování vzdušné vlhkosti je vyřešeno zavlažovacím systémem, který je umístěn v horní části systému a je realizováno formou rozprašovače. V hadičce přivádějící vodu na závlahu je více malých děr, aby bylo zajištěno dostatečné zvlhčení jak půdy, tak vzduchu v soustavě. Voda je přiváděna ze zásobníku pomocí DC čerpadla.

Pro distribuci vody je využito ponorné čerpadlo AD20P-1230E s napájecím napětím 12 V a s maximálním proudem 300 mA, příkonem 6 W, průtokem 240 l/hod. (viz. obrázek 2.27). Kompletní informace jsou dostupné v [38].

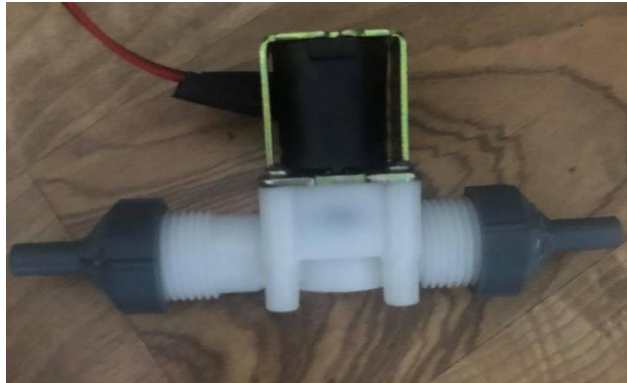


Obrázek 2.27 - Ponorné čerpadlo AD20p.1230E²³

Na vodním vedení je umístěn elektromagnetický ventil, aby zabránil případnému vodnímu sloupci samospádem vyčerpat vodní nádrž, umístěnou nad celou soustavou. Ventil má napájení

²³ <https://www.hadex.cz/img/zbozi/v121k.jpg>

12 V proudem 0,6A. Pracuje s tlakem o rozmezí 0.02 až 0.8 Mpa. Je v režimu zavřený, při přivedení napětí se otevře. Specifikace byly čerpány z [39]. Ventil je na obrázku 2.28.



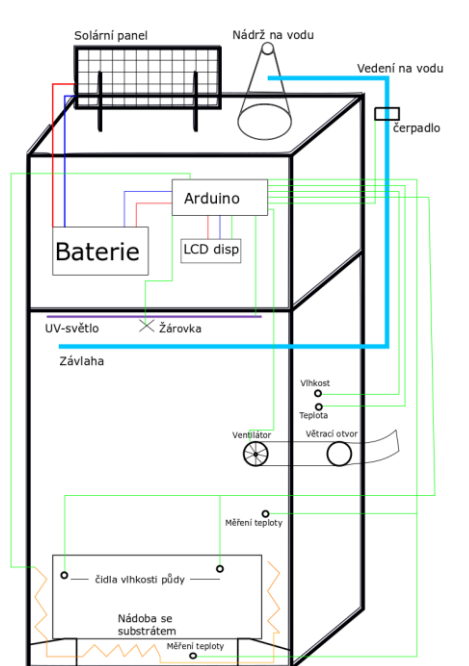
Obrázek 2.28 - Elektromagnetický ventil

3 NÁVRH HW SYSTÉMU

Návrh systému probíhal na základě pečlivého výběru jednotlivých částí podle jejich vlastností, ceny a dostupnosti. Z důvodů složitější situace v době světové pandemie byla konstrukce prováděna z běžně doma dostupných materiálů a technologií.

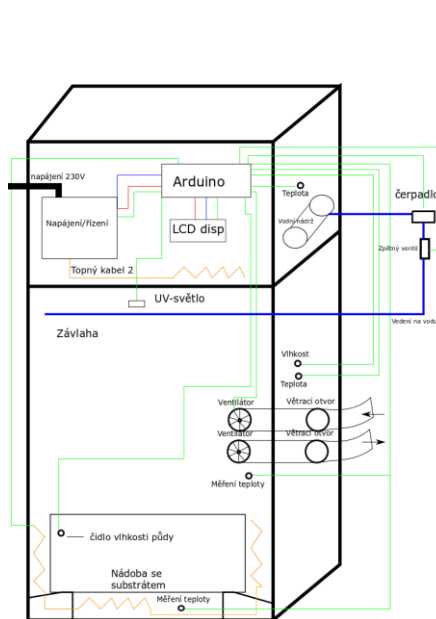
3.1 Konstrukce systému

Hlavní konstrukce systému využívá vlastností starého chladírenského zařízení, do kterého byly umístěny senzory a akční členy pro vytvoření a udržení požadovaného mikroklimatu. Jedním z prvních návrhů této soustavy byla varianta nezávislého napájení. Využit měl být malý solární panel na dobíjení akumulátorů, jak je patrné z obrázku 3.1. Vodní nádrž měla být umístěna vně celého systému. Tento koncept byl během prací na systému zamítnut, jelikož bližší pohled na problematiku ukázal vyšší energetickou náročnost (bylo popsáno v předchozích kapitolách). Umístění nádrže vně systém bylo vyřazeno z důvodu možného zamrzání vody v zimních měsících při použití systému mimo budovu.



Obrázek 3.1 - První blokový náčrt systému

Po výběru konkrétních akčních členů musel být systém v jisté míře přepracován. Solárního napájení bylo zcela vypuštěno a soustava se stala plně závislou na napájení z rozvodné elektrické sítě. Nádrž byla umístěna uvnitř systému, opatřená vlastním vytápěním a senzorem teploty. Tento koncept je zobrazen na obrázku 3.2.



Obrázek 3.2 - Výslední blokový náčrt systému

Tyto dva náčrtů jsou pouze teoretické varianty, od výsledné konstrukce se nepatrně odlišují, jelikož návrh byl dosti ideální a praktické podmínky jsou často odlišné.

Na obrázku 3.3 je výsledná konstrukce systému



Obrázek 3.3 - Výsledná konstrukce

3.2 Použité senzory

V tomto uzavřeném systému bylo použito celkem 8 senzorů (4 teplotní čidla, 1 vlhkostní čidlo, 2 čidla pro měření půdní vlhkosti, 1 světelný senzor) umístěných uvnitř soustavy. Senzory byly připevněny pomocí voděodolné kobercové pásky. Důvodem byla potřeba manipulace při kalibraci systému a kontrolním měření. Jejich rozmístění v soustavě je ukázáno na Obrázek 3.44.



Obrázek 3.4 - Rozmístění senzorů v uzavřené soustavě

Půdní senzory byly umístěny do nádoby se substrátem. Senzory monitorují pouze přelití substrátu. V hlavní části jsou rozmístěny 3 teplotní senzory. Jeden ze senzorů je ve spodní části systému, aby bylo zamezeno promrznutí systému. Senzor byl upevněn v dostatečné vzdálenosti od topného kabelu, aby nedošlo k ovlivnění. Druhý je uprostřed celého systému a třetí v jeho horní části. Je z nich brána průměrná hodnota a tím je zajištěna vyrovnaná teplota celé soustavy. Vlhkoměr je umístěn ve $\frac{3}{4}$ výšky systému, aby nebyl přímo ovlivněn zavlažovacím systémem. V neposlední řadě je zde umístěný fotorezistor, který pouze kontroluje, zda je světelný zdroj aktivní nebo neaktivní. Není nutné vstupovat do systému a tím narušovat vzniklé podmínky uvnitř. Jeden teplotní senzor je umístěn v druhém díle našeho systému, kde se nachází řídicí systém a nádrž na závlahu, jak je patrné z Obrázek 3.55. Tento senzor hlídá pouze provozní teplotu 20°.



Obrázek 3.5 - Řídící část uzavřené soustavy

Výstup ze všech senzorů je vypisován na LCD display umístěném vně celé soustavy. Display zobrazuje aktuální stav soustavy. LCD zobrazovač je ukázán na obrázku 3.6.



Obrázek 3.6 - Kontrolní LCD

3.3 Akční členy

V celé soustavě je použito 5 akčních členů (1 čerpadlo na vodu, 1 UV světelný zdroj, 3 ventilátory). Vytápění hlavní části systému je realizováno topným kabelem o délce 5 m s výkonem 264,50W. Je umístěn v jeho spodní části. Vytápění řídicí části systému je realizováno topným kabelem o délce 2 m a výkonu 80 W. Tento topný kabel slouží k ochraně vodního zdroje proti zamrznutí.

Osvětlení je řešeno UV-led panelem o výkonu 70 W, který zajišťuje osvětlení hlavní části systému a také pomáhá s udržováním teploty topnému kabelu. Vyzařované teplo ze světelného zdroje je rozháněno pomocí aktivního chlazení. Tím vzniká i cirkulace uvnitř systému, jak je ukázáno na obrázku 3.7.



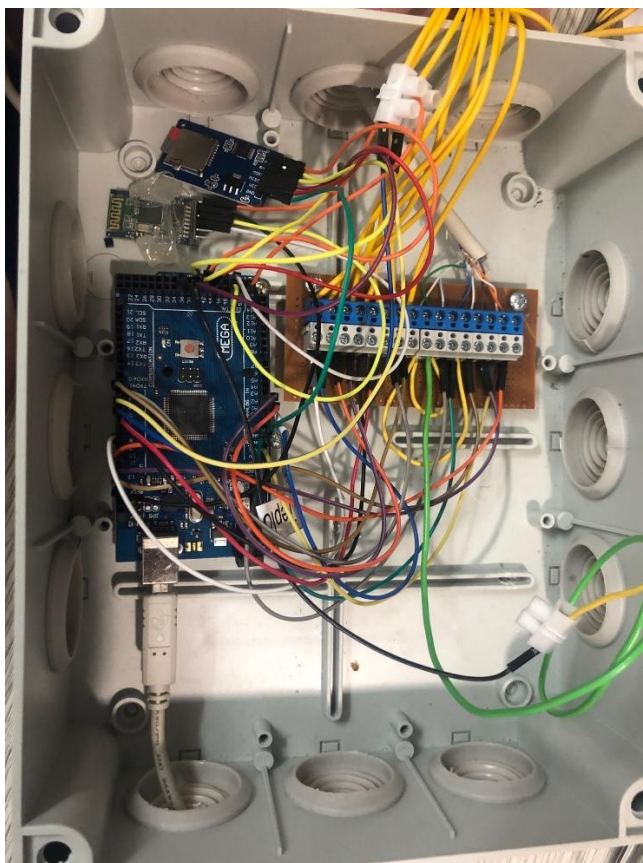
Obrázek 3.7 - LED s aktivním chlazením

Podpora cirkulace vzduchu je zajištěna ventilátory, které zajišťují výměnu vzduchu mezi systémem a okolím. Toto slouží ke snížení vlhkosti.

Pátým akčním členem je systém zavlažování. Tento systém vhání pomocí rozvodů zavlažovací kapalinu do soustavy, která slouží v první řadě jako závlaha substrátu a plodin v něm, ale i na zvyšování vlhkosti v systému.

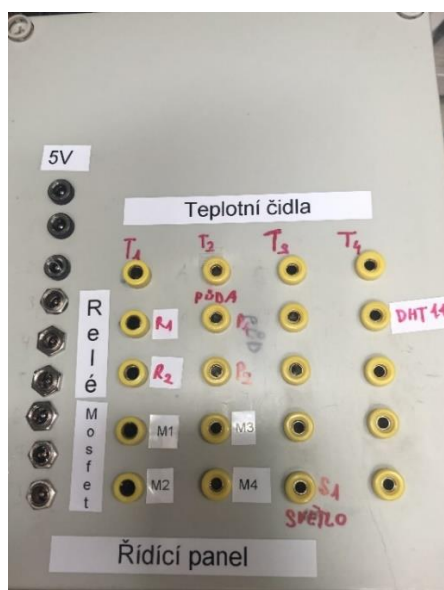
3.4 Řídící členy

Spolupráci mezi senzory a akčními členy zajišťují řídicí prvky. Jádro systému je postaveno kolem mikroprocesoru MEGA2560 na vývojovém kitu Arduino. Senzory a akční členy jsou připojeny k vývojovému kitu pomocí svorkovnice, aby při otevírání boxu nedocházelo k vypadávání vodičů z vývojového kitu. Mikrokontroler je umístěn do samostatné izolovaného boxu, aby nedocházelo k šumu a rušení, jak je ukázáno na obrázku 3.8. V tomto boxu je také umístěn Bluetooth modul HC-06, který je připojen k řídicí jednotce přes UART rozhraní a který slouží pro nastavení systému uživatelem, a modul čtečky SD karet, jenž je připojen přes sběrnici SPI. Tento modul slouží k ukládání hodnot v případě napájení.



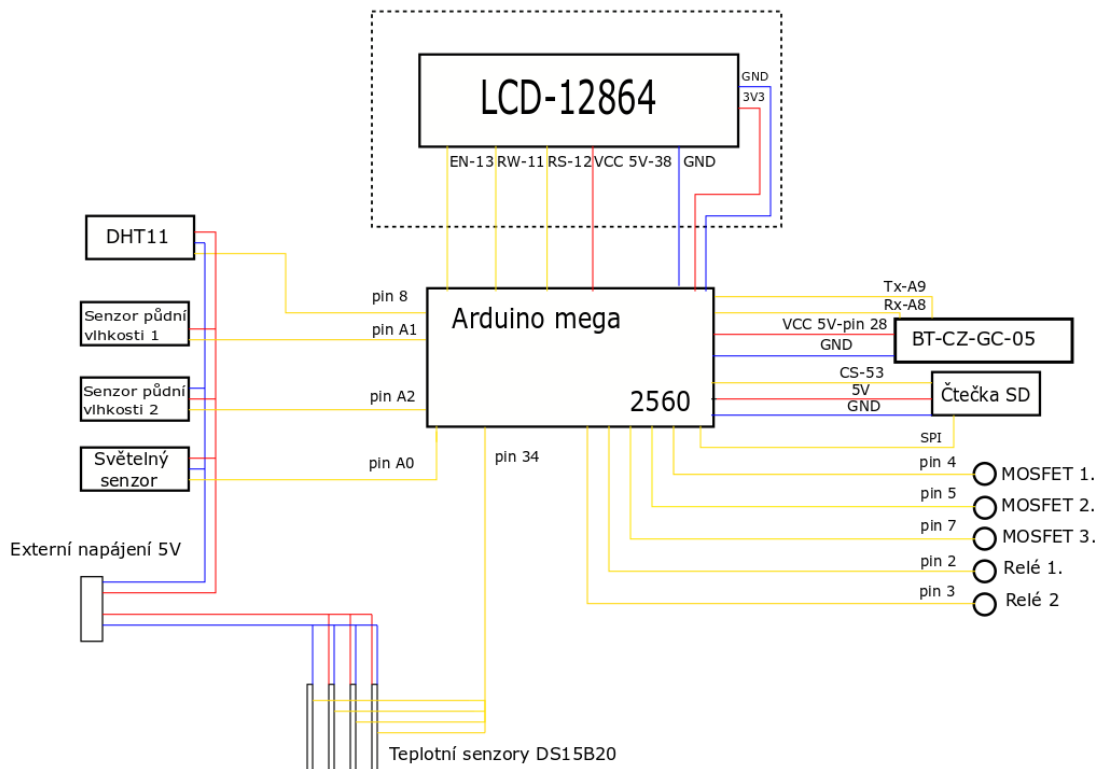
Obrázek 3.8 - Konstrukce umístění mikrokontroléru

Vstupní a výstupní periferie nejsou zapojeny do mikrokontroléru přímo, ale pomocí zdírek na předním panelu řídicí jednotky. Tím je docíleno snadné výměny v případě poruchy některé části, jak je patrné z obrázku 3.9. Konkrétní čidla mají přidělenou konkrétní vstupní/výstupní svorku. Pevně je spojen pouze LCD display. U něj se nepředpokládá výměna při poruše. Na obrázku 3.10 je blokové schéma zapojení senzorů k řídicí jednotce.



Obrázek 3.9 - Řídicí panel

Blokové schéma zapojení senzorů k řídicí jednotce



Obrázek 3.10 - Blokové schéma zapojení senzorů k řídicí jednotce

Řídicí jednotka ovládá několik akčních členů. Topné kabely jsou ovládány pomocí modulu, který obsahuje 4 relé řízené napětím 5 V, jak je ukázáno na obrázku 3.11. Relé spínají napájecí napětí 230 V pro topné kabely. Prvky, napájené 12 V, jsou ovládány pomocí tranzistorů MOSFET IRF540, v průběhu testování byly nahrazeny modulem s relé (pro jejich špatné vlastnosti).



Obrázek 3.11 - Relé²⁴

²⁴ <https://arduino-shop.cz/photos/produkty/d/2/2190.jpg?m=1515155861>

Osvětlení je řízené druhou řídicí smyčkou, která je nezávislá na vývojovém kitu Arduino. K tomu je využit časový spínač, jenž je ukázán na obrázku 2.25. Spínačem lze nastavit dobu svícení a dobu, po kterou má být světelný zdroj odpojen. Tento časovač slouží k nastavení režimu den a noc. Časový periodický spínač lze nastavit pomocí 4 tlačítek a na LED zobrazovači je zobrazeno, kolik hodin/minut bude ještě probíhající režim aktivní. Tento systém byl zvolen pro své jednoduché ovládání. Fotorezistor slouží k porovnání údajů na časovači a skutečným stavem.

3.5 Napájení a bezpečnostní prvky systému

Napájení celého systému je řešeno přivedením napětí 230 V z rozvodné sítě. Celý napájecí obvod pro soustavu byl umístěn do rozvodné skříně a napájení pro vývojový kit bylo vyvedeno separátně na samostatnou zásuvku s 5 V adaptérem. Toto řešení bylo zvoleno pro jednodušší ladění řídicího systému. Zapojení napájecí části je zobrazeno na obrázku 3.12.



Obrázek 3.12 - Provedení napájecího obvodu

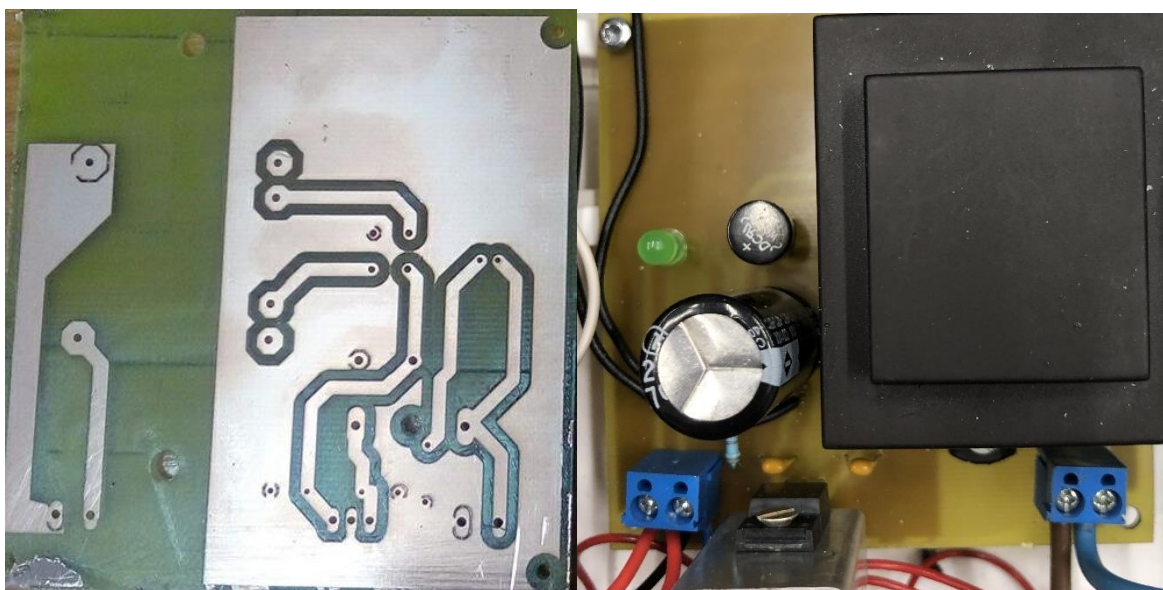
Do rozvodné skříně byly umístěny i výše zmíněné spínací prvky tranzistorový modul s MOSFET tranzistorem a modul s relé (později nahrazeny relé modulem).

Dále je v rozvodní skříně umístěn napájecí zdroj 12 V pro napájení akčních členů, časového periodického spínače a všech čidel. Pro napájení čidel byl použit modul DC-DC měniče z 12 V na 5 V, který je ukázán na obrázku 3.13.



Obrázek 3.13 - DC-DC měnič²⁵

Zdroj 12 V byl navržen pomocí pokynů od výrobce stabilizátoru²⁶. Schéma a DPS bylo nakresleno v programu EAGLE, viz příloha 10.J. Deska plošného spoje a jeho osazení je umístěno na obrázku 3.14.



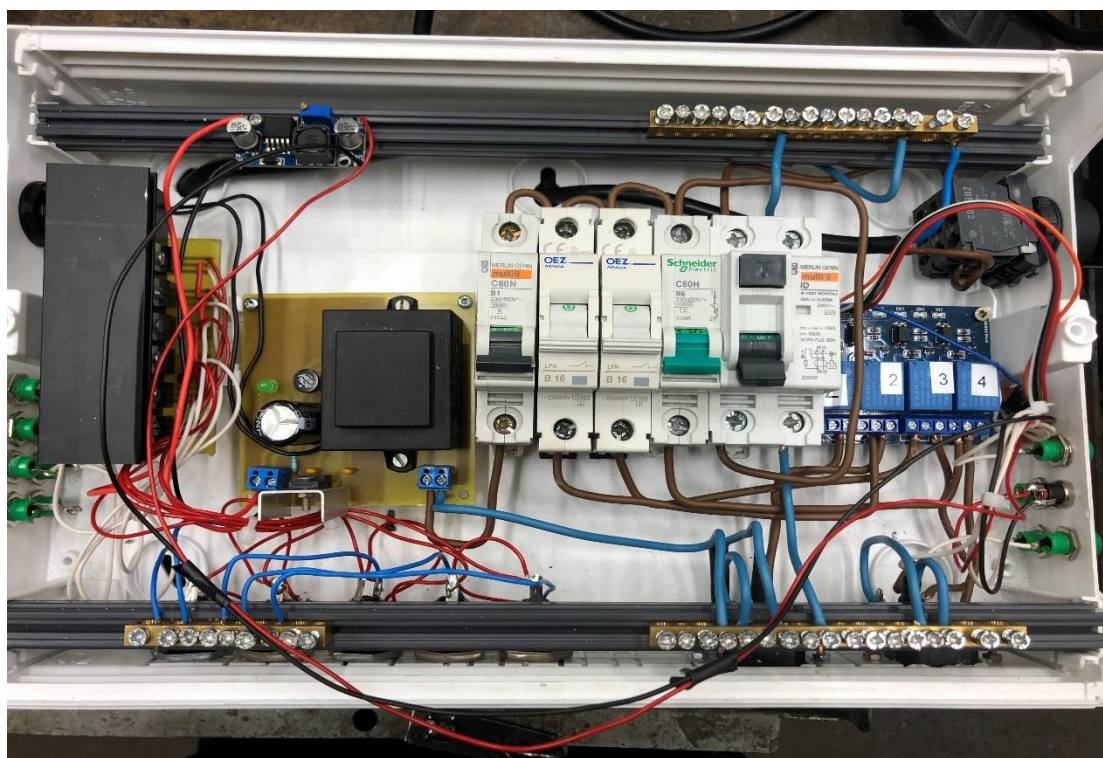
Obrázek 3.14 - Zdroj 12 V

Jelikož se jedná o experimentální prototyp, bylo zapotřebí vyřešit bezpečnost celého zařízení. Proto je přívod vybaven proudovým chráničem multi 9 ID. Je velice důležitým prvkem, jelikož

²⁵ https://arduino-shop.cz/photos/produkty_gal/f/2/2719.jpg?m=1502871317

²⁶ https://lp-design.webnode.sk/_files/200000014-664a067444/korekcni_zesilovac_sta_3.gif

soustava pracuje ve vyšší vlhkosti a s vodní závlahou. Zařízení bylo konstruováno za předpokladu připojení do starších rozvodných sítí, které nemají samostatný proudový chránič, nebo za použití experimentálního napájení, například agregáty solárními či jiných zdrojů, protože dle normy nesmí být připojeny dva proudové chrániče v jedné instalaci za sebou. Dále byly zařazeny jisticí prvky jednotlivých periférií a zdroje 12 V. Pro zdroj 12 V je použit jistič B1, pro topné kabely jistič B16 a světelný obvod je jištěn jističem B6. Ochrana byla provedena i pro výstupní napětí 12 V. Každý výstup je opatřen skleněnou pojistkou patřičné 1.5 A. Výstup 5 V není nijak jištěn, nepředpokládá se ohrožení uživatele. Výsledné zapojení rozvodní skříně je na obrázku 3.15. Blokové schéma zapojení je ukázáno v příloze 9.I.

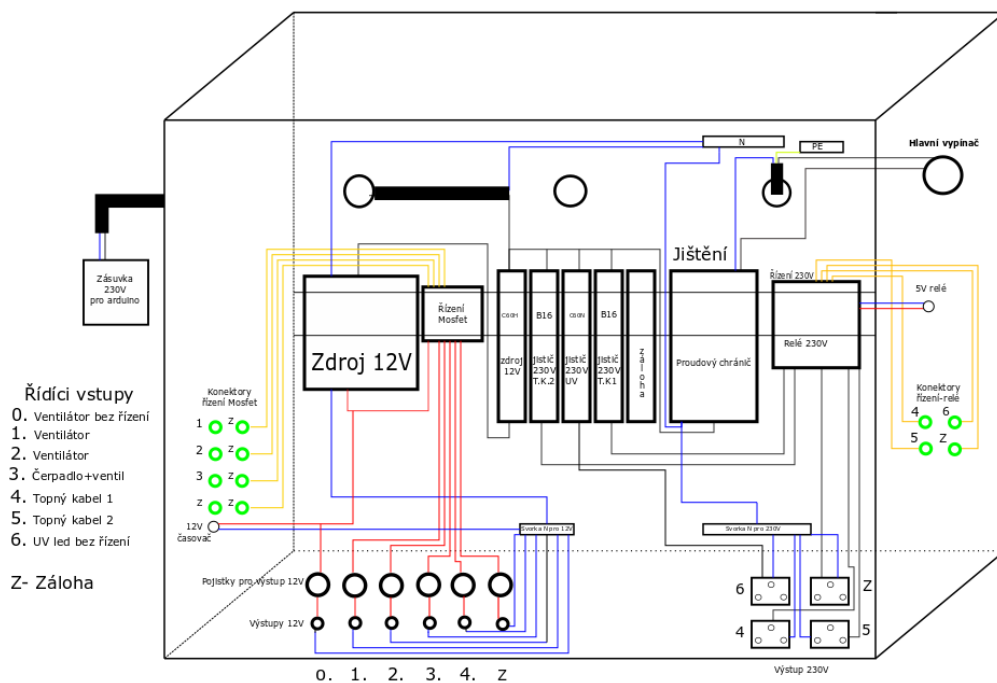


Obrázek 3.15 - Výsledné zapojení napájení

Napájecí a řídicí skříně jsou propojeny odnímatelnými propojovacími vodiči. Lze tak snadno nahradit poškozený obvod nebo nahradit novou variantou. V případě modernizace je třeba rozšířit firmware. Propojovací rozhraní mezi jednotkami je ukázáno na obrázku 3.16. Na obrázku 3.17 je zobrazeno blokové zapojení napájecí skříně.



Obrázek 3.16 – Komunikační rozhraní pro dílčí jednotky



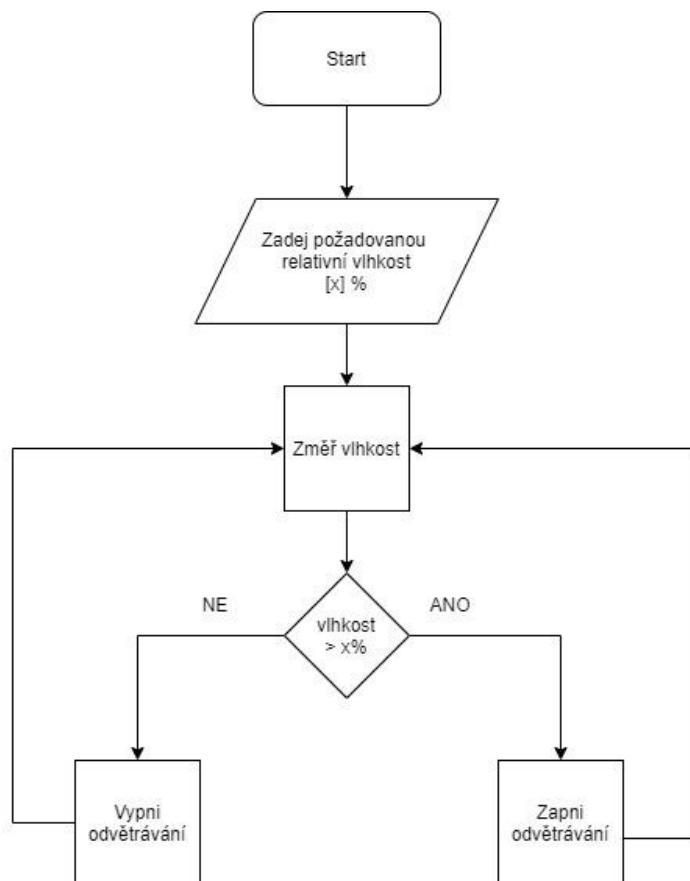
Obrázek 3.17 - Blokové schéma zapojení napájecí skříně

4 ŘÍDICÍ PROGRAM PRO MIKROKONTROLÉR

Důležitou částí je firmware umístěný v řídicí jednotce. Řídicí program je do mikrokontroléru nahrán pomocí programátoru, který je integrován na vývojovém kitu. Nastavení a řízení systému je prováděno bezdrátově pomocí Bluetooth přes uživatelské grafické rozhraní. Při spuštění systému jsou jeho parametry načteny z SD karty. Hodnoty na SD kartě jsou aktualizovány při přijetí dat z BT modulu od uživatele (zaslané přes Bluetooth modul).

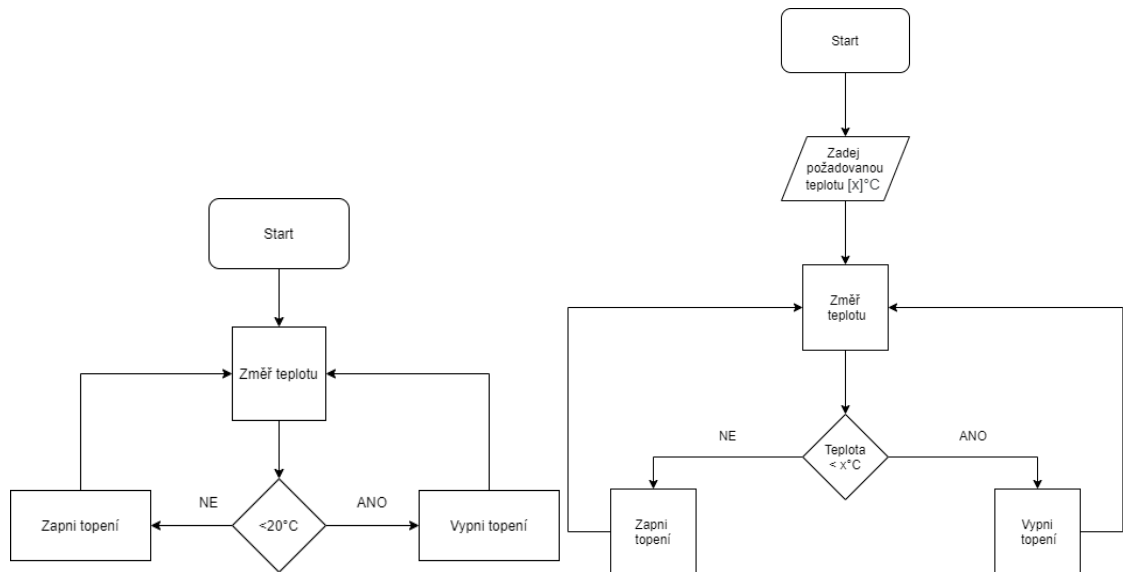
4.1 Firmware

Firmware sestává z několika základních algoritmů. Prvním je regulace vlhkosti vzduchu uvnitř celé soustavy. Popis algoritmu je na obrázku 4.1.



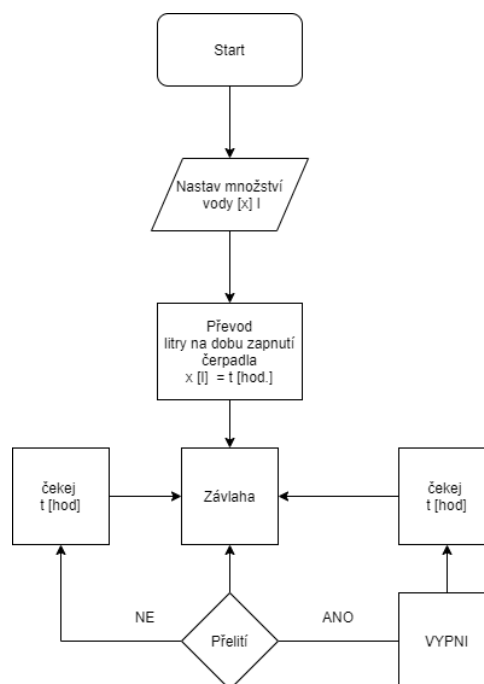
Obrázek 4.1 - Diagram regulace vlhkosti

Druhý algoritmus slouží k nastavení teploty v hlavní části soustavy. Podobný algoritmus je použit pro ochranu vody před zamrznutím. Algoritmy pro měření a řízení jsou ukázány na obrázku 4.2.



Obrázek 4.2 - Diagram řízení teploty

Třetí algoritmus implementovaný v mikroprocesoru je pro regulaci závlahy. Zálivka se provádí ve 3 režimech (malá, střední nebo velká zálivka). Uživatel zadává množství vody, jež je převedeno na čas, po který bude čerpadlo zapnuté. Algoritmus pro závlahu je na obrázku 4.3.

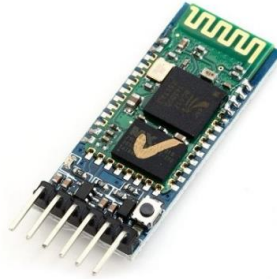


Obrázek 4.3 - Diagram řízení závlahy

Firmware využívá několik knihoven. Pro inicializaci LCD zobrazovače 128x64 je využita knihovna U8G, která byla stažena z [40]. Knihovna umožňuje pracovat s LCD v grafickém režimu. V této práci je display využíván pouze na vypisování hodnot. Další knihovnou je DHT, která

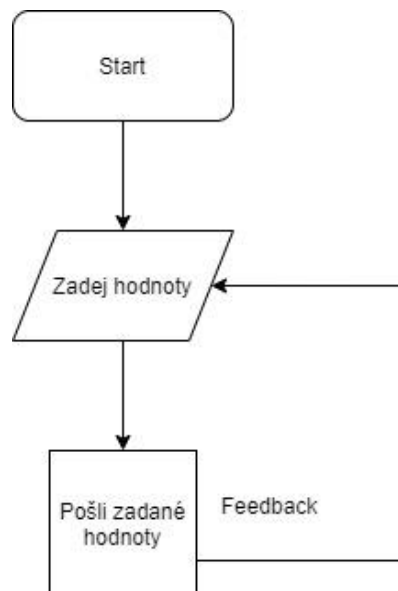
byla stažena z [41]. Knihovna umožňuje komunikaci se senzory DHT 11 a 12, které slouží k měření vlhkosti. Pro ovládání teplotních čidel DS18B20 byla použita knihovna DallasTemperature dostupná z [42] a knihovna pro využití sběrnice OneWire dostupná ze zdroje z [42].

Komunikace mezi systémem a uživatelským rozhraním je realizována pomocí BT modulu HC-06, který je na obrázku 4.4.



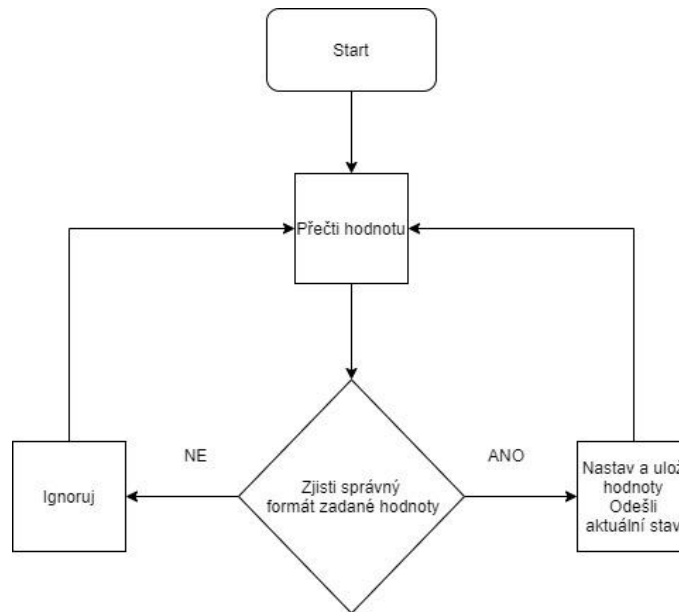
Obrázek 4.4 - Bluetooth modul HC-05²⁷

Modul HC.06 je řízen pomocí knihovny SoftwareSerial, která je součástí vývojového prostředí pro kit Arduino. Programování firmwaru bylo realizováno ve MS Visual studio 2019 s doplňkem Arduino IDE. Firmware byl napsán v jazyce C++ a využito bylo objektově orientované programování, aby byl kód přehledný a jeho ladění a úprava byly přívětivější. Algoritmus popisující komunikaci mezi uživatelským rozhraním a mikrokontrolérem je na obrázku 4.5. Na obrázku 4.6. je umístěn algoritmus pro nastavení a uložení hodnot.



Obrázek 4.5 – Komunikace uživatelského rozhraní se systémem

²⁷ https://navody.arduino-shop.cz/images/obr_clanky/64_bt_modul_hc05/5381-thickbox.jpg



Obrázek 4.6 - Diagram Bluetooth nastavení

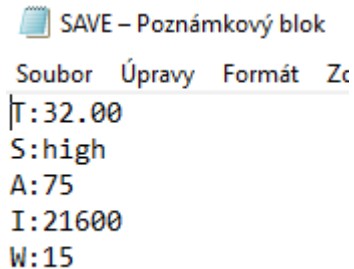
Jednou z nejdůležitější součástí je modul pro čtení a zápis na SD kartu. Tento modul slouží k ukládání nastavených hodnot odeslaných pomocí Bluetooth modulu do mikrokontroléru. Při každém novém nastavení hodnot se automaticky uloží do souboru (SAVE) na SD kartě, v případě výpadku proudu jsou poslední hodnoty uloženy na SD kartě. Po obnově napájení se načtou poslední nastavené hodnoty uložené na SD kartě. Modul SD karty je zobrazen na obrázku 4.7.



Obrázek 4.7 - Modul pro SD kartu²⁸

²⁸https://www.laskarduino.cz/microsd-card-modul-spi/?gclid=Cj0KCQjwhZr1BRCLARIsALjRVQMJg-guE-huD6h-Ns5coq0W548NyLHpnl4pVn51VmCPaLICRNHODvBsaAjZ1EALw_wcB

Informace o požadovaném nastavení systému jsou uloženy na SD kartě v upraveném formátu CSV. Aktualizace nastavení je prováděna při nastavení systému uživatelem z řídicího rozhraní. V případě restartování systému jsou informace z SD karty nahrány do mikroprocesoru, který podle těchto pokynů soustavu reguluje. Příklad uložených dat je na obrázku 4.8.



```
SAVE - Poznámkový blok
Soubor  Úpravy  Formát  Zc
T:32.00
S:high
A:75
I:21600
W:15
```

Obrázek 4.8 - Uložené hodnoty na SD kartě

Popisky dat na SD kartě jsou T pro průměrnou teplotu ve stupních celsia, S pro intenzitu zá-
livky, A pro relativní vlhkost v procentech, I pro interval spínání čerpadla v sekundách a W
dobu sepnutí čerpadla v sekundách.

5 UŽIVATELSKÉ ROZHRAŇÍ

Uživatelské rozhraní bylo navrženo pro snadné nastavení požadovaných hodnot, které má systém udržovat. Rozhraní bylo vytvořeno v MS Visual studio 2019 za použití WindowsForms podle pokynů z [43].

5.1 Aplikace a komunikace s mikrokontrolérem

Aplikace byla vytvořena v jazyce C#. Uživatelské rozhraní se připojuje k soustavě pomocí Bluetooth, ke kterému je přístupováno přes knihovnu serial. Po spuštění jsou vypsány všechny COM porty. Uživatel vybere COM port a připojí se k systému. Nastavení sériové komunikace je fixní a uživatel jej nemůže měnit. Uživatelské rozhraní je na obrázku 5.1. Rozhraní dle zadání nabízí dvě možnosti. První možností je nahrání módu ze souboru. Druhou je zadání vlastních parametrů. Po výběru módu a nastavení dat se informace odešlou do systému. V případě vlastního módu je možné si vlastní nastavení uložit.

The screenshot shows a Windows application window titled "USERinterface". The main heading is "Nastavení hodnot automatického systému pěstování". The interface includes a dropdown menu for "Vyberte sériový port" set to "COM9", a blue "Připojit" button, a red "Odpojit" button, and a red status indicator "Odpojeno". There are two radio buttons: "Vlastní nastavení" (selected) and "Výběr módu". Under "Vlastní nastavení", there are input fields for "Název", "Nastavení vzdušné vlhkosti" (20%), "Nastavení teploty" (0,0 °C), and "Nastavení závlahy" (0,00 l [litry]). Under "Výběr módu", there is a dropdown for "Výběr pěstebního módu". A red box contains the text "Informace k použití: Vlhkost zadávejte od 20 - 90%. Nastavení časovače osvětlení je třeba provést manuálně." At the bottom, there are radio buttons for "Zálivka" (Malá, Střední, Velká) and "Uložit" and "Odeslat nastavení" buttons.

Obrázek 5.1 - Uživatelské rozhraní

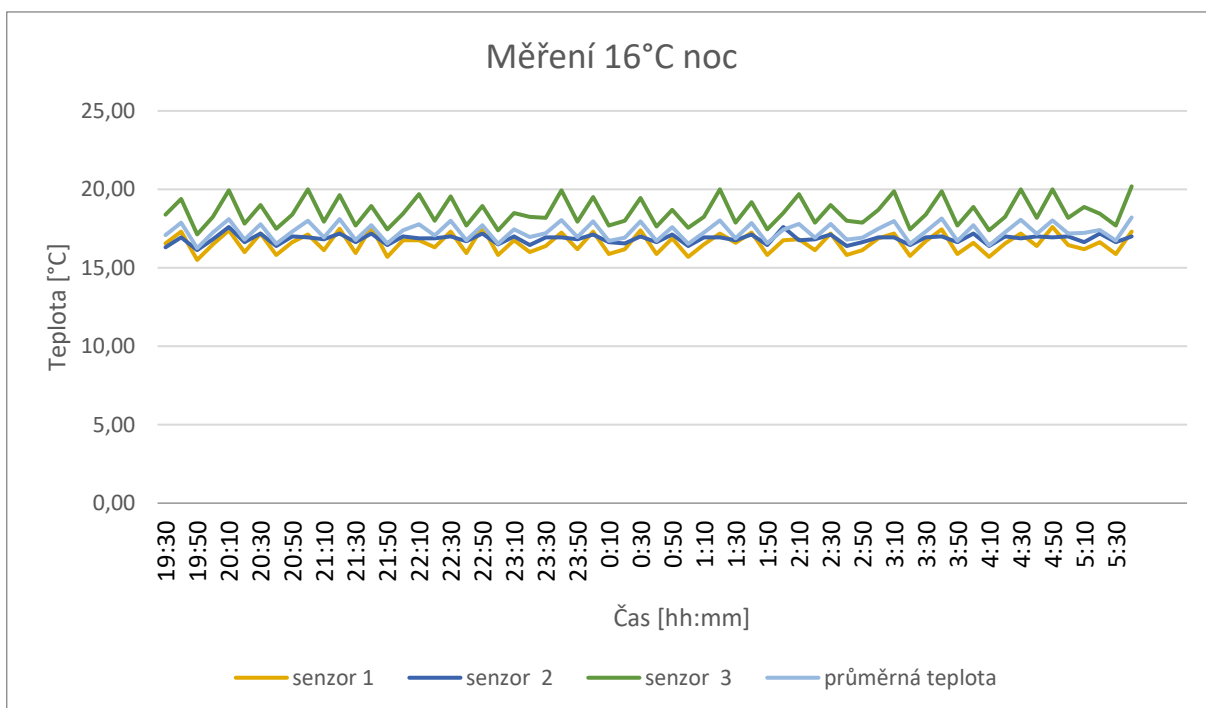
Uživatel má v aplikaci na výběr z předdefinovaných módů. Jsou k dispozici 2 módy pro pěstování exotických rostlin. Tyto módy se vyznačují vyšší teplotou a vyšší vlhkostí v soustavě, vydatnější zálivkou, tím je docíleno simulace tropického mikroklimatu. Další mód je určen pro pěstování rajčat. U nich je zapotřebí dodržovat stálou teplotu okolo 25 °C a dostatek světla a v neposlední řadě pravidelnou zálivku. Poslední předdefinovaný mód je pro pěstování bylinek, kde je zajištěna pravidelná závlaha, teplota 30 °C a vyšší vlhkost pro urychlení celého procesu růstu.

6 KALIBRACE A TESTOVÁNÍ SYSTÉMU

V této kapitole je popsáno oživení systému a popsána provedená testovací měření. Výsledkem je ověření, zda je systém schopen nastavit a udržet požadované mikroklíma. Teoretické znalosti pro měření byly čerpány z [44].

6.1 Testování systému

Testování systému bylo prováděno postupně, aby nedošlo k jeho poškození. Hodnoty byly ukládány po 10 minutách na SD kartu a ověřovány pomocí meteorologické stanice Sencor SWS 300. Měřicí čidlo bylo umístěno ve střední části systému. Maximální odchylka změřená pomocí meteostanice byla 3 °C při testování uzavřené soustavy. Lze to označit za chybu přístroje, nikoliv navrženého systému. Nejprve bylo ověřeno správné spínání a vypínání topných kabelů, jelikož by mohlo dojít k roztavení vnitřních prostor systému. Poté byla testována udržitelnost stálé teploty. Nastaveno bylo 16 °C a systém byl zapnut po celou noc, kdy teplota klesala k bodu mrazu.



Graf 6.1 - Měření teploty 16 °C

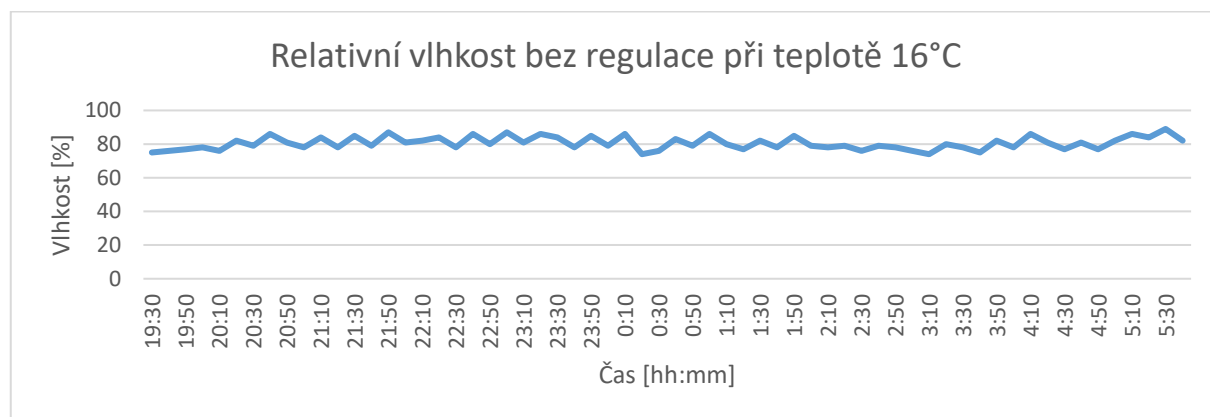
Jak je patrné z grafu 6.1, průměrná teplota se držela s odchylkou několika desetin °C od požadované teploty. Teplota byla snímána třemi senzory umístěnými ve spodní, střední a horní části

systemu. Největší výchytku tvoří senzor 3 umístěný na horní části. Naměřená průměrná hodnota odpovídala hodnotám naměřeným na meteostanici, včetně započítané odchylky Přesné hodnoty jsou ukázány v tabulce 6.1.

Čas	Teplota 1 [°C]	Teplota 2 [°C]	Teplota 1 [°C]	Průměrná teplota [°C]
22:20	16,31	16,88	18,00	17,06
22:30	17,31	17,00	19,56	18
22:40	15,94	16,69	17,69	16,75
22:50	17,60	17,19	18,94	17,71
23:00	15,81	16,50	17,38	16,54
23:10	16,75	17,00	18,50	17,44
23:20	16,00	16,44	18,25	16,96
23:30	16,38	16,94	18,19	17,21
23:40	17,25	16,94	19,94	18,04
23:50	16,19	16,81	17,94	16,96
0:00	17,31	17,13	19,50	17,96

Tabulka 6.1 – Naměřené hodnoty z 1. měření

Dále bylo otestováno ověření udržitelnosti vlhkosti v systému. První měření bylo prováděno s vypnutým řízením odvětrávání, aby se ověřilo, jak velký bude únik vlhkosti. Měření bylo prováděno souběžně s prvním testováním teploty. Grafické znázornění hodnot je uvedeno na grafu 6.2.



Graf 6.2 - 1. Měření relativní vzdušné vlhkosti

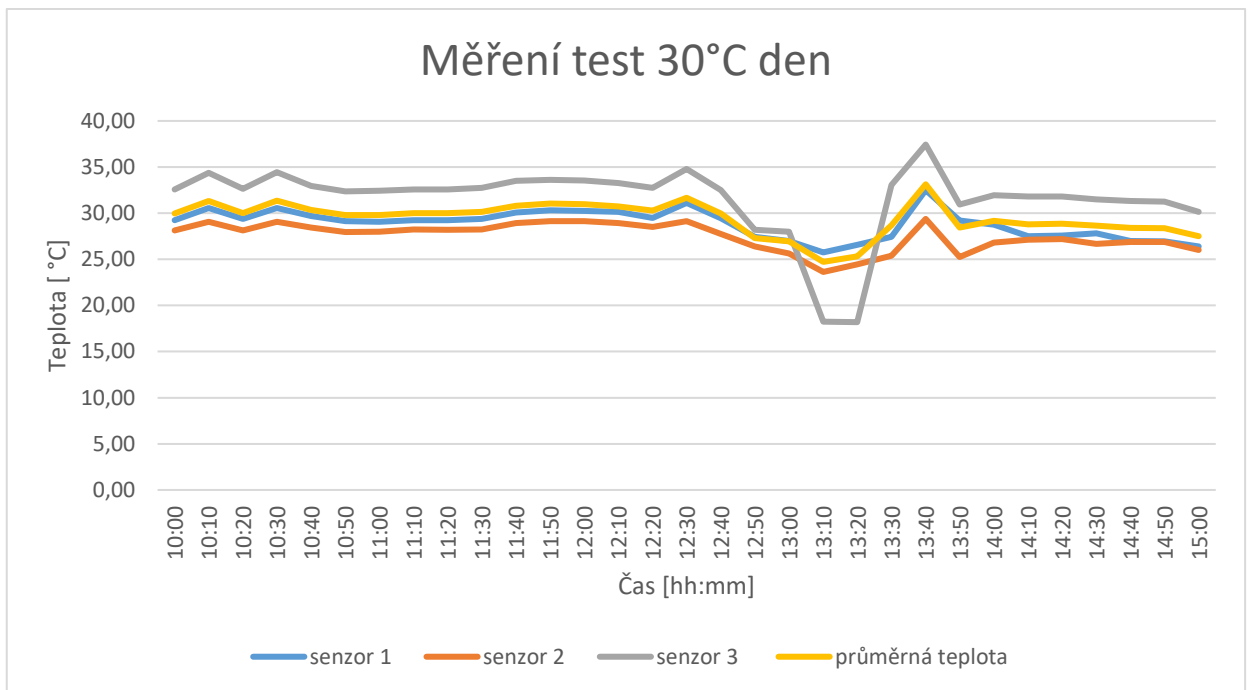
Jak je patrné z grafu, relativní vlhkost se držela po celou dobu měření kolem 75-85 %. Ukázka části naměřených hodnot je v tabulce 6.2.

Čas	22:20	22:30	22:40	22:50	23:00	23:10	23:20	23:30	23:40	23:50	0:00
Relativní vlhkost [%]	84	78	86	80	87	81	86	84	78	85	79

Tabulka 6.2 - 1. Měření relativní vlhkosti

V zařízení byl umístěn substrát, který byl suchý a nebyla zde závlaha. Tím byla provedena kalibrace půdních senzorů. Ty vysílají analogové hodnoty. Z měření bylo patrné, že půdní čidla jsou 10bitová a hodnoty, blíží se číslu 1024, znamenají nízký odpor (sucho) a hodnoty, blíží se hodnotě 200 a nižší, znamenají přelití. V žádném z měření čidlo nedávalo hodnotu 0.

Druhé měření bylo prováděno s nastavenou teplotou 30 °C, a to ve dne, aby bylo možné kontrolovat, jestli nedochází k přehřívání a správné regulaci vytápění. Protože v případné špatné regulace by mohlo dojít ke spálení zařízení, topný kabel dosahoval vysokých teplot. Při tomto měření bylo nastavováno zalévání systému a kalibrace spínání a vypínání odvětrávání. Hodnoty naměřené vlhkosti vzduchu a půdy nejsou v tomto pokusu zcela relevantní. Došlo k opakovanému otevření systému, aby byla vizuální kontrola sepnutí a vypnutí vytápění a sepnutí ventilátorů, tyto zásahy jsou patrné grafu 6.3. Dále je však vidět, jak systém relativně rychle obnovil požadované podmínky.



Graf 6.3 - Měření udržení vyšší teploty 30 °C

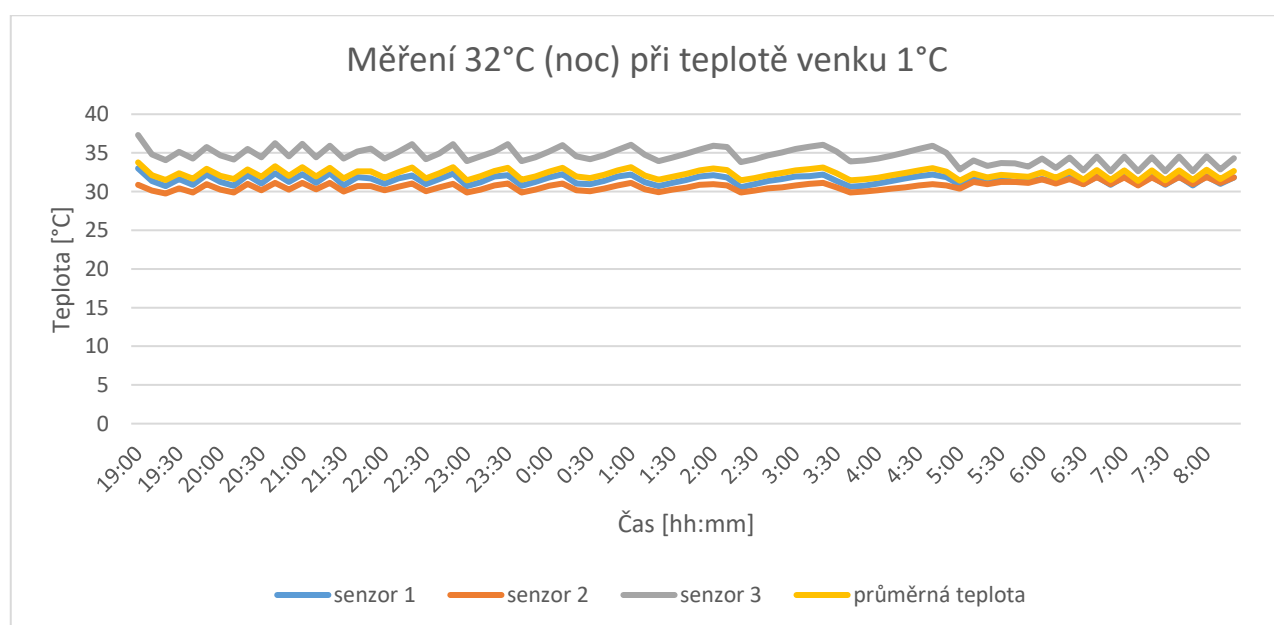
Dále byla zprovozněna kontrola zapnutí osvětlení. Ta byla jako všechny hodnoty kontrolována pomocí meteostanice umístěné uvnitř systému, jak je vidět na obrázku 6.1.



Obrázek 6.1 – Ověření hodnot z LCD a meteostanice

Jak je patrné z obrázků, teplota i vlhkost odpovídají požadovaným parametrům. Meteostanice také ukazuje, zda je světelný senzor zapnutý (hodnoty jsou vypisovány obráceně, vnitřní senzor byl umístěn vně a senzor venkovní uvnitř).

Dalším měřením bylo udržení teploty 32 °C při vlhkosti 60 %. Toto měření bylo prováděno v noci, kdy teplota klesala k 1 °C. Naměřené hodnoty jsou zobrazeny v grafu 6.4



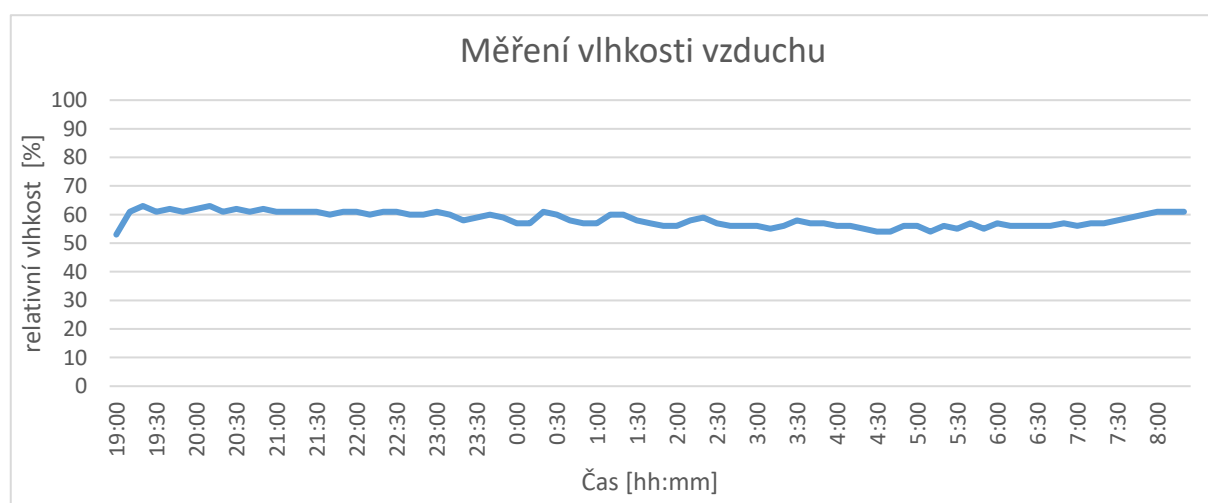
Graf 6.4 – Noční měření teploty 32 °C

Hodnoty odpovídaly předpokladu. Jak je patrné z grafu. V průběhu nízkých teplot je vidět, že systém potřeboval delší čas na zregulování řídicí veličiny na požadovanou úroveň. Přehled naměřených hodnot je v tabulce 6.3.

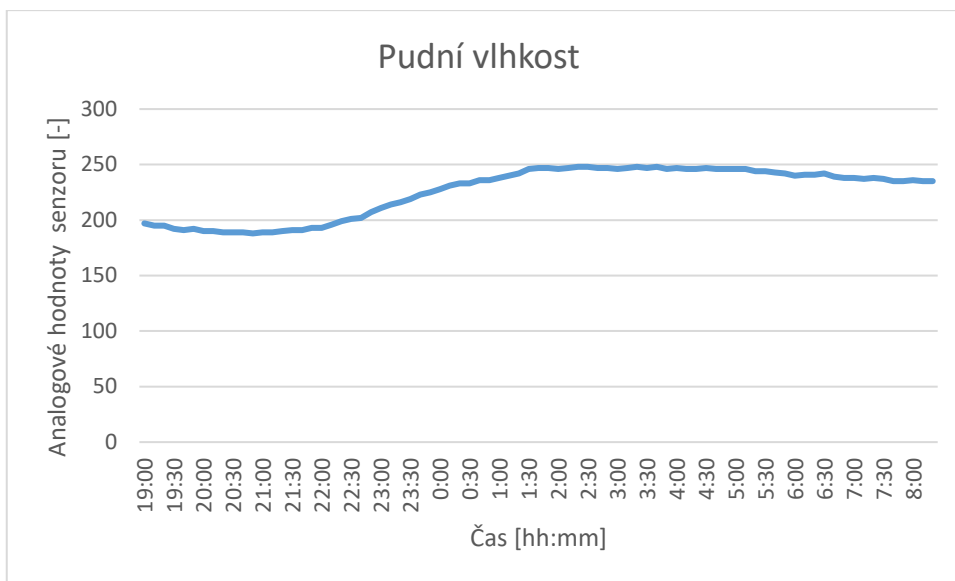
Čas	Teplota 1 [°C]	Teplota 2 [°C]	Teplota 1 [°C]	Průměrná teplota [°C]
23:50	31,25	30,25	34,44	31,96
0:00	31,81	30,75	35,19	32,56
0:10	32,25	31,06	36	33,08
0:20	31,06	30,19	34,56	31,96
0:30	30,94	30,1	34,19	31,73
0:40	31,38	30,38	34,69	32,15
0:50	31,94	30,81	35,38	32,73
1:00	32,19	31,13	36,06	33,17
1:10	31,19	30,31	34,75	32,08
1:20	30,69	29,94	33,94	31,52
1:30	31,13	30,25	34,38	31,9
1:40	31,5	30,5	34,88	32,29
1:50	31,94	30,88	35,44	32,75

Tabulka 6.3 - Noční měření teploty 32 °C

Před provedením závěrečného měření a spuštění pokusu byla vysazena vietnamská verze koriandru darovaná vedoucím práce. Při vysazení byla provedena maximální závlaha a ověření kalibrace půdních čidel. Hodnoty jsou uvedené v grafu 6.5. V grafu 6.6 jsou uvedené hodnoty z měření vlhkosti půdy.



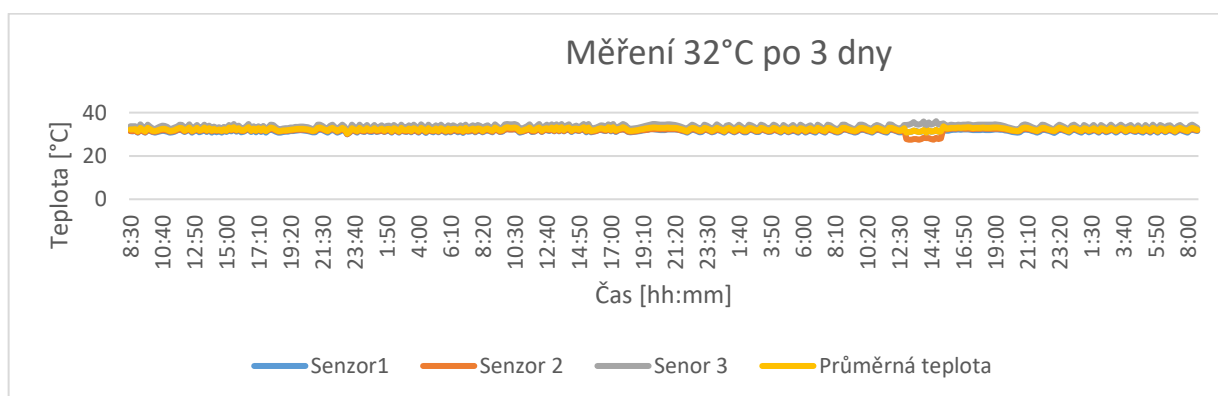
Graf 6.5 - Měření relativní vlhkosti vzduchu při teplotě 32 °C



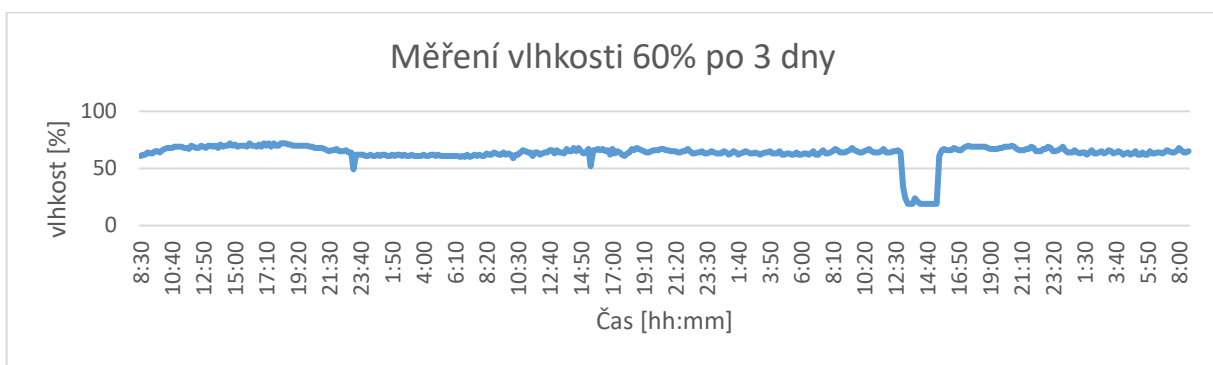
Graf 6.6 - Měření půdní vlhkosti

Měření vlhkosti půdy je pouze orientační, jak bylo řečeno v teoretické části, a je nutné jednou za čas udělat vizuální kontrolu a během cyklu je nutno upravovat hodnoty na optimální míru pro danou plodinu.

Aby bylo ověřeno, že je systém schopen pracovat soustavně bez výpadků, bylo provedeno vícedenní měření. Výsledky z tohoto měření jsou ukázány na grafu 6.7. Z obrázku je patrné, že systém je schopen dlouhodobě udržovat potřebné mikroklima. Jednou denně byla prováděna vizuální kontrola. To se projevilo hlavně na vlhkosti v systému (ta je ukázána v grafu 6.8). Bohužel při jedné kontrole došlo k nedovření a v důsledku toho systém po dobu trvání závady (13:10 – 15:10) nedosahoval požadované vlhkosti a teplota v soustavě byla také ovlivněna. V rámci regulace teploty je možné také pozorovat, že ve večerních hodinách (po 19. hodině) systém po delší dobu nedosáhne horní hranice teploty. To je způsobeno běžícím zavlažováním.



Graf 6.7 - Měření teploty 32 °C po 3 dny



Graf 6.8 - Měření vzdušné vlhkosti 60 % po 3 dny

ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo na základě rozboru systémů pro pěstování plodin navrhnout a otestovat vlastní systém pro pěstování plodin.

V teoretické části je popsána historie pěstování plodin a její vývoj do současného stavu. Také byl proveden rozbor možných řešení pro automatizované pěstování plodin. Na základě zjištěných poznatků byl vybrán koncept systému pro automatizované pěstování plodin, který byl použit pro návrh a konstrukci vlastního systému. Před samotným návrhem zařízení byl proveden rozbor dostupných senzorů a akčních členů, které byly analyzovány a následně z nich byly vybrány senzory a akční členy pro navrhované řešení. V průběhu návrhu se některé koncepty ukázaly jako nevhodné, proto byly nahrazeny jinými řešeními (například spínací tranzistory byly nahrazeny modulem s relé nebo napájení ze solárního panelu napájením ze sítě). Řízení systému je realizováno mikroprocesorem a nastavitelné pomocí PC. Systém byl implementován do dvoukomorového chladírenského zařízení z důvodu vhodné izolace od okolního prostředí a možnosti ochránit řídicí část proti povětrnostním vlivům. Systém byl vybaven chráničem, jističi a pojistkami za účelem zvýšení bezpečnosti. V případě výpadku napájení se systém znovu inicializuje z dat uložených na SD kartě.

Sestavené zařízení bylo otestováno sadou měření. V rámci měření byla ověřována schopnost systému udržet nastavené mikroklima. Z měření je patrné, že systém požadované mikroklima (tropické) udržel, i když teplota v okolí systému klesala k 0 °C, a to pouze se zanedbatelnými odchylkami. Z měření tedy vyplývá, že zařízení splňuje požadavky kladené na systémy pro pěstování plodin a je schopné udržet požadované mikroklima. Z toho plyne, že zadání bakalářské práce bylo splněno v plném rozsahu.

V budoucnu by bylo možné systém rozšířit o vývoj mikroklimatu podle stádia růstu pěstované plodiny. K této úpravě bude potřeba provést rozbor potřebných podmínek pro jednotlivá stádia a trvání těchto stádií. Tím by se mohlo dosáhnout efektivnějšího využití energie a zefektivnit růst plodin. V případě přenesení systému do halového provedení by bylo třeba rozšířit počty senzorů a akčních členů. Také by pak bylo vhodné použít bezdrátové technologie na připojení čidel a akčních členů k řídicí jednotce.

POUŽITÁ LITERATURA:

- [1] BERANOVÁ, Magdalena a Antonín KUBAČÁK. *Dějiny zemědělství v Čechách a na Moravě*. 1. vyd. Praha: Libri, 2010. ISBN 978-80-7277-113-4.
- [2] First Commercial Combine Harvester Developed in 1885. *AgHires [online]*. [cit. 2020-04-06]. Dostupné z: <https://aghires.com/first-commercial-combine-harvester-developed-1885/>
- [3] KOPEC, Karel. *Zelenina ve výživě člověka*. Praha: Grada, 2010. ISBN 978-80-247-2845-2.
- [4] SVOBODA, Ondřej. Konec starostí s vodou. *Saúdové doufají v rozvoj hydroponických farem*. IDnes [online]. MAFRA, a.s [cit. 2020-04-06]. Dostupné z: https://www.idnes.cz/ekonomika/zahranicni/saudska-arabie-nedostatek-voda-hydroponie-farmari-poust.A181207_120145_eko-zahranicni_svob
- [5] Opylování zelenin. Vše o zahradě: *radý, tipy, návody, ukázky [online]*. [cit. 2020-04-06]. Dostupné z: <https://vseozahrade.eu/opylovani-zelenin/>
- [6] Definitivní údaje o sklizni zemědělských plodin - 2018 [online]. Český statistický úřad, 2019 [cit. 2020-01-17]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/csu/czso/definitivni-udaje-o-sklizni-zemedelskych-plodin-2018>
- [7] Bylinky: Čerstvé koření [online]. Miroslav, 2020 [cit. 2020-05-07]. Dostupné z: <https://www.bylinky.cz>
- [8] Biomach, výpisky z biologie: *Růst a vývoj rostlin [online]*. Praha: Přírodovědecká fakulta UK Přírodovědecké fakulty UK, 2012 [cit. 2020-01-17]. Dostupné z: <http://www.biomach.cz/biologie-rostlin/ruast-a-vyvoj-rostlin-pohyby-rostlin>
- [9] Školní atlas České republiky. 2002, 1. vydání dotisk. Praha: Kartografie, 2000. ISBN 80-701-1657-9.
- [10] BOHDALOVÁ, Zuzana. Magazín zahrada: *Pěstování zeleniny v první, druhé a třetí trati*. Magazín zahrada [online]. Praha 2: Magazín Zahrada s.r.o [cit. 2019-11-19]. Dostupné z: <https://www.magazinzahrada.cz/pestovani-zeleniny-v-prvni-druhe-a-treti-trati/>
- [11] Pěstování zeleniny – nároky na živiny a střídání plodin. *Příroda-zahrada [online]*. Břeclav [cit. 2019-11-19]. Dostupné z: <https://priroda-zahrada.cz/clanky/zahrada/pestovani-zeleniny-naroky-na-ziviny-stridani-plodin/>

- [12] MICHALÍKOVÁ, Hana. Jarní výsev zeleniny. *Rostliny-semena [online]. Lázně Luhačovice: Pestik s.r.o.* [cit. 2019-11-19]. Dostupné z: <http://www.rostliny-semena.cz/cz/Jarni-vysev-zeleniny/>
- [13] Základní podmínky pro pěstování rostlin: Rozdělení *pěstebních podmínek. Květiny pro radost [online].* [cit. 2019-11-19]. Dostupné z: <http://www.kvetinyproradost.cz/pokojove-rostliny/zakladni-podminky-pro-pestovani-rostlin>
- [14] MAREŠ, Luděk. Vlhkost vzduchu a její měření. *Tzbinfo [online]. 2006* [cit. 2020-01-20]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/teorie-a-vypocty-vetrani-klimatizace/3137-vlhkost-vzduchu-a-jeji-mereni>
- [15] HOPJANOVÁ, Miluše. Experimentální líheň chovného *ptactva. PARDUBICE, 2014.. Bakalářská. UNIVERZITA PARDUBICE. Vedoucí práce Ing. Luboš Rejček, Ph.D.*
- [16] Odporové senzory vlhkosti. *Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií: ústav mikroelektroniky [online].* Brno: Ústav mikroelektroniky, FEKT, VUT v Brně., 2020 [cit. 2020-05-10]. Dostupné z: http://www.umel.feec.vutbr.cz/~adamek/uceb/DATA/s_3_2_5.htm
- [17] Vlhkoměry. *HW.cz [online]. Praha 4: HW server s.r.o.* [cit. 2020-02-03]. Dostupné z: <https://vyvoj.hw.cz/teorie-a-praxe/dokumentace/vlhkomery.html-0>
- [18] DHT11 Humidity & Temperature Sensor: *DHT11 Temperature & Humidity Sensor features a temperature & humidity sensor complex with a calibrated digital signal output.* Mouser Electronics, Inc [online]. Mansfield, Texas, USA., 2020 [cit. 2020-04-29]. Dostupné z: <https://www.mouser.com/datasheet/2/758/DHT11-Technical-Data-Sheet-Translated-Version-1143054.pdf>
- [19] DHT11 & DHT22 Sensors Temperature and *Humidity Tutorial using Arduino. HowToMechatronic [online].* Amazon Services LLC Associates Program, 2019 [cit. 2020-04-29]. Dostupné z: <https://howtomechatronics.com/tutorials/arduino/dht11-dht22-sensors-temperature-and-humidity-tutorial-using-arduino/>
- [20] Teploměr a vlhkoměr DHT11 a DHT22. *Arduino návody [online]. Havlíčkův Brod: ECLIPSE s.r.o* [cit. 2020-04-05]. Dostupné z: <https://navody.arduino-shop.cz/navody-k-produktum/teplotni-senzor-dht11.html>
- [21] Odporové senzory teploty. *Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií: ústav mikroelektroniky [online].* Brno: Ústav mikroelektroniky, FEKT, VUT, 2020 [cit.

- 2020-04-05]. Dostupné z: http://www.umel.feec.vutbr.cz/~adamek/uceb/DATA/s_3_2_4.htm
- [22] Přehled principů el. měření teploty - 1. díl. *Automatizace hw [online]*. 2014 [cit. 2020-01-20]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/prehled-principu-el-mereni-teploty-1-dil>
- [23] VOJÁČEK, Antonín. Přehled principů el. *měření teploty - 1. díl*. Automatizace hw [online]. Praha 4 - Kateřinky: HW server s.r.o. [cit. 2020-04-05]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/prehled-principu-el-mereni-teploty-1-dil>
- [24] DS18B20. Maxim integrated [online]. *San Jose, USA: Copyright © 2020 Maxim Integrated*, 2020 [cit. 2020-05-12]. Dostupné z: <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18B20.pdf>
- [25] ČERNÁ, Gabriela. Měření půdní vlhkosti. <https://adoc.tips/meni-pdni-vlhkosti.html> [online]. Brno, 2010 [cit. 2020-04-05]. Dostupné z: <https://adoc.tips/meni-pdni-vlhkosti.html>
- [26] Co je to světelný tok a *intenzita osvětlení?*. *Svět-svitidel.cz [online]*. Blansko [cit. 2020-04-05]. Dostupné z: <https://www.svet-svitidel.cz/clanky-svetelny-tok-a-intenzita-osvetleni>
- [27] CHMEL, Petr. Lumen, lux a *ti druží*. *Pragoaquanaut [online]*. Praha [cit. 2020-04-05]. Dostupné z: <http://pragoaquanaut.cz/lumen,-lux-a-ti-druzí>
- [28] Fotoodpor (fotorezistor). Elektronická Učebnice [online]. [cit. 2020-04-05]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/610>
- [29] Regulační obvody. Technická univerzita Ostrava: *Fakulta strojní [online]*. Ostrava, 2020 [cit. 2020-05-10]. Dostupné z: <http://books.fs.vsb.cz/SyntezaReg/text02.htm>
- [30] Automatizace: Dynamické vlastnosti členů – členy a *regulátory*. *Integrovaná střední škola*, Nová Paka, Kumburská 846: Automatizace [online]. ISS Nova Paka: Nová Paka, b.r. [cit. 2020-05-10]. Dostupné z: <http://automatizace-issnp.wz.cz/Soubory3/Vlastnosti%20regulatoru.pdf>
- [31] KY-018 Photoresistor module. SensorKit: x40 [online]. [cit. 2020-04-06]. Dostupné z: http://sensorkit.en.joy-it.net/index.php?title=KY-018_Photoresistor_module
- [32] Základy teorie ON/OFF a PID *regulace*. *Elektronické měřicí a regulační přístroje [online]*. Praha [cit. 2020-04-05]. Dostupné z: <https://www.dixell.cz/teorie-regulace/>

- [33] Topné těleso poniklované 3f s termostatickou *hlavicí, typ G. Regulus: Úsporné řešení pro vaše topení* [online]. Praha: Regulus s r.o., 2015-2020 [cit. 2020-04-05]. Dostupné z: <https://www.regulus.cz/cz/topne-teleso-poniklovane-3f-s-termostatickou-hlavici-typ-g>
- [34] Topné těleso poniklované 1f s termostatickou *hlavicí, do zásuvky, typ M. Regulus: Úsporné řešení pro vaše topení* [online]. Praha: Regulus s r.o., 2015-2020 [cit. 2020-04-05]. Dostupné z: <https://www.regulus.cz/cz/topne-teleso-poniklovane-1f-s-termostatickou-hlavici-do-zasuvky-typ-m>
- [35] Schiessl Tauwasserablaufheizung RS-T50 275W. Schiessl [online]. *Deutschland: SCHIESSL Deutschland, 2020* [cit. 2020-04-28]. Dostupné z: https://www.schiessl-kaelte.com/de_DE/Shop/Kuehlzellen%20%26%20Zubehoer/Kuehlraumausstattung/Ablaufheizungen/Schiessl-Tauwasserablaufheizung-RS-T50-275W~p39630
- [36] CSC2 – topné kabely pro odvodňovací *potrubí. REVOS: Energetika a tepelná technika REVOS* [online]. Brno: REVOS, s.r.o. [cit. 2020-04-05]. Dostupné z: <http://www.revos.cz/tepelna-technika/topne-kabely/katalog-flexelec/topne-kabely-pro-odvodneni-flexdrain/csc2-topne-kabely-pro-odvodnovaci-potrubí>
- [37] MATUŠKA, Tomáš. *Solární zařízení v příkladech. Praha: Grada, 2013. Stavitel.* ISBN 978-80-247-3525-2.
- [38] Akvariijní čerpadlo AD20P-1230E 240l/hod, 12V/3,6W. *Hadex* [online]. 2011-2020: Softima s.r.o., b.r. [cit. 2020-04-21]. Dostupné z: https://www.hadex.cz/v121k-akvarijni-cerpadlo-ad20p-1230e-240lhod-12v36w/?gclid=Cj0KCQjws_r0BRCwARIsAMxfDRic-gHtIOl6MV0i0TVuyqM750uRoqRBtKNspTqtrHnWM6gcVJ6NnTQaAsqmEALw_wcB
- [39] Elektromagnetický ventil 1/2". *Arduino-shop.cz* [online]. *Havlíčkův Brod: ECLIPSEERA s.r.o, b.r.* [cit. 2020-04-21]. Dostupné z: https://arduino-shop.cz/arduino/1066-elektromagneticky-ventil-1-2.html?gclid=Cj0KCQjws_r0BRCwARIsAMxfDRjV4YkjWB1YZOT-Qi0PV5ZSJILyXdqqUW7k_w8RR_ls5CsaV_aLGL8aAoW-EALw_wcB
- [40] M, Luboš. *Grafický LCD display 128x64 ST7920. Arduino návody* [online]. Havlíčkův Brod: ECLIPSEERA s.r.o [cit. 2020-04-18]. Dostupné z: <https://navody.arduino-shop.cz/navody-k-produktum/graficky-lcd-display-128x64-st7920.html>

- [41] M, Luboš. Teploměr a vlhkoměr *DHT11 a DHT22*. *Arduino návody [online]*. Havlíčkův Brod: ECLIPSERA s.r.o [cit. 2020-04-18]. Dostupné z: <https://navody.arduino-shop.cz/navody-k-produktum/teplotni-senzor-dht11.html>
- [42] M, Luboš. Teplotní senzor DS18B20. *Arduino návody [online]*. Havlíčkův Brod: ECLIPSERA s.r.o [cit. 2020-04-18]. Dostupné z: <https://navody.arduino-shop.cz/navody-k-produktum/teplotni-senzor-ds18b20.html>
- [43] PIRKL, Josef. Řešené příklady v C#, aneb, C# skutečně prakticky. České Budějovice: Kopp, 2005. ISBN 80-723-2265-6.
- [44] BRTNÍK, Bohumil. Elektrická měření pro bakaláře. Praha: BEN - technická literatura, 2011. ISBN 978-80-7300-405-7.
- [45] TYKAČ, Jan, ed., Karel FLOSS. *Jaro v zahradě. 1*. Praha: ARTIA, 1980.
- [46] KARAS, Petr, Ivan BIČÍK a Dagmar BARTOŇOVÁ. *Školní atlas dnešního světa*. Opravené a rozšířené 1. vydání. TERRA, spol. s.r.o, 2001. ISBN 80-9022B2-2-4.

PŘÍLOHY

Příloha 1.A - Podíl hlavních zemědělských plodin [6]	77
Příloha 2.B - Přehled druhů půdy [44]	79
Příloha 3.C - Přehled půdy v ČR[9].....	80
Příloha 4.D - Podnebné pásy [45]	81
Příloha 5.E - Průběh NTC termistoru.....	82
Příloha 6.F - Teploměr DHT	83
Příloha 7.G - Přehled regulátorů	84
Příloha 8.H - Přehled spekter běžných svítidel	85
Příloha 9.I - Návrh a schéma desky plošných spojů	86

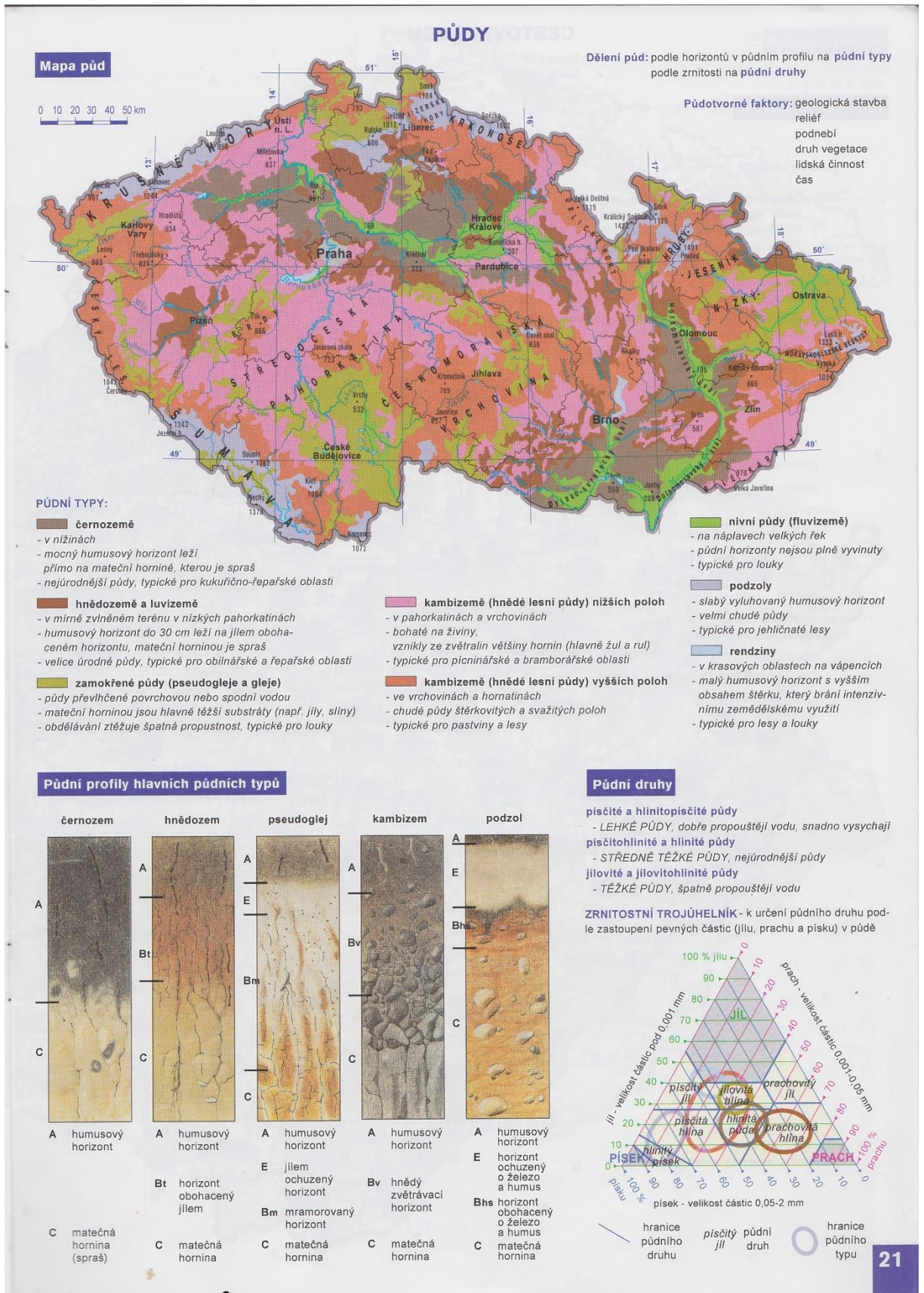
Podíl hlavních zemědělských plodin na průměrné sklizni v ČR, průměr let 2006-2017 [tis. t, %]														
Zdroj: ČSÚ														
Zemědělská plodina	Sklizeň [tis. t]												Průměrná sklizeň [tis. t]	Průměrná sklizeň [% z celkové sklizně]
	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2006-2017	2006-2017
Obiloviny celkem	6 386,1	7 152,9	8 369,5	7 832,0	6 877,6	8 284,8	6 595,5	7 512,6	8 779,3	8 279,4	8 596,4	7 456,8	7 676,9	47,06
z toho:														
Obiloviny - pšenice	3 506,3	3 938,9	4 631,5	4 358,1	4 161,6	4 913,0	3 518,9	4 700,7	5 442,3	5 274,3	5 454,7	4 718,2	4 551,5	27,9
Obiloviny - žito	74,8	177,5	209,8	178,1	118,2	118,5	147,0	176,3	129,1	407,9	104,4	109,2	162,6	1,0
Obiloviny - ječmen	1 897,7	1 893,4	2 243,9	2 003,0	1 584,5	1 813,7	1 616,5	1 593,8	832,2	1 991,4	1 845,3	1 712,3	1 752,3	10,7
Kukuřice na zno	606,4	758,8	858,4	889,6	692,6	1 063,7	928,1	675,4	832,2	442,7	845,8	588,1	765,2	4,7
Ostatní obiloviny (oves, tritikale)	300,9	384,3	425,9	403,2	320,7	375,9	385,0	366,5	396,1	357,2	325,4	319,7	363,4	2,2
Luskoviny celkem	87,5	65,2	47,9	62,1	58,1	63,6	39,1	38,3	53,8	95,9	84,6	100,4	66,4	0,4
Brambory celkem	692,2	820,5	769,6	752,5	665,2	805,3	661,8	536,4	697,5	505,0	699,6	689,0	691,2	4,2
Cukrovka technická	3 138,3	2 889,9	2 884,6	3 038,2	3 065,0	3 898,9	3 868,8	3 743,8	4 424,6	3 421,0	4 118,4	4 399,5	3 574,3	21,9
Píceřiny na orné půdě - seno	2 791,9	2 562,4	2 595,2	2 605,5	2 459,9	2 963,8	2 948,4	2 857,2	4 616,4	2 708,3	3 537,8	4 616,4	3 105,3	19,0
Mák	31,6	33,1	49,4	32,7	23,7	26,9	12,8	13,9	24,7	26,7	28,6	20,0	27,0	0,2
Řepka	880,2	1 031,9	1 048,9	1 128,1	1 042,4	1 046,1	1 109,1	1 443,2	1 537,3	1 256,2	1 359,1	1 146,2	1 169,1	7,2
Len	16,8	3,6	1,9	4,8	3,9	3,4	2,4	2,1	2,4	2,1	2,2	2,3	4,0	0,0

Příloha I.A - Podíl hlavních zemědělských plodin [6]

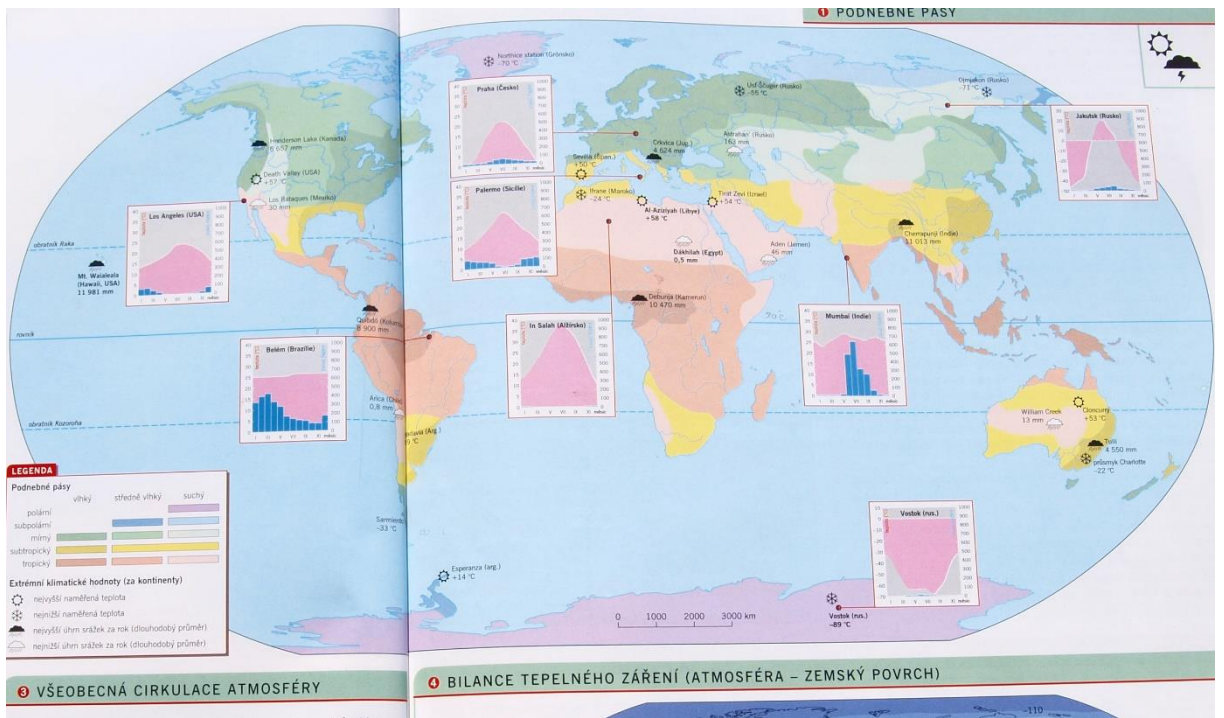
Druh půdy		
Jílovitá	Nedostatky	Přednosti
<p>Popis: jemné částice, neobsahuje písek, vlhčí a mazlavá</p>	<p>Velmi jemné částice půdy, když jsou vlhké, vytváří pevnou neprostupnou masu - těžké zpracování</p> <p>Vyžaduje více tepla na změnu teploty (zvláště na jaře)</p> <p>Pomalou a nepravidelně vysychá - tvorba hrud</p> <p>Špatné podmínky pro klíčení rostlin, horší tvorba kořenového systému</p>	<p>Bohatá na živiny a zásobárna vody</p> <p>Může nastrádat chemicky, fyzikálně nebo bakteriologicky rozložené humusoidní látky</p> <p>Humus - bohatý na živiny, vytváří drobnou strukturu, přispívá k lepšímu zpracování</p>
Písečná		
<p>Popis: lehká, suchá, příliš drobivá, rozpadá se a odplavuje deštěm</p>	<p>Chudá na živiny, špatně zadržuje vodu a vysoká kyselost</p> <p>Půdní eroze a nezadržuje živiny</p>	<p>Snadné zpracování</p> <p>Rychlé prohřívání, vysoká vzdušnost půdy</p> <p>Snadná prostupnost kořenů i do hloubky</p> <p>Snadná prostupnost kořenů i do hloubky po zásobení humusem a přísunem vody</p>
Slítná		
<p>Popis: mělká, mnohovárná ve spodních vrstvách proložená slídou a vápencem</p>	<p>Chudá na humus a živiny</p> <p>Za vlhka hůře obdělávatelná.</p> <p>Rychle vysychá</p>	<p>Snadné obdělávání</p> <p>Nepotřebuje odvodnění a rychle se prohřeje</p> <p>Vhodná spíše na skalky</p>

	Obsahuje vápník - zamezuje přijímaní živin rostlinám. Tuto půdu rostliny často nesnášejí	
Rašelinná		
Popis: tmavě hnědá až černá, připomínající houbu	Vysoký obsah vody Bývají velmi kyselé, chudé na živiny	Vznikaly rozkládáním rostlinného materiálu (zcela nerozložen)
Hlinitá		
Popis: tmavá, hnědá neulpívající	Za předpokladu, že je dobře odvodněná, s dostatkem humusu a živin, je zcela bezproblémová	Ideální zahradní půda

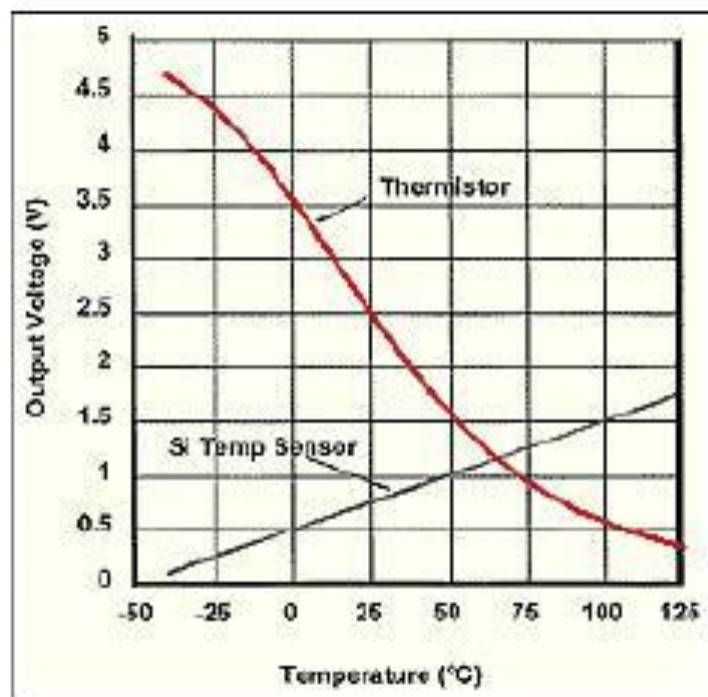
Příloha 2.B - Přehled druhů půdy [45]



Príloha 3.C - Přehled půdy v ČR [9].

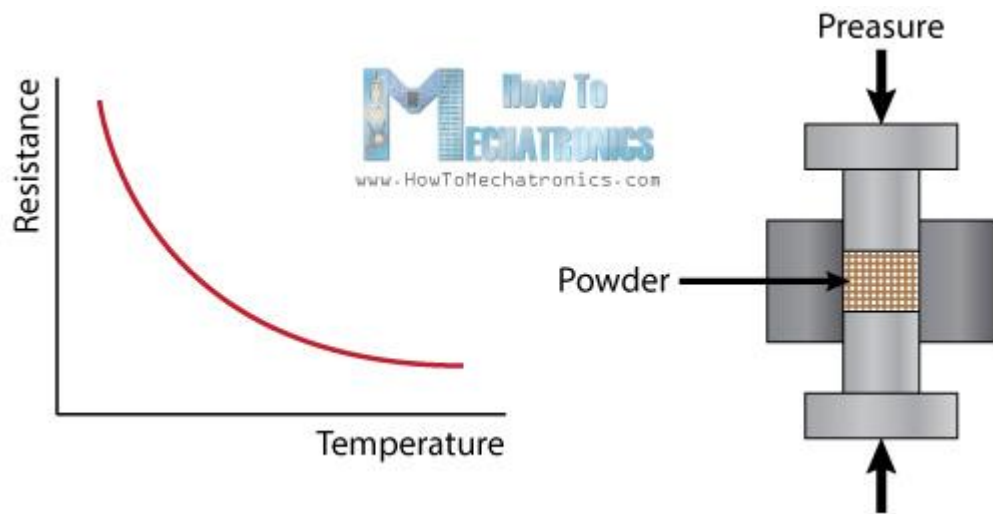


Příloha 4.D - Podnebné pásy [46]



Příloha 5.E - Průběh NTC termistoru²⁹

²⁹ http://automatizace.hw.cz/files/styles/clanek-300/public/story_automat/10541/pnvsthremistor.jpg



Příloha 6.F - Teploměr DHT³⁰

³⁰ <https://howtomechatronics.com/wp-content/uploads/2016/01/Thermistor-Working-Principle.jpg>

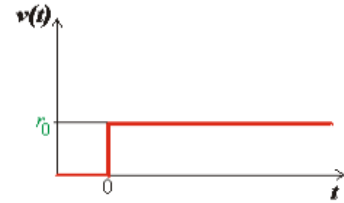
P

$$v = r_0 \cdot e(t)$$

$$F_R(p) = r_0$$

$$v = r_0 \cdot e(t)$$

$$F_R(p) = r_0$$

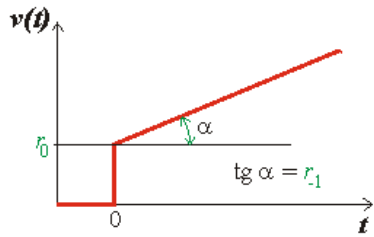
**PI**

$$v = r_0 \cdot e(t) + r_{-1} \int_0^t e(\tau) \cdot d\tau$$

$$F_R(p) = r_0 + \frac{r_{-1}}{p}$$

$$v = r_0 \cdot \left[e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(\tau) \cdot d\tau \right]$$

$$F_R(p) = r_0 \left(1 + \frac{1}{T_i p} \right)$$

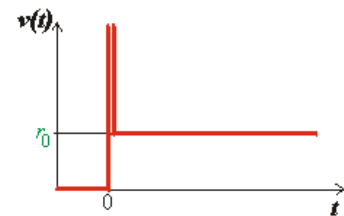
**PD**

$$v = r_0 \cdot e(t) + r_1 \frac{de(t)}{dt}$$

$$F_R(p) = r_0 + r_1 p$$

$$v = r_0 \cdot \left[e(t) + T_d \frac{de(t)}{dt} \right]$$

$$F_R(p) = r_0 (1 + T_d p)$$

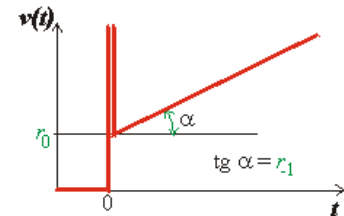
**PID**

$$v = r_0 \cdot e(t) + r_{-1} \int_0^t e(\tau) \cdot d\tau + r_1 \cdot \frac{de(t)}{dt}$$

$$F_R(p) = r_0 + \frac{r_{-1}}{p} + r_1 p$$

$$v = r_0 \cdot \left[e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(\tau) \cdot d\tau + T_d \frac{de(t)}{dt} \right]$$












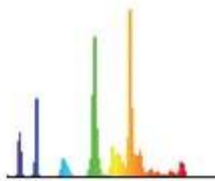

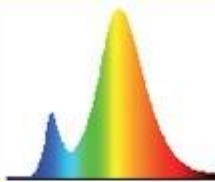

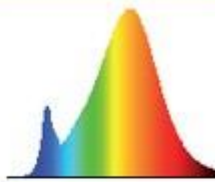

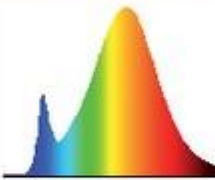

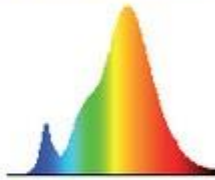

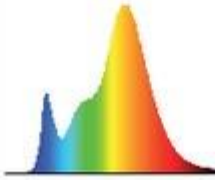

$$F_R(p) = r_0 \left(1 + \frac{1}{T_i p} + T_d p \right)$$



$$\text{Přenos: } U_2 = -A * U_1 \quad (3)$$

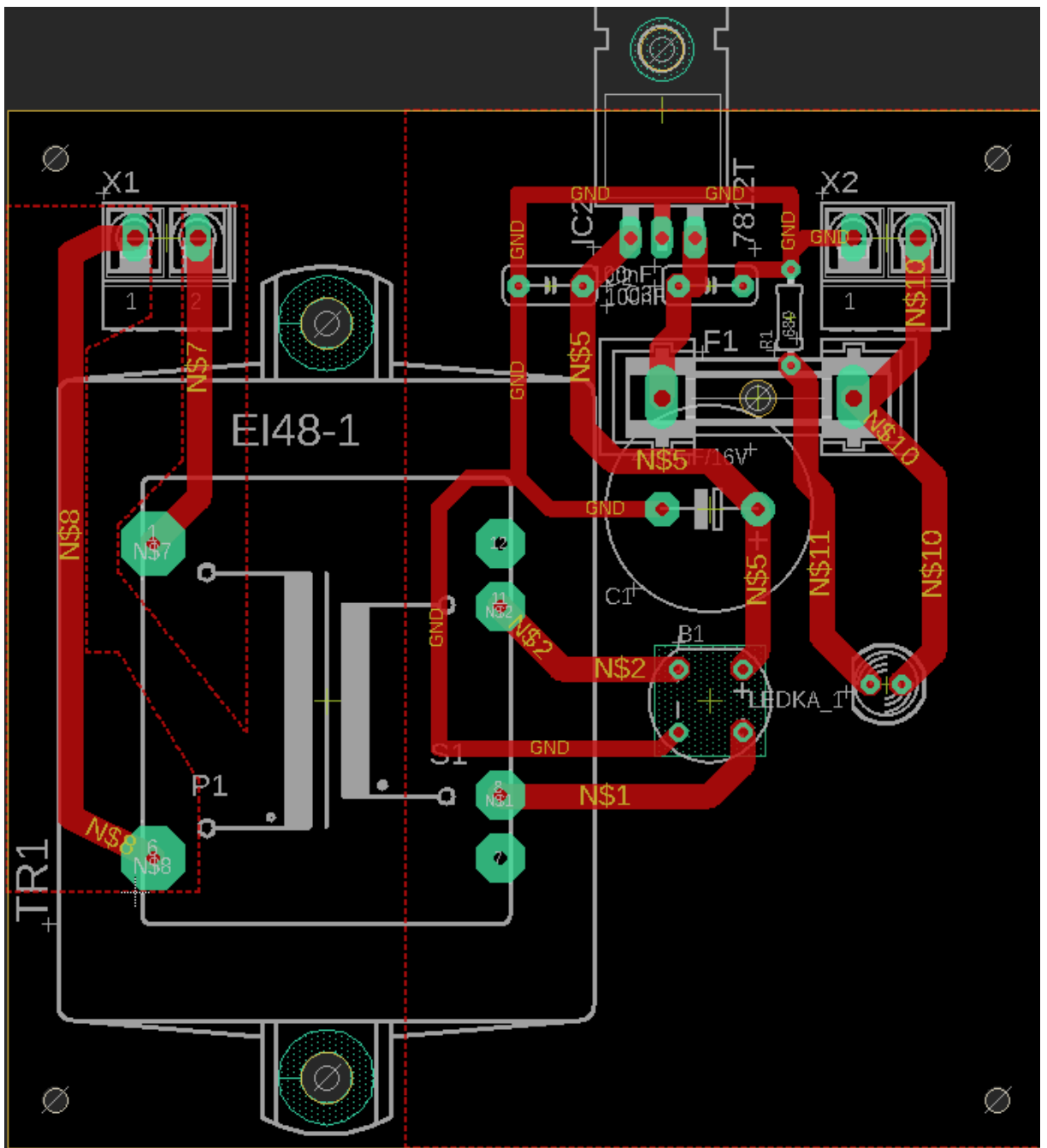
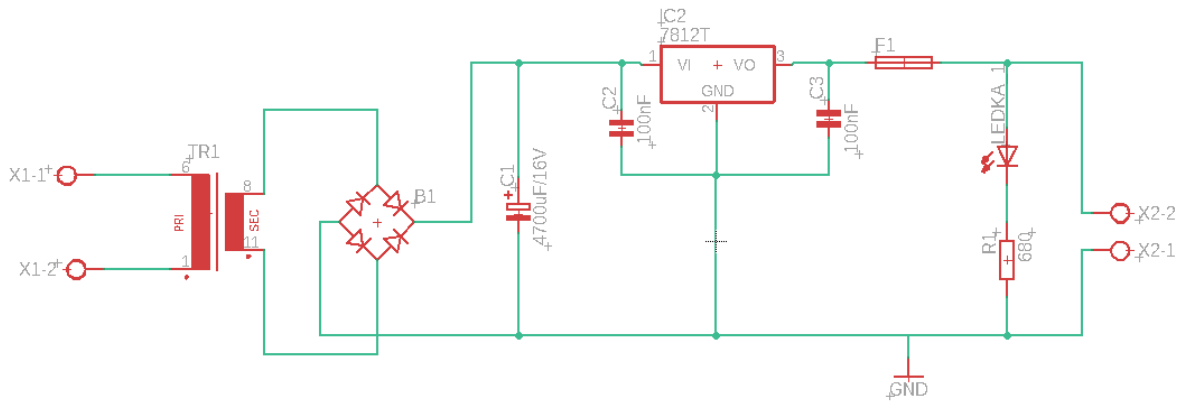
$$\text{tedy } U_1 = \frac{R_2}{R_1} * U_2 \quad (4)$$

³¹ <http://uprt.vscht.cz/kminekm/mrt/F3/F3k34-sprg.htm>

Philips Classicitone		Philips Classicitone frosted	
			
Philips Eco Classic		Osram Eco Pro Classic A	
			
Osram Dulux Intelligent		Osram Dulux Intelligent Twist	
			
Osram Parathom CL A 80061		Osram Parathom CL A 75	
			
Philips Master LEDbulb		Panasonic LDAHV 10L27CGE	
			
Tesla Crystal LED		Denní světlo o teplotě chromatičnosti 6 500 K	
			

Příloha 8.G - Přehled spekter běžných svítidel³²

³² http://www.odbornecasopisy.cz/img/content/S_02_2015_zdrojedom_tab_02.jpg



Příloha 9.1 – Návrh a schéma desky plošných spojů