

Univerzita Pardubice
Fakulta elektrotechniky a informatiky

Automatizovaný pěstební box
Diplomová práce

Univerzita Pardubice
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Akademický rok: 2024/2025

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Dalibor Ficek**
Osobní číslo: **I23259**
Studijní program: **N0714A150005 Automatické řízení**
Téma práce: **Automatizovaný pěstební box**
Zadávací katedra: **Katedra automatizace a matematiky**

Zásady pro vypracování

Cílem práce je návrh a realizace automatizovaného pěstebního boxu. Základními regulovatelnými veličinami budou teplota, vlhkost a osvětlení.

Teoretická část práce bude obsahovat podrobnou analýzu současné nabídky trhu se zařízeními této kategorie. Bude uveden podrobný popis principů měření a regulace požadovaných technologických veličin. Z analýzy nabídky trhu bude vycházet návrh vlastního technického řešení zařízení pro automatizované pěstování rostlin. Automatický pěstební režim bude umožňovat pěstování rostlin předem stanoveným postupem, který bude uložen v paměti mikropočítače řídicího obvodu.

V praktické části bude realizována a otestována konstrukce pěstebního boxu. Monitorování, konfigurace a ovládání zařízení bude možné provádět buď autonomně, ovládacími a zobrazovacími prvky na zařízení, nebo z aplikace operačního systému Windows, nebo mobilního zařízení. K realizaci hardwarového řešení elektronické řídicí jednotky bude použit vývojový modul s jednočipovým mikropočítačem, např. modul Arduino, STM32, ESP32 atp. Součástí práce budou podrobné výrobní podklady k realizovanému zařízení a uživatelský manuál.

Rozsah pracovní zprávy: **60**
Rozsah grafických prací:
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

BENTON, J., Hydroponii: a guide to soilless culture systems, Taylor & Francis Inc, 2004. ISBN 9780849331671.

MATOUŠEK, D., Práce s mikrokontroléry ATMEL AVR-3.díl, edice uP a praxe, 2. vydání, BEN – technická literatura, 2006, ISBN 80-7300-209-4

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Libor Havlíček, Ph.D.**
Katedra automatizace a matematiky

Datum zadání diplomové práce: **8. listopadu 2024**
Termín odevzdání diplomové práce: **23. května 2025**

prof. Ing. Petr Doležel, Ph.D. v.r.
děkan

L.S.

Ing. Libor Kupka, Ph.D. v.r.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 11. listopadu 2024

Prohlašuji:

Práci s názvem Automatizovaný pěstební box 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., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, 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. 7/2019 Pravidla pro odevzdávání, zveřejňování a formální úpravu závěrečných prací, ve znění pozdějších dodatků, bude práce zveřejněna prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 11. 5. 2025

Bc. Dalibor Ficek v.r.

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji mému vedoucímu práce Ing. Liboru Havlíčkovi, Ph.D. za odborné rady při tvorbě této práce.

Dále za veškerou podporu děkuji svým blízkým a příjemnému školnímu kolektivu, který se mnou nadále pokračoval do navazujícího studia.

ANOTACE

Tato práce se týká návrhu a konstrukce automatizovaného pěstebního boxu, ve kterém lze regulovat a ovládat osvětlení, teplotu, vlhkost, ventilaci a závlahu. Práce dále obsahuje experiment pěstování paprik pro ověření funkčnosti boxu.

KLÍČOVÁ SLOVA

Pěstební box, mikroklima, teplota, vlhkost, osvětlení

TITLE

Automated grow box

ANNOTATION

This work is about desing and construction of automated grow box with controlled illumination, temperature, humidity, ventilation and irrigation. This work also contains capsicum growing experiment to test the functionality of this grow box.

KEYWORDS

Grow box, microclimate, temperature, humidity, illumination

OBSAH

SEZNAM ILUSTRACÍ A TABULEK.....	9
SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK	10
ÚVOD	11
1. REŠERŠE	12
1.1 Analýza trhu.....	12
1.2 Základní požadavky na pěstební box.....	13
1.3 Biologické základy růstu rostlin	14
1.4 Osvětlení	15
1.5 Teplota	16
1.6 Vlhkost.....	16
1.7 Závlaha a výživa	17
1.8 Ventilace	18
1.9 Senzorika	18
1.10 Energetická náročnost.....	19
2. KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ.....	20
2.1 Návrh konstrukce	20
2.2 Osvětlení	23
2.3 Ventilace	25
2.4 Vytápění.....	26
2.5 Zvlhčování vzduchu.....	27
2.6 Závlaha.....	28
2.7 Měření intenzity osvětlení	29
2.8 Měření teploty a relativní vlhkosti.....	30
2.9 Ovládací panel	31
2.10 Mikrokontrolér.....	31

2.11 Hodiny reálného času.....	32
2.12 Zobrazovač.....	32
2.13 Spínací prvek osvětlení.....	32
2.14 Spínací prvek dvoustavově regulovaných systémů	33
2.15 Napájení.....	33
2.16 Software	35
2.17 Data Streamer	39
2.18 Návod k použití.....	39
2.19 Změřené odezvy systému.....	45
2.20 Kalibrace měření osvětlení	48
2.21 Experiment pěstování paprik	49
ZÁVĚR	52
POUŽITÁ LITERATURA	54
SEZNAM PŘÍLOH.....	56
OBSAH PŘILOŽENÉHO DVD NOSIČE	72

SEZNAM ILUSTRACÍ A TABULEK

Obrázek 1: HomeBox Ambient (Homebox Ambient, 2025).....	12
Obrázek 2: LED pěstební osvětlení (LedMeGrow, 2025).....	15
Obrázek 3: Nákres tvaru stanu s rozměry.....	21
Obrázek 4: Přehledové blokové schéma.....	23
Obrázek 5: Osvětlovací deska.....	24
Obrázek 6: Modul topení (Přímotop, 2025).....	26
Obrázek 7: Modul ultrazvukového zvlhčovače (Zvlhčovač, 2025).....	27
Obrázek 8: Modul ponorného čerpadla (Čerpadlo, 2025).....	28
Obrázek 9: Modul fotovoltaického panelu 50x50mm (Panel, 2025).....	29
Obrázek 10: Modul DHT11 (Čidlo, 2025).....	30
Obrázek 11: Blokové schéma napájení.....	34
Obrázek 12: Princip algoritmu PS (PI) regulátoru.....	37
Obrázek 13: Princip algoritmu dvoustavového regulátoru.....	37
Obrázek 14: Princip běhu programového vybavení.....	38
Obrázek 15: „Základní menu“.....	39
Obrázek 16: Menu „Nastavení času“.....	40
Obrázek 17: Menu „Ruční nastavení“.....	41
Obrázek 18: Menu „Automatické programy“.....	41
Obrázek 19: Nastavení závlahy automatického programu.....	42
Obrázek 20: Spuštění automatického programu.....	42
Obrázek 21: Běh programu.....	42
Obrázek 22: Blokové schéma rozložení menu.....	43
Obrázek 23: Mapa celého menu.....	44
Obrázek 24: Ovládací panel.....	45
Obrázek 25: Papriky z boxu po čtyřech týdnech.....	49
Obrázek 26: Kontrolní papriky (mimo box) po čtyřech týdnech.....	50
Obrázek 27: Papriky z boxu po sedmi týdnech.....	50
Obrázek 28: Kontrolní papriky (mimo box) po sedmi týdnech.....	51
Tabulka 1: Parametry přednastavených programů.....	45

SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK

CO₂ – oxid uhličitý

IoT – internet věcí

LED – svítivá dioda

HPS – vysokotlaká sodíková výbojka

MH – halogenidová výbojka

CFL – kompaktní zářivka

PTC – pozitivní teplotní koeficient

NTC – negativní teplotní koeficient

RH – relativní vlhkost

pH – kyselost/zásaditost

EC – elektrická vodivost

UART – universal asynchronous receiver-transmitter

I²C – Inter-Integrated circuit

SPI – Serial Peripheral Interface

SELV – safety extra low voltage

LCD – display z tekutých krystalů

OZ – operační zesilovač

IDE – integrované vývojové prostředí

EEPROM – elektricky vymazatelná paměť pouze pro čtení

PC – osobní počítač

USB – univerzální sériová sběrnice

ÚVOD

Na trhu existují pěstební boxy určené pro hobby i profesionální použití. Hobby pěstební boxy jsou poměrně drahé, zvláště vezmeme-li v potaz, že jejich automatizace bývá minimální nebo zcela chybí. Profesionální velké pěstební boxy naopak nabízejí pokročilejší automatizační funkce, ale jsou výrazně dražší a pro běžné domácí použití často nedostupné. Tato práce se zaměřuje na návrh a realizaci cenově dostupného, ale vysoce funkčního pěstební boxu, který nabídne pokročilou automatizaci obvyklou spíše u profesionálních zařízení.

Hlavním cílem je vytvoření univerzálního automatizovaného pěstební boxu s důrazem na kvalitní a přehledný software a zároveň jednoduchý, bezpečný, spolehlivý a snadno realizovatelný hardware. Zařízení má umožnit pohodlné pěstování rostlin v domácích podmínkách, s co nejmenšími nároky na obsluhu a s možností dlouhodobého bezúdržbového provozu.

První část práce se věnuje rešerši v oblasti biologie rostlin, základům jejich potřeb při pěstování a obecným požadavkům na pěstební prostředí. Jsou zde rovněž shrnuty principy návrhu samotného pěstební boxu – například jaké parametry sledovat, jakými prostředky je možné je regulovat a jaká technická řešení se běžně používají.

Druhá část práce je zaměřena na samotné zařízení, jeho konstrukci, důležité bezpečnostní aspekty a konkrétní řešení hardwarové a softwarové části. Popsány jsou také experimenty s pěstebním boxem, včetně praktického testu při pěstování paprik, na jehož základě byla ověřena funkčnost zařízení v reálném provozu.

V práci je rovněž uvedena ukázka konstrukce zařízení. Ta je však silně modulární a subjektivní, což umožňuje, aby si uživatel přizpůsobil výslednou podobu boxu svým vlastním potřebám. Díky tomu může být zařízení mechanicky postaveno různými způsoby bez ztráty funkčnosti.

1. REŠERŠE

1.1 Analýza trhu

Na trhu existuje široká škála pěstebních boxů a hydroponických systémů, které se liší konstrukcí, funkcionalitou a cenou. Základní pěstební boxy, jako například Homebox Ambient a Secret Jardin, nabízejí pouze osvětlení a ventilaci, přičemž automatizace je zde minimální a vyžaduje manuální zásahy. Nacházejí se v cenové relaci okolo 5000 Kč. (HiGarden, 2025, SecretJardin, 2025)



Obrázek 1: HomeBox Ambient (Homebox Ambient, 2025)

Pokročilejší grow boxy, jako je Niwa Grow Hub nebo Grobo Premium, obsahují senzory pro měření vlhkosti, teploty a dalších parametrů, přičemž umožňují řízení přes aplikace nebo dotykové panely. (Grobo, 2025, Niwa, 2025)

Hydroponické systémy, například AeroGarden, poskytují pěstování rostlin bez substrátu za využití vody obohacené živinami, přičemž často disponují integrovanými čerpadly a regulací pH či EC (vodivost vody). Pro profesionální a komerční účely jsou určeny modulární systémy pro vertikální farmy, jako je Tower Garden, které optimalizují prostor a maximalizují produkci. (AeroGarden, 2025, Tower Garden, 2025)

Cenové kategorie těchto produktů se pohybují od nízkonákladových řešení v řádu tisíců korun, která nabízejí základní funkce, až po prémiové systémy přesahující 20 000 Kč, které zahrnují plnou automatizaci, řízení CO₂, podporu IoT a sofistikované osvětlení. (AeroGarden, 2025, Hydrobuilder, 2025, Tower Garden, 2025)

Mezi aktuální trendy v oblasti indoor pěstování patří rozvoj IoT technologií umožňujících vzdálený monitoring a řízení, využití energeticky úsporného osvětlení, modulární řešení usnadňující rozšiřování kapacity, a personalizace pěstebních režimů přizpůsobených konkrétním druhům rostlin. (AeroGarden, 2025, Hydrobuilder, 2025)

1.2 Základní požadavky na pěstební box

Při návrhu automatizovaného pěstebního boxu je důležité zohlednit několik klíčových aspektů týkajících se rozměrů, konstrukce, materiálů a bezpečnosti. Rozměry pěstebního boxu by měly být přizpůsobeny typu rostlin, které mají být pěstovány, a dostupnému prostoru pro zařízení. Optimální velikost umožňuje efektivní růst rostlin a zároveň minimalizuje prostorové nároky v místnosti. Konstrukce boxu musí být dostatečně robustní, stabilní a zároveň snadno přizpůsobitelná pro údržbu a manipulaci s komponenty. Materiály použité pro konstrukci by měly zahrnovat izolační materiály, jako je polystyren, polyuretan, polyester apod., které pomáhají udržet stabilní teplotu a chrání zařízení před tepelnými ztrátami. Odrazivost světla je klíčová pro efektivitu osvětlení, a proto je vhodné použít materiály s vysokou odrazivostí, například Mylar nebo lesklé hliníkové fólie, které zajistí rovnoměrné rozložení světla a maximalizují účinnost osvětlení. Zároveň je však možné pro nějaké rostliny použít průhledné materiály a využívat tak navíc vnějšího slunečního záření. Co se týče odolnosti proti vlhkosti, doporučuje se použít materiály, které jsou odolné vůči korozi a poškození vlhkostí, jako jsou plastové, hliníkové nebo nerezové komponenty. Bezpečnostní aspekty, jako je elektrická ochrana a odolnost proti přehřátí, jsou rovněž zásadní. Pěstební box bude obsahovat elektrické komponenty (osvětlení, ventilátory, senzory), a proto je nezbytné implementovat ochranné mechanismy proti zkratu, vlhkosti atd. K tomu mohou sloužit certifikované elektrické komponenty, pojistky, vhodné umístění komponent a další způsoby zabezpečení. Vzhledem k přítomnosti topných prvků a osvětlení je důležité zajistit adekvátní ventilaci a chlazení, aby se předešlo přehřátí, a to buď pasivně, nebo aktivně pomocí ventilátorů, které zároveň mohou obstarávat funkci cirkulace a výměny vzduchu v boxu. Co se týče konstrukce, je možné volit mezi modulární nebo pevnou variantou. Modulární konstrukce nabízí flexibilitu při změně velikosti a uspořádání zařízení, což může být výhodné v případě, že je potřeba upravit kapacitu nebo přizpůsobit box pro různé typy rostlin.

Naopak pevná konstrukce je stabilnější a jednodušší na výrobu, avšak méně přizpůsobitelná v případě potřeby změn. Výběr mezi těmito dvěma variantami závisí na specifických požadavcích uživatele a na tom, zda se zařízení plánuje používat v jedné konfiguraci nebo bude potřeba přizpůsobení v budoucnosti. Pro dosažení dlouhodobé udržitelnosti a efektivity by měl být pěstební box navržen tak, aby byl bezpečný, funkční a flexibilní v rámci možných úprav a rozšíření. (JONES, 2005, RESH, 2022, WRIGHT, 2015, Growace, 2025, Hydrobuilder, 2025)

1.3 Biologické základy růstu rostlin

Růst rostlin je ovlivněn několika klíčovými faktory, které je třeba v automatizovaném pěstebním boxu pečlivě regulovat. Mezi základní potřeby rostlin patří světlo, voda, živiny, teplota a vzduch. Světlo je nezbytné pro fotosyntézu, při které rostlina přeměňuje světelnou energii na chemickou energii. Pro indoor pěstování je nutné zajistit umělé osvětlení, které bude mít optimální intenzitu a spektrum. Rostliny nejlépe využívají modré a červené spektrum světla – modré světlo podporuje růst listů, zatímco červené světlo je klíčové pro kvetení a plození. Intenzita světla a fotoperioda (délka denního světla) mají přímý vliv na růst a vývoj rostlin. Některé rostliny vyžadují denní a noční cykly mezitím co jiné rostliny mohou mít světlo neustále. Voda je nezbytná pro transport živin, metabolismus a chlazení rostliny, přičemž je třeba zajistit správnou vlhkost vzduchu a rovnoměrné zavlažování. Zároveň musí být k dispozici dostatečné množství živin, jako jsou dusík, fosfor, draslík a vápník, které rostliny potřebují pro růst a vývoj. Teplota, která by měla být v rozmezí 18–30 °C (záleží na rostlině), ovlivňuje metabolické procesy rostlin, a proto je klíčové mít v pěstebním boxu regulovaný teplotní systém. Vzduch, konkrétně koncentrace oxidu uhličitého (CO₂), je důležitý pro fotosyntézu, zatímco kyslík je nezbytný pro dýchání rostliny. V pěstebním boxu je nutné zajistit dostatečné proudění vzduchu a ventilaci, aby se udržovala optimální koncentrace CO₂ a zabránilo se stagnaci vzduchu (aby se cirkulací vzduchu uvnitř boxu dostával čerstvý vzduch k listům a také aby byl do boxu nasáván čerstvý vzduch z okolí). Mikroklima v pěstebním boxu tedy zahrnuje nejen teplotu, vlhkost a CO₂, ale také ventilaci, která je zásadní pro zdraví rostlin. Pro úspěšné pěstování je důležité, aby pěstební box byl přizpůsoben specifickým potřebám každé rostliny, přičemž je třeba zohlednit její nároky na světlo, teplotu a vlhkost. Růst rostlin probíhá ve třech hlavních fázích: klíčení, vegetativní růst a kvetení. Klíčení je první fáze, kdy semeno začíná klíčit a vytváří kořenový systém a první listy. V této fázi je klíčová správná teplota a vlhkost. Vegetativní růst zahrnuje expanzi kořenového systému, listů a stonků, což vyžaduje intenzivní osvětlení a optimální

teplotu. Fáze květu je rozhodující pro plodnost rostlin a tvorbu květů a plodů. Celkově je pro efektivní automatizované pěstování rostlin kladen důraz na precizní monitorování a řízení těchto parametrů v reálném čase. Vhodnost rostliny pro vnitřní pěstování se také různí. Například nějaké rostliny není prakticky možné vypěstovat ve vnitřním prostředí a jiné rostliny naopak prosperují. (JONES, 2005, RAVEN, 2013, TAIZ, 2015, Growace, 2025, Hydrobuilder, 2025)

1.4 Osvětlení

Osvětlení je klíčovou složkou při návrhu automatizovaného pěstebního boxu, protože zásadně ovlivňuje růst a vývoj rostlin. Při výběru osvětlení je nutné zvážit typ světelných zdrojů, jejich spektrum, výkon a energetickou účinnost. Mezi nejčastěji používané technologie patří LED diody, HPS (sodíkové výbojky), MH (halogenidové výbojky), CFL (kompaktní zářivky) a T5 fluorescenční trubice. LED diody jsou dnes nejčastější volbou díky jejich vysoké energetické účinnosti, nízké produkci tepla a možnosti přesného nastavení intenzity pro různé fáze růstu. Důležitým aspektem je také volba správného světelného spektra: modré světlo (400–500 nm) podporuje růst listů, červené světlo (600–700 nm) stimuluje kvetení a plodnost, přičemž celospektrální LED zdroje jsou schopny pokrýt celé spektrum potřebné pro všechny fáze růstu. Další klíčovou otázkou je energetická efektivita, kde LED světla výrazně převyšují ostatní technologie. Regulace osvětlení zahrnuje nastavení intenzity světla pomocí stmívačů nebo PWM, stejně jako řízení fotoperiody pomocí časovačů, například 18 hodin světla a 6 hodin tmy pro vegetativní fázi atd. Rovnoměrné rozložení světla v boxu je klíčové pro rovnoměrný růst rostlin, čehož lze dosáhnout optimálním rozmístěním světel a použitím odrazivých nebo difuzních materiálů, jako je Mylar nebo lesklá hliníková nebo bílá fólie, které maximalizují využití světla. Vhodné rozmístění a nastavení světel zabraňuje nežádoucím stínům nebo popálení rostlin a umožňuje rovnoměrné osvětlení celé pěstební plochy. Správná kombinace všech těchto prvků je zásadní pro dosažení vysoké efektivity a výnosů. (Growace, 2025, Hydrobuilder, 2025)



Obrázek 2: LED pěstební osvětlení (LedMeGrow, 2025)

1.5 Teplota

Každý druh rostliny má specifické teplotní rozmezí, které je optimální pro jeho fotosyntézu, transpiraci, růst buněk a další fyziologické procesy. Obecně se optimální teplota pro většinu rostlin pohybuje mezi 18–30 °C, přičemž denní a noční teploty mohou být rozdílné. Překročení tohoto rozmezí, ať už směrem k nízkým nebo vysokým hodnotám, může způsobit zpomalení růstu, poškození buněk nebo dokonce odumření rostlin. K regulaci teploty se v pěstebních boxech využívají různé technologie, jako jsou přímotopná tělíska, infračervené žárovky nebo PTC články. Pro ohřev vzduchu lze použít keramická nebo odporová topná tělíska, která jsou efektivní a snadno regulovatelná, nebo infračervené ohříváče, které teplo cíleně směřují na rostliny. Topné rohože jsou zase vhodné pro ohřev kořenové zóny. Chlazení může být realizováno pomocí ventilátorů, které zajišťují cirkulaci vzduchu nebo naženou do boxu studený okolní vzduch. Pro větší a složitější boxy lze zvolit kompresorové chladicí jednotky (klimatizace). Aby se minimalizovaly tepelné ztráty, doporučuje se box izolovat materiály, jako je polystyren nebo reflexní fólie, a zajistit těsnění všech spojů a otvorů. Klíčovou součástí regulace teploty je přesné měření, které lze provádět různými typy čidel. Analogová čidla, jako jsou termistory nebo rezistorové senzory (např. Pt100), nabízejí spolehlivost a přesnost, zatímco digitální senzory, jako DS18B20 nebo DHT22, poskytují snadnou integraci s mikrokontroléry a kombinované měření teploty a vlhkosti. Bezkontaktní infračervené senzory (např. MLX90614) jsou vhodné pro měření povrchové teploty rostlin, aniž by bylo nutné s nimi fyzicky manipulovat. Moderní integrované moduly, jako je BME280, umožňují komplexní měření teploty, vlhkosti a tlaku v kompaktním provedení. Pro udržení optimálních tepelných podmínek v domácím boxu lze použít jednoduché automatizované řízení na bázi dvoustavové on/off regulace. Vhodná izolace, efektivní zařízení a přesné měření tak zajišťuje dostatečně stabilní teplotní prostředí pro úspěšné pěstování rostlin. (RESH, 2022, Growace, 2025, Hydrobuilder, 2025)

1.6 Vlhkost

Vlhkost ovlivňuje fotosyntézu, otevírání průduchů a celkovou vodní bilanci rostlin. Příliš nízká vlhkost může způsobit stres rostlin, vedoucí k vadnutí nebo zpomalení růstu, zatímco příliš vysoká vlhkost podporuje šíření plísní a bakteriálních infekcí. Ideální vlhkost se liší v závislosti na druhu rostliny, přičemž například tropické rostliny vyžadují 60–90 % vlhkosti, zatímco suchomilné druhy preferují hodnoty kolem 30–50 %. Zvyšování vlhkosti lze zajistit různými způsoby, například pomocí ultrazvukových zvlhčovačů, které generují jemnou mlhu prostřednictvím ultrazvukových vibrací při nízké spotřebě energie.

Další možností je využití přirozeného odpařování vody z otevřených nádob nebo zvlhčovacích rohoží, které jsou cenově dostupné, avšak méně efektivní pro větší prostory a složitější pro regulaci. Pro účely rychlého snížení vlhkosti se často používají elektrické odvlhčovače vzduchu, které odstraňují přebytečnou vlhkost pomocí chladicích smyček, nebo ventilace, která zajišťuje výměnu vlhkého vzduchu za sušší. Pro menší prostory lze využít i absorpční materiály, jako je silikagel. Měření vlhkosti je nezbytné pro efektivní regulaci a používají se k němu hygrometry. Analogové hygrometry fungují na bázi vlhkostně citlivých materiálů, jako jsou například syntetická vlákna, a poskytují základní orientaci bez potřeby napájení. Moderní digitální hygrometry, například s kapacitními nebo odporovými senzory, nabízejí vyšší přesnost, dostatečně rychlou odezvu na změny vlhkosti a snadnou integraci s mikropočítači. Tyto pokročilé modely často zahrnují možnost měření i dalších veličin, jako je například teplota. (MARTINEK, 2004, RESH, 2022, ZHANG, 2016, Growace, 2025, Hydrobuilder, 2025)

1.7 Závlaha a výživa

Zavlažování a výživa jsou klíčovými aspekty automatizovaného pěstebního boxu, přičemž správná volba zavlažovacích systémů, substrátů a hnojiv může zásadně ovlivnit úspěch pěstování rostlin. Mezi nejběžnější zavlažovací systémy patří jednoduché cyklické zalévání, kapková závlaha, jako komplikovanější metoda pěstování pak hydroponie a aeroponie. Kapková závlaha je efektivní metodou, která umožňuje přímou distribuci vody ke kořenům rostlin, což minimalizuje ztráty vody a poskytuje rostlinám stabilní přísun vláhy. Hydroponie, kde rostliny rostou ve vodním roztoku bohatém na živiny, se využívá především v kontrolovaných podmínkách pro pěstování zeleniny a bylinek, zatímco aeroponie, která používá vzduch k podpoře kořenů rostlin zavlažovaných jemným sprejem živného roztoku, je neefektivnější metodou pro intenzivní pěstování. Automatizace zavlažování v těchto systémech může být zajištěna pomocí časovačů, které spouštějí zavlažování v pravidelných intervalech, nebo čidel vlhkosti, která monitorují úroveň vlhkosti v substrátu nebo půdě a podle potřeby regulují zavlažování. Dále jsou vhodná čidla pro měření EC (elektrické vodivosti) a pH roztoku, která pomáhají udržovat optimální živné podmínky pro rostliny a předcházejí problémům s nedostatkem nebo přebytkem živin. Pro správný výběr substrátu je třeba zvážit různé možnosti v závislosti na zvoleném pěstebním systému: například kokosová vlákna a perlit jsou populární v hydroponii a aeroponii díky svým schopnostem zadržovat vodu a poskytovat dobré provzdušnění kořenům, zatímco pro tradičnější pěstování v půdě se používají směsi s dobrou drenáží a schopností udržet živiny. Co se týče hnojiv, existují dvě

hlavní kategorie: minerální a organická hnojiva. Minerální hnojiva poskytují rostlinám rychlý přístup k živinám, což je ideální pro systémy jako hydroponie, kde je potřeba přesně řídit jejich dávkování, zatímco organická hnojiva se pomalu uvolňují a podporují zdravý růst rostlin v dlouhodobém horizontu. Měření a úprava pH a EC roztoku jsou zásadní pro úspěšné pěstování v hydroponických a aeroponických systémech. Příliš nízké nebo vysoké hodnoty pH mohou výrazně omezit schopnost rostlin přijímat živiny, zatímco EC měří koncentraci živin v roztoku a pomáhá kontrolovat optimální hodnoty pro růst rostlin. Tato automatizovaná měření a regulace jsou dobrá pro efektivní pěstování rostlin. (JONES, 2005, RESH, 2022, ZHANG, 2016, Growace, 2025, Hydrobuilder, 2025)

1.8 Ventilace

Ventilace je jedním z nejdůležitějších prvků pěstebních boxů, kde je nezbytné zajistit správnou distribuci oxidu uhličitého (CO_2) a vlhkosti, což jsou zásadní faktory pro optimální růst rostlin. Aktivní ventilace, která zahrnuje přívodní a odtahové ventilátory, umožňuje efektivní řízení těchto parametrů. Přívodní ventilátory zajišťují čerstvý vzduch z vnějšího prostředí, zatímco odtahové ventilátory odvádějí přebytečný vzduch a CO_2 , čímž udržují stabilní prostředí v boxu. Obě funkce může samozřejmě také obstarávat jeden ventilátor. K regulaci intenzity ventilace lze využít senzory CO_2 a vlhkosti, které automaticky upravují činnost ventilátorů podle aktuálních podmínek. Pasivní ventilace, která zahrnuje ventilační otvory a přirozený pohyb vzduchu bez použití elektrických ventilátorů, může být použita jako doplňkový systém pro zajištění přirozeného proudění vzduchu. Filtrace vzduchu je rovněž vhodná, uhlíkové filtry jsou nejběžnějším řešením pro případné odstranění zápachů, které mohou vznikat při růstu rostlin. Pro efektivní regulaci ventilace a šetření energií lze použít technologie, jako je PWM, která umožňuje plynulé řízení rychlosti ventilátorů, nebo dvoustavovou regulaci, která zajišťuje cyklické spínání. (Growace, 2025, Hydrobuilder, 2025)

1.9 Senzorika

Mezi základní používané senzory patří teplotní, vlhkostní, světelné, případně senzory CO_2 , pH a elektrické vodivosti (EC). Teplotní senzory, jako jsou NTC termistory, PT100/1000 nebo digitální senzory typu DHT22 a DS18B20, poskytují spolehlivé měření teploty s vysokou přesností. Pro měření vlhkosti se používají jak půdní senzory (kapacitní nebo odporové), tak senzory vlhkosti vzduchu (například DHT22 nebo AM2320). Světelné senzory, jako BH1750, TSL2591 nebo pokročilé spektrální senzory AS7341, umožňují monitorovat intenzitu i spektrum světla, což je klíčové pro optimalizaci fotosyntézy. Měření koncentrace oxidu uhličitého zajišťují senzory jako MG811 nebo MH-Z19, které jsou

kalibrované pro prostředí s rostlinami. Senzory pH a EC, například elektrochemické sondy a TDS senzory, umožňují monitorovat kvalitu vody a živinového roztoku. (MARTINEK, 2004, ZHANG, 2016)

Každý senzor má specifické nároky na přesnost, rychlost odezvy a spolehlivost. Přesnost měření je klíčová pro efektivní regulaci prostředí a je ovlivněna jak kvalitou senzoru, tak i procesem kalibrace. Doba odezvy senzorů je důležitá zejména u veličin, které se rychle mění, jako je vlhkost vzduchu nebo koncentrace CO₂. Pro zajištění dlouhodobé spolehlivosti je třeba brát v úvahu odolnost senzorů vůči vlhkosti, prachu a chemickým látkám, které mohou být přítomny v prostředí pěstebního boxu. Integrace senzorů do řídicího systému je realizována prostřednictvím analogových nebo digitálních rozhraní, jako jsou I²C, SPI nebo UART, která umožňují efektivní komunikaci s mikrokontroléry, například Arduino, STM32 nebo ESP32. Kalibrace senzorů je nezbytná pro udržení přesnosti měření, a to zejména u pH a EC senzorů, kde se používají standardizované postupy, jako je dvoubodová kalibrace pH s pufrovacími roztoky. (MARTINEK, 2004, ZHANG, 2016)

1.10 Energetická náročnost

Spotřeba energie jednotlivých komponent zahrnuje především osvětlení, topení, chlazení, senzory a řídicí jednotku. Moderní LED osvětlení, nabízí vysoký světelný tok při nízké spotřebě energie a dlouhou životnost, což z něj činí ideální volbu pro efektivní provoz. Topení a chlazení lze optimalizovat prostřednictvím přesné regulace pomocí teplotních senzorů, aby se snížil jejich provoz pouze na nezbytné minimum. Zavlažovací systém, který obvykle zahrnuje nízkopříkonová čerpadla, která neběží dlouho, má minimální spotřebu. Spotřeba samotného mikrokontroléru je v podstatě zanedbatelná.

Pro další snížení energetických nároků lze implementovat programovatelné režimy, jako je plánování osvětlení dle denních cyklů, úprava intenzity světla podle fáze růstu rostlin, využití slunečního záření a umístění boxu do vhodného místa. Napájení zařízení může být zajištěno pomocí síťových adaptérů, které poskytují stabilní zdroj energie, nebo alternativně bateriovými systémy, jež slouží jako záložní zdroj při výpadku elektřiny, pokud je požadován nepřerušitelný provoz. Případnou možností jsou solární panely, které mohou částečně nebo zcela pokrýt energetické nároky boxu, zejména pokud jsou kombinovány s regulátorem nabíjení a bateriemi. Kombinace různých zdrojů energie (například hlavního síťového napájení a solárních panelů) může zlepšit flexibilitu a soběstačnost zařízení. (Growace, 2025, Hydrobuilder, 2025)

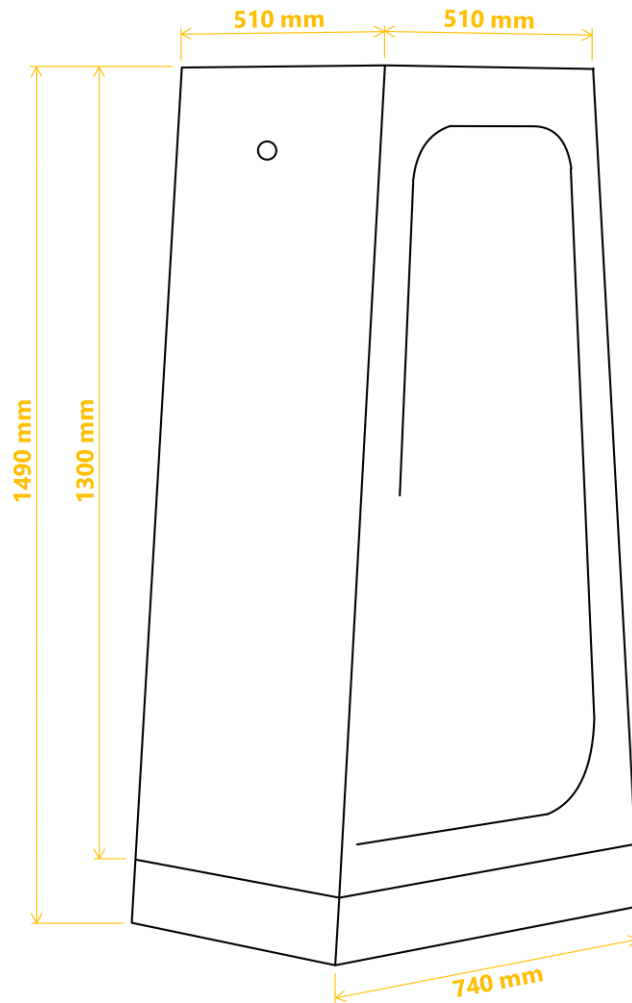
2. KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ

2.1 Návrh konstrukce

Stan IKEA VUKU, původně určený jako úložný prostor pro oblečení, se díky svým konstrukčním vlastnostem jeví jako velmi vhodná a cenově dostupná alternativa pro výrobu pěstební boxu. Jeho konstrukce vychází ze skládacího rámu s textilními stěnami, přičemž jeho materiály vykazují řadu vlastností, které jsou z hlediska pěstebních podmínek a konstrukčních vlastností velmi výhodné.

Jedním z klíčových aspektů je plastové nepropustné dno, které brání pronikání vlhkosti z interiéru stanu do okolního prostředí. Tato vlastnost je zásadní, jelikož je uvnitř boxu aktivní zavlažovací a zvlhčovací systém, a tím pádem hrozí kondenzace nebo rozlití vody. Plastové nepropustné dno zajišťuje nejen ochranu okolního nábytku nebo podlahy, ale zároveň vytváří hygienické a snadno udržovatelné prostředí, což je pro dlouhodobý provoz zařízení klíčové. Stěny stanu jsou vyrobeny z tenkého, světle propouštějícího plastu, který umožňuje rozptýlení osvětlení rostlin a navíc využití okolního osvětlení (např. slunce) bez nutnosti dodatečné úpravy konstrukce. Přestože není materiál zcela neprůhledný, zajišťuje dostatečnou izolaci vnitřního prostředí, což usnadňuje udržení stabilních mikroklimatických podmínek. Přední stěna se do široka otevírá pomocí zipu.

Z hlediska umístění elektronických komponent je třeba věnovat zvýšenou pozornost jejich ochraně proti vlhkosti a kondenzaci. Vnitřní prostředí pěstební boxu je vystaveno vyšší relativní vlhkosti, která může dosáhnout až 90-100 %, v závislosti na druhu pěstovaných rostlin, závlahy a zvlhčování, ventilaci atd. Z tohoto důvodu je nutné citlivé prvky, jako jsou řídicí mikroprocesor, zdroje napájení, reléové moduly a další elektronické komponenty, umístit mimo vnitřek pěstební boxu do samotné ovládací krabičky a celé zařízení koncipovat s ochranou typu SELV. Senzory a akční členy umístěné uvnitř boxu musí být zvoleny a umístěny tak, aby je nemohla poškodit vlhkost a kondenzující voda (například stékající po kabelech nebo stěnách).



Obrázek 3: Nákres tvaru stanu s rozměry

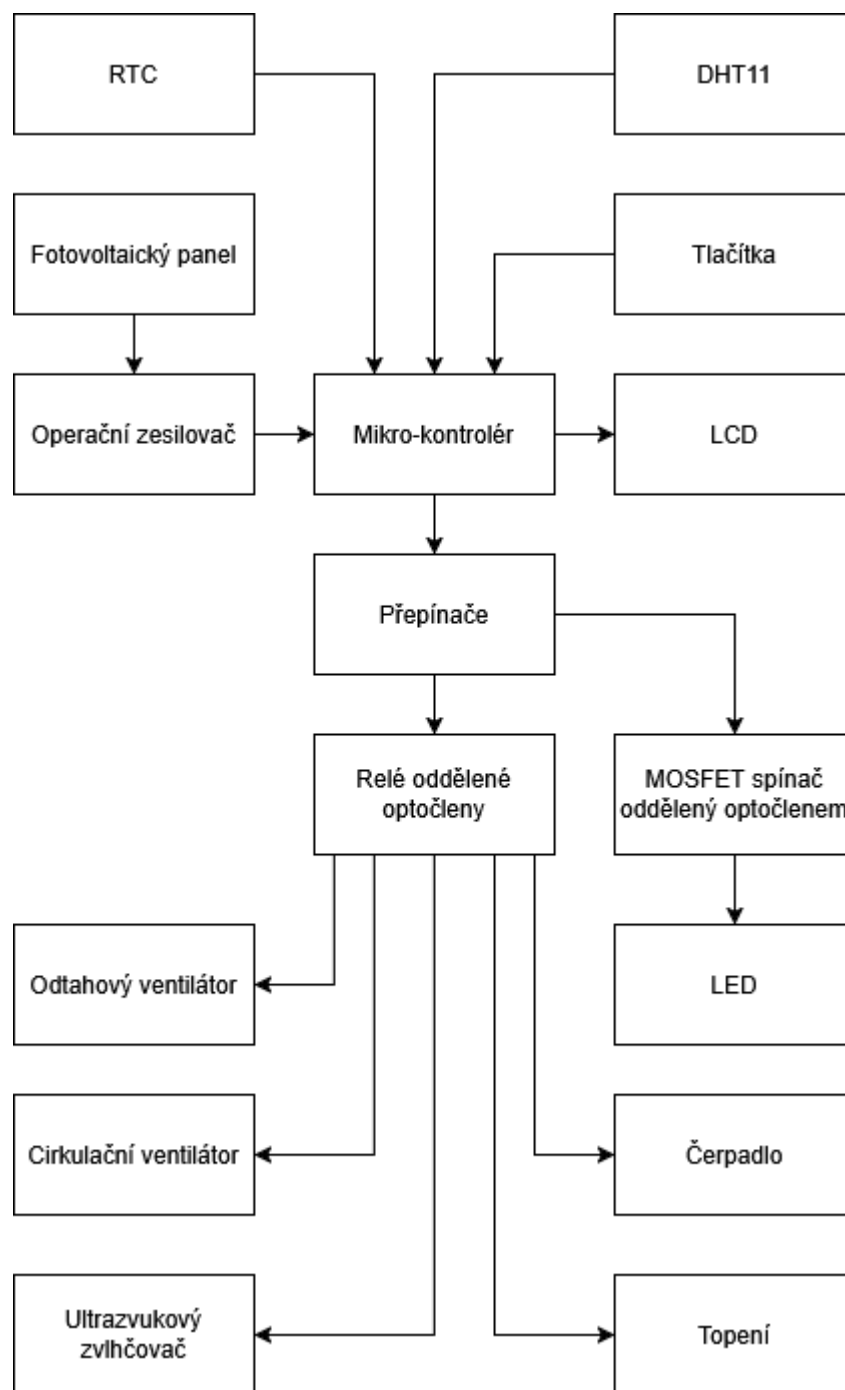
Navržený pěstební box je určen pro pěstování rostlin v květníku s klasickým pěstebním substrátem, tedy v hlíně. Tento přístup byl zvolen s ohledem na jeho jednoduchost, širokou dostupnost materiálů a přirozenost prostředí, které substrát rostlinám poskytuje. Substrátová pěstba představuje tradiční metodu, která nevyžaduje složité hydroponické systémy ani speciální výživová média (jsou již obsažena v substrátu), a zároveň umožňuje snadnou manipulaci s rostlinou.

Použití květníku se substrátem má také výhodu v přirozené schopnosti pěstebního média akumulovat vodu, čímž se tlumí výkyvy vlhkosti mezi jednotlivými cykly zavlažování. Substrát rovněž poskytuje kořenům oporu a je schopen udržet potřebné množství vzduchu, což je klíčové pro zdravý růst. V kombinaci s automatickým systémem zavlažování a regulace mikroklimatu lze i v takto jednoduchém prostředí dosáhnout vysoce stabilních a optimalizovaných podmínek pro růst různých druhů bylin, zeleniny nebo okrasných rostlin.

Zvolený způsob pěstování tedy kombinuje klasickou metodu s moderními prvky automatizace, čímž se snižují nároky na obsluhu a zároveň se zachovává přirozený charakter pěstebního procesu. Tento přístup je vhodný jak pro začínající pěstitele, tak pro pokročilé uživatele, kteří hledají efektivní a spolehlivé řešení pro indoor pěstování.

Cílem této práce je navrhnout a realizovat funkční prototyp automatizovaného pěstebního boxu, jehož klíčovým úkolem je měření a regulace základních pěstebních veličin nezbytných pro úspěšný růst rostlin v řízeném prostředí.

Jedním z hlavních cílů je regulace a ovládání intenzity osvětlení pomocí LED pásků a měření hodnoty intenzity osvětlení pomocí fotovoltaického panelu. Dalšími ovládanými a regulovanými veličinami jsou teplota a relativní vlhkost vzduchu. Ty jsou měřeny pomocí čidla DHT11, přičemž regulace probíhá dvoustavově s hysterezí. Pro ohřev vnitřního prostředí je použit horkovzdušný přímotop řízený přes reléový modul, a pro zvlhčování vzduchu slouží ultrazvukový zvlhčovač, rovněž spínaný pomocí relé. Dalším cílem je zajištění správné cirkulace a výměny vzduchu. K tomu slouží dva ventilátory – cirkulační a odtahový, které jsou v boxu rozmístěny tak, aby docházelo ke správnému proudění a obnově vzduchu. Ventilátory jsou cyklicky spínány pomocí relé, čímž se optimalizuje spotřeba energie a zároveň se zajišťuje rovnoměrné klima v celém objemu pěstebního prostoru. Zařízení je dále vybaveno malým ponorným čerpadlem, které zajišťuje cyklickou závlahu rostlin. I tento komponent je spínán reléově a řídí se uživatelem nastavenými parametry. Celý systém je centrálně řízen mikrokontrolérem Arduino Uno R3, který komunikuje s jednotlivými perifériemi a zajišťuje veškeré logické funkce. Pro časově závislé funkce je použit RTC modul DS1307, který udržuje přesný reálný čas i při výpadku napájení. Uživatelské rozhraní je tvořeno LCD displejem, který zobrazuje aktuální hodnoty i nastavovací menu. Ovládání zařízení probíhá pomocí tlačítek a přepínačů umístěných na samostatném ovládacím panelu, který kromě zobrazovací části obsahuje i kompletní řídicí elektroniku, spínací prvky a napájecí zdroj.



Obrázek 4: Přehledové blokové schéma

2.2 Osvětlení

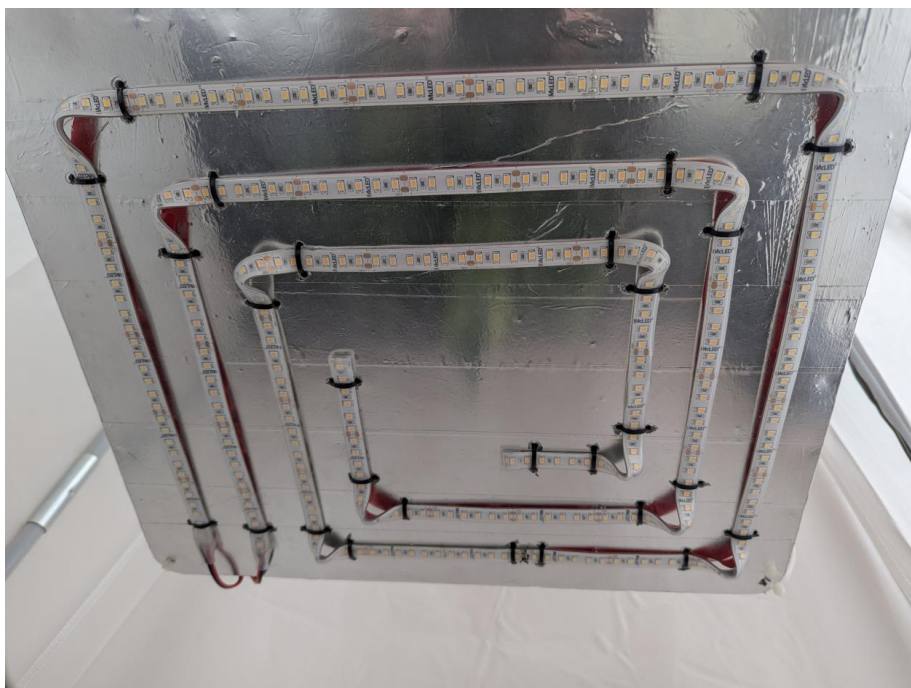
Osvětlení představuje jeden z nejzásadnějších prvků celého automatizovaného pěstebního systému, neboť právě světlo je primárním zdrojem energie pro fotosyntézu, a tím i pro růst a vývoj rostlin. V rámci navrženého řešení pěstebního boxu byl zvolen jednoduchý, přesto účinný systém umělého osvětlení založený na použití LED pásků o celkovém příkonu 40 W napájených napětím 24 V, které jsou upevněny na zavěšené desce umístěné nad rostlinami. Tato konstrukce umožňuje přizpůsobit výšku světelného zdroje aktuální

velikosti rostlin, čímž je možné optimalizovat světelné podmínky a energetickou účinnost v průběhu jednotlivých fází růstu.

Použití LED osvětlení má řadu výhod – především nízkou spotřebu elektrické energie a dlouhou životnost. Světelný panel je rozdělen do dvou sekcí: polovina LED pásků vyzařuje studené bílé světlo o teplotě chromatičnosti 6000 K, zatímco druhá polovina využívá neutrální bílé světlo o teplotě 3000 K. Tato kombinace byla zvolena záměrně s cílem rozšířit spektrální pokrytí osvětlení, a přiblížit se tak přirozenému dennímu světlu, které má pro rostliny nejvyšší biologickou účinnost. (Growace, 2025, Hydrobuilder, 2025)

Intenzita osvětlení je regulovatelná pomocí PWM, což umožňuje plynulé řízení jasu. Při nejnižší poloze světelného panelu, dosahuje systém maximálního osvětlení až 6000 luxů, což je hodnota plně dostačující pro většinu běžně pěstovaných pokojových a bylinkových rostlin.

Další výhodou umístění pěstebního boxu například v blízkosti okna je možnost využití přirozeného slunečního záření jako doplňkového zdroje světla. Díky průsvitným stěnám stanu je možné využít denního světla, které může v určitých obdobích dne a ročních dobách významně snížit potřebu umělého osvětlení a tím i spotřebu elektrické energie.



Obrázek 5: Osvětlovací deska

2.3 Ventilace

Ventilace a správná cirkulace vzduchu představují nezbytnou součást každého uzavřeného pěstebního systému, a to nejen z hlediska udržení vhodného mikroklimatu, ale i pro zdravý růst rostlin a prevenci problémů spojených se stagnujícím vzduchem. V rámci navrženého řešení pěstebního boxu byla ventilace realizována pomocí dvou ventilátorů napájených stejnosměrným napětím 12 V, které zajišťují jednak výměnu vzduchu s okolím, a jednak jeho aktivní cirkulaci uvnitř prostoru boxu.

Hlavním cílem odtahové ventilace je zajistit pravidelné odvádění vzduchu nasyceného vodní parou a metabolickými produkty rostliny. V uzavřeném prostředí bez přirozené výměny vzduchu dochází rychle k nárůstu relativní vlhkosti a spotřebě kyslíku nebo oxidu uhličitého, což může vést ke zpomalení růstu, vzniku plísní a oslabení rostlin. Za tímto účelem byl ve stropní části boxu vyříznut větrací otvor s rourou, do které je instalován axiální odtahový ventilátor o průměru 92 mm, jehož úkolem je aktivně odsávat vnitřní vzduch směrem ven z boxu. Umístění ventilátoru ve vrchní části má logické opodstatnění, neboť systém ventilace využívá i vestavěných nasávacích otvorů, které jsou součástí konstrukce stanu IKEA VUKU a nacházejí se ve spodní části zadní stěny. Tyto otvory umožňují přísun čerstvého vzduchu v důsledku podtlaku, který vzniká činností odtahového ventilátoru. Tímto způsobem je dosaženo proudění vzduchu zespodu směrem nahoru, což zapříčiní ideální výměnu všeho vzduchu uvnitř boxu.

Pro zajištění vnitřní cirkulace vzduchu slouží druhý, větší axiální ventilátor o průměru 120 mm, který je umístěn na boční stěně pěstebního boxu. Tento ventilátor neprovádí výměnu vzduchu s okolím, ale zajišťuje stálý pohyb (cirkulaci) vzduchu uvnitř prostoru, čímž se zabráňuje tvorbě tzv. mrtvých zón s nedostatečnou výměnou plynů a také neustále vyměňuje vzduch na povrchu rostliny. Aktivní proudění vzduchu podporuje rovnoměrné rozložení teploty a vlhkosti, zvyšuje odpar z listů a zároveň napomáhá k mechanickému posilování rostlinných stonků, které v mírném pohybu reagují podobně jako na vítr v přírodě. Tento proces přispívá k robustnějšímu a zdravějšímu růstu rostlin. (Growace, 2025, Hydrobuilder, 2025)

2.4 Vytápění

Udržení optimální teploty v uzavřeném prostředí pěstebního boxu je důležité pro zajištění správného růstu a vývoje rostlin. Teplota přímo ovlivňuje rychlost fyziologických procesů, jako je fotosyntéza, respirace a příjem živin. V rámci navrženého systému je proto součástí konstrukce kompaktní horkovzdušný přímotop napájený napětím 12 V o příkonu 100 W. Toto topné zařízení zajišťuje cílený ohřev vzduchu v chladnějším období nebo v situacích, kdy okolní teplota nedosahuje hodnot vhodných pro pěstování.

Zvolený horkovzdušný přímotop pracuje na principu aktivního ohřevu vzduchu pomocí odporového tělesa, doplněného o ventilátor, který ještě s pomocí cirkulačního ventilátoru rozvádí ohřátý vzduch rovnoměrně do prostoru boxu. Umístění topného tělesa v dolní části boxu je výhodné, protože odpovídá přirozenému pohybu vzduchu – studený vzduch klesá dolů a teplý stoupá vzhůru.

Významným doplňkovým zdrojem tepla může být rovněž přirozené sluneční záření, a to zejména v případě, že je pěstební box umístěn v blízkosti okna nebo v prosvětlené místnosti. Díky průsvitným plastovým stěnám stanu IKEA VUKU může docházet k částečnému ohřevu vnitřního prostředí prostřednictvím solární energie, která kromě světla přináší i tepelný zisk. Tento pasivní ohřev může v určitých obdobích dne významně snížit potřebu aktivního vytápění a tím přispět k vyšší energetické efektivitě celého systému.

Kombinace aktivního a pasivního vytápění umožňuje flexibilní řízení teploty podle aktuálních podmínek a výrazně zvyšuje univerzálnost pěstebního boxu, který tak může být provozován nejen v domácích, ale i v mírně nevytápěných prostorách, jako jsou chodby, sklepy či technické místnosti.



Obrázek 6: Modul topení (Přímotop, 2025)

2.5 Zvlhčování vzduchu

Pro zajištění stabilní a vhodné relativní vlhkosti vzduchu uvnitř pěstebního boxu je součástí systému ultrazvukový zvlhčovač napájený napětím 12 V. Vlhkost vzduchu hraje v růstovém prostředí zásadní roli – ovlivňuje jak transpiraci rostlin, tak i celkovou rovnováhu vodního režimu. Nedostatečná vlhkost může způsobit zvýšené výpary z listů, dehydrataci pletiv a omezení růstu, zatímco nadměrná vlhkost přispívá k rozvoji plísní, hnilob a jiných patogenů.

Použitý zvlhčovač pracuje na principu ultrazvukové atomizace, kdy je voda převáděna na jemnou mlhovinu pomocí vysokofrekvenčních mechanických vibrací. Piezoelektrický měnič generuje vibrace v rozmezí několika desítek kHz, které narušují povrchové napětí vody a vytvářejí velmi jemné kapénky o mikrometrové velikosti. Tyto kapky se následně šíří prostorem ve formě studené mlhy. Zvlhčovač má integrovaný bezpečnostní mechanismus pro detekci nízké hladiny vody, díky čemuž je zajištěna ochrana proti chodu „nasucho“. Při poklesu hladiny pod minimální úroveň se zařízení automaticky vypne, čímž se předchází poškození ultrazvukového modulu a zvyšuje se celková spolehlivost systému. Zařízení je schopno vypařit přibližně 100 ml vody za 60 minut, což umožňuje plynulou a dostatečně výkonnou úpravu vlhkosti pěstebního prostoru. Díky jemnosti vytvořené mlhy nedochází ke kondenzaci na listech nebo stěnách boxu, čímž se omezuje riziko vzniku vodních kapek, které by mohly podpořit rozvoj plísní nebo hniloby. Zvlhčovač je možné umístit buď do samostatné nádržky, nebo do společné nádoby s čerpadlem sloužícím k zavlažování rostlin. Obě varianty mají svá specifika. Do společné nádoby by měl být umístěn pouze za předpokladu, že je v ní čistá voda (například bez hnojiva).

Ultrazvukový zvlhčovač představuje vysoce efektivní a energeticky úsporné řešení zvlhčování. Díky nízké spotřebě, jednoduché integraci do 12 V systému a bezúdržbovému provozu je ideální volbou pro tento autonomní box.



Obrázek 7: Modul ultrazvukového zvlhčovače (Zvlhčovač, 2025)

2.6 Závlaha

Pro účely automatického zavlažování rostlin uvnitř pěstebního boxu je použito malé ponorné čerpadlo napájené napětím 5 V, které umožňuje spolehlivé a cílené dávkování vody do substrátu. Jeho průtok činí přibližně 50 ml za sekundu, což umožňuje rychlé zavlažení květníku během několika málo vteřin.

Zařízení je umístěno v nerezové nádobě, která slouží jako zásobník vody. Tato nádoba může zároveň obsahovat ultrazvukový zvlhčovač, čímž je dosaženo kombinovaného využití jednoho vodního zdroje pro více funkcí systému. Z čerpadla vede silikonová hadička přímo ke kořenovému prostoru rostliny, konkrétně do substrátu v květníku, kde je ústí hadičky ukotveno tak, aby voda směřovala ke kořenům. Tímto způsobem je zajištěno, že se voda dostává přímo tam, kde je potřeba, a minimalizuje se ztráta způsobená odparem nebo vsakem mimo pěstební médium. Díky nízkému napájecímu napětí 5 V, je čerpadlo bezpečné a dobře kompatibilní se systémem. Vzhledem ke krátké době činnosti při jednotlivém zavlažovacím cyklu nedochází k výraznému zahřívání ani opotřebení, což přispívá k dlouhodobé spolehlivosti. Také případný běh na sucho je velmi krátkodobý, tedy nepoškodí čerpadlo. Tato forma lokalizovaného zavlažování umožňuje přesné a úsporné dávkování vody, omezuje riziko přemokření substrátu a zároveň snižuje výskyt plísní, které často vznikají při nadměrném zavlažování povrchu půdy.



Obrázek 8: Modul ponorného čerpadla (Čerpadlo, 2025)

2.7 Měření intenzity osvětlení

Součástí automatizovaného systému řízení pěstebního boxu je také měření intenzity osvětlení, které slouží k dynamické regulaci jasu umělého LED osvětlení. K tomuto účelu je v blízkosti rostliny – zhruba ve výšce květníku – umístěn malý fotovoltaický panel, jenž funguje jako dostatečně lineární světelný senzor. Tento panel převádí dopadající světelné záření na elektrické napětí, které je dále zpracováváno za pomoci operačního zesilovače, a poté vedeno do mikrokontroléru.

Naměřené napětí na fotovoltaickém panelu odpovídá aktuální intenzitě dopadajícího světla v okolí rostliny. Tento údaj se využívá ke zpětnovazebnímu řízení jasu LED osvětlení uvnitř boxu pomocí PWM. V případě, že do boxu proniká dostatek přirozeného slunečního světla – například během dne, pokud je box umístěn poblíž okna – nebo pokud je LED deska snížena blíže k rostlině, systém automaticky sníží intenzitu LED osvětlení na nastavenou úroveň jasu. Nedochozí tak k nadměrnému osvětlení rostlin, které by mohlo být pro některé druhy stresující nebo energeticky neefektivní. Snížení jasu LED vede ke značné úspoře elektrické energie, což je zvláště významné u nastavení s delším denním cyklem svícení nebo v prostředích, kde je dostupný přirozený světelný zisk. Použití fotovoltaického panelu jako senzoru intenzity osvětlení je jednoduché, ale zároveň velmi efektivní a levné řešení, které umožňuje autonomní světelné řízení bez potřeby specializovaných světelných čidel. Díky napěťovému výstupu jej lze snadno integrovat do analogového vstupu mikrokontroléru, kde je hodnota dále digitálně zpracována a využita v algoritmu řízení jasu. Tato adaptivní regulace zajišťuje, že rostliny mají vždy k dispozici optimální světelné podmínky, přičemž systém efektivně pracuje s dostupnými zdroji světla a minimalizuje spotřebu energie.



Obrázek 9: Modul fotovoltaického panelu 50x50mm (Panel, 2025)

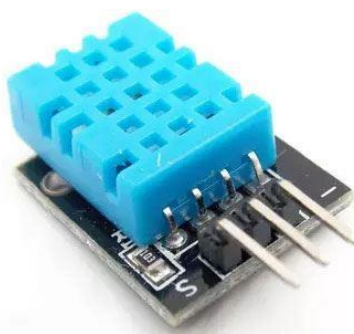
2.8 Měření teploty a relativní vlhkosti

Pro měření základních mikroklimatických podmínek uvnitř pěstební boxu je použito digitální čidlo DHT11, které slouží k sledování teploty a relativní vlhkosti vzduchu. Jedná se o jednoduchý, cenově dostupný a široce používaný senzor, který poskytuje dostatečně přesné údaje pro účely řízení základního pěstební klimatu v malém uzavřeném prostoru.

Čidlo DHT11 pracuje na principu měření teploty pomocí interního teplotního senzoru typu NTC a měření vlhkosti pomocí odporového vlhkostního senzoru. V obou případech senzor převádí analogové signály na digitální hodnoty, které poté odesílá mikrokontroléru přes jednovodičové datové rozhraní. Rozsah měření teploty senzoru DHT11 se pohybuje v hodnotách od 0 °C do +50 °C s přesností přibližně ± 2 °C, zatímco relativní vlhkost je měřena v rozsahu 20–90 % RH s přibližnou přesností ± 5 %. Přestože tato přesnost není ideální pro průmyslové aplikace, je zcela dostatečná pro běžné domácí a experimentální pěstební účely, kde se nevyžaduje extrémní preciznost. (DHT11, 2025)

Umístění senzoru uvnitř pěstebního prostoru musí být zvoleno tak, aby výsledky měření odpovídaly skutečnému prostředí, ve kterém se nachází rostliny – tedy zhruba ve střední výšce boxu a mimo přímý proud vzduchu z ventilátorů (avšak aby byl stále zasahován cirkulovaným vzduchem) nebo horkovzdušného topení, aby nedocházelo ke zkreslení údajů. Naměřené hodnoty jsou pravidelně vyhodnocovány mikropočítačem, který na jejich základě řídí provoz zvlhčovače a topení.

Relativní vlhkost (RH) udává, kolik vodní páry se aktuálně nachází ve vzduchu ve srovnání s jeho maximální možnou kapacitou při dané teplotě, a je vyjádřena v procentech. Například hodnota 60 % RH znamená, že vzduch obsahuje 60 % vodní páry, kterou by mohl při dané teplotě maximálně pojmout. Relativní vlhkost je úzce spjata s teplotou – teplejší vzduch může pojmout více vodní páry, proto se při zvýšení teploty může relativní vlhkost snížit i bez úniku vlhkosti.



Obrázek 10: Modul DHT11 (Čidlo, 2025)

2.9 Ovládací panel

Ovládací panel systému automatizovaného pěstebního boxu je realizován jako samostatná plastová krabička, která tvoří centrální řídicí a napájecí jednotku celého zařízení. Je koncipována tak, aby byla umístěna mimo vlastní pěstební prostor, čímž je zajištěna vyšší odolnost, bezpečnost (box i krabička jsou s ochranou SELV) a dlouhodobá spolehlivost elektronických součástí, které by mohly být negativně ovlivněny zvýšenou vlhkostí, teplotou nebo přímým kontaktem s vodní párou uvnitř stanu. Ze samotné krabičky vedou do stanu kabely vedené v plastové chráničce, která zajišťuje mechanickou ochranu vedení a pěkný vzhled. Pro přímou obsluhu a dohled nad systémem je ovládací panel vybaven LCD displejem. Součástí ovládacího panelu jsou také tlačítka a přepínače, které slouží k nastavení zařízení.

Uvnitř krabičky se nachází kompletní řídicí hardware, jehož jádro tvoří mikrokontrolér, který zabezpečuje vyhodnocování dat z čidel, řízení logiky provozu a ovládání výkonových prvků. Dále jsou zde umístěny spínací prvky – MOSFETy a relé – které přepínají napájení jednotlivých zařízení podle řídicího signálu z mikrokontroléru. V ovládací krabičce je rovněž integrováno několik zdrojů napětí, které poskytují požadované napájecí napětí pro jednotlivé části zařízení. Napájení celého systému je realizováno připojením krabičky jedním kabelem do síťové zásuvky 230 V.

2.10 Mikrokontrolér

Jako řídicí mikrokontrolér v ovládacím panelu automatizovaného pěstebního boxu je použit Arduino Uno R3, což je jedna z nejrozšířenějších a nejdostupnějších vývojových desek založená na mikrokontroléru ATmega328P. Arduino Uno R3 je pro tento účel vhodná díky své jednoduché architektuře, široké komunitní podpoře a dostatečnému počtu vstupně-výstupních pinů, které umožňují připojení všech potřebných čidel a akčních členů systému.

Deska Arduino Uno R3 nabízí 14 digitálních I/O pinů, z nichž některé lze využít také jako PWM výstupy. Dále obsahuje 6 analogových vstupů. Mikrokontrolér běží na taktu 16 MHz a je napájen buď přímo z USB, nebo externím napětím přes integrovaný stabilizátor. (Arduino UNO, 2025)

Arduino Uno R3 v tomto řešení zajišťuje získávání dat ze senzorů (DHT11 pro měření teploty a vlhkosti, fotovoltaický článek pro světelnou intenzitu), řízení výstupních zařízení (zvlhčovač, ventilátory, čerpadlo, topení, LED osvětlení) a také obsluhu uživatelského rozhraní, tedy komunikaci s LCD displejem, RTC a vyhodnocování vstupů z tlačítek.

2.11 Hodiny reálného času

Pro realizaci časově řízených funkcí v automatizovaném pěstebním boxu je použit RTC modul DS1307. Tento modul zajišťuje přesné sledování reálného času, nezávisle na napájení mikrokontroléru, a umožňuje spouštění jednotlivých časových funkcí zařízení.

DS1307 je nízkopříkonový integrovaný obvod, který komunikuje s mikrokontrolérem prostřednictvím sběrnice I²C, což usnadňuje jeho zapojení k desce Arduino Uno R3. Modul je vybaven záložní knoflíkovou baterií, díky níž si udržuje přesný čas i při výpadku napájení hlavního systému. To je zásadní pro funkci celého pěstebního zařízení – systém je tak po znovu zapnutí schopný ihned navázat na aktuální časové podmínky, aniž by bylo nutné pokaždé ručně nastavovat čas. (RTC, 2025)

2.12 Zobrazovač

V rámci ovládacího panelu automatizovaného pěstebního boxu je použit znakový LCD displej typu 2004, který umožňuje zobrazit až 4 řádky po 20 znacích. Tento typ displeje je dobře čitelný, spolehlivý a zároveň energeticky nenáročný, což ho činí ideálním pro trvalý provoz v systémech, jako je právě tento pěstební box.

Pro zjednodušení propojení s mikrokontrolérem a úsporu digitálních pinů byl k displeji připájen I²C převodník, který převádí klasické paralelní rozhraní LCD na dvou vodičovou sériovou sběrnici. Díky tomu je možné displej ovládat pomocí pouze dvou vodičů, což výrazně zjednodušuje zapojení a zároveň uvolňuje piny na desce Arduino Uno R3 pro jiné periférie. Displej slouží jako hlavní zobrazovací rozhraní pro uživatele.

2.13 Spínací prvek osvětlení

Pro řízení LED osvětlení v automatizovaném pěstebním boxu je použit specializovaný spínací modul s výkonovým tranzistorem typu MOSFET IRF530, který je vhodný pro spínání větších proudových zátěží při nízkém napěťovém úbytku. Modul umožňuje bezpečné a efektivní spínání 24 V LED pásků, které tvoří hlavní zdroj světla pro rostliny.

Zásadní součástí tohoto modulu je také optoizolační člen PC817C, který odděluje řídicí signál mikrokontroléru od výkonové části. Optočlen zde slouží jako elektrická izolace, která chrání mikrokontrolér.

MOSFET IRF530 je tranzistor typu N-kanál, který v tomto zapojení pracuje ve spínacím režimu – tedy jako elektronický spínač. Intenzita osvětlení je tak regulována pomocí PWM, kterou generuje přímo mikrokontrolér.

2.14 Spínací prvek dvoustavově regulovaných systémů

Pro spínání dvoustavových komponent automatizovaného pěstebního boxu – tedy zařízení, která pracují pouze ve stavu zapnuto/vypnuto – je použit osmikanálový reléový modul. Tento modul umožňuje nezávislé spínání až osmi zátěží a je v projektu využit ke spínání následujících zařízení: odtahový ventilátor, cirkulační ventilátor, čerpadlo, ultrazvukový zvlhčovač a horkovzdušné topení.

Každý z kanálů tohoto modulu obsahuje mechanické relé s kontakty dimenzovanými na 250 V / 10 A, což poskytuje dostatečnou proudovou rezervu pro všechny zátěže. Samotné reléové cívky jsou napájeny napětím 5 V. Důležitým prvkem modulu je, že je každý vstupní řídicí signál oddělený optočlenem PC817C. Tato optická izolace zajišťuje elektrické oddělení logické (řídící) části od výkonové části, čímž chrání mikrokontrolér.

2.15 Napájení

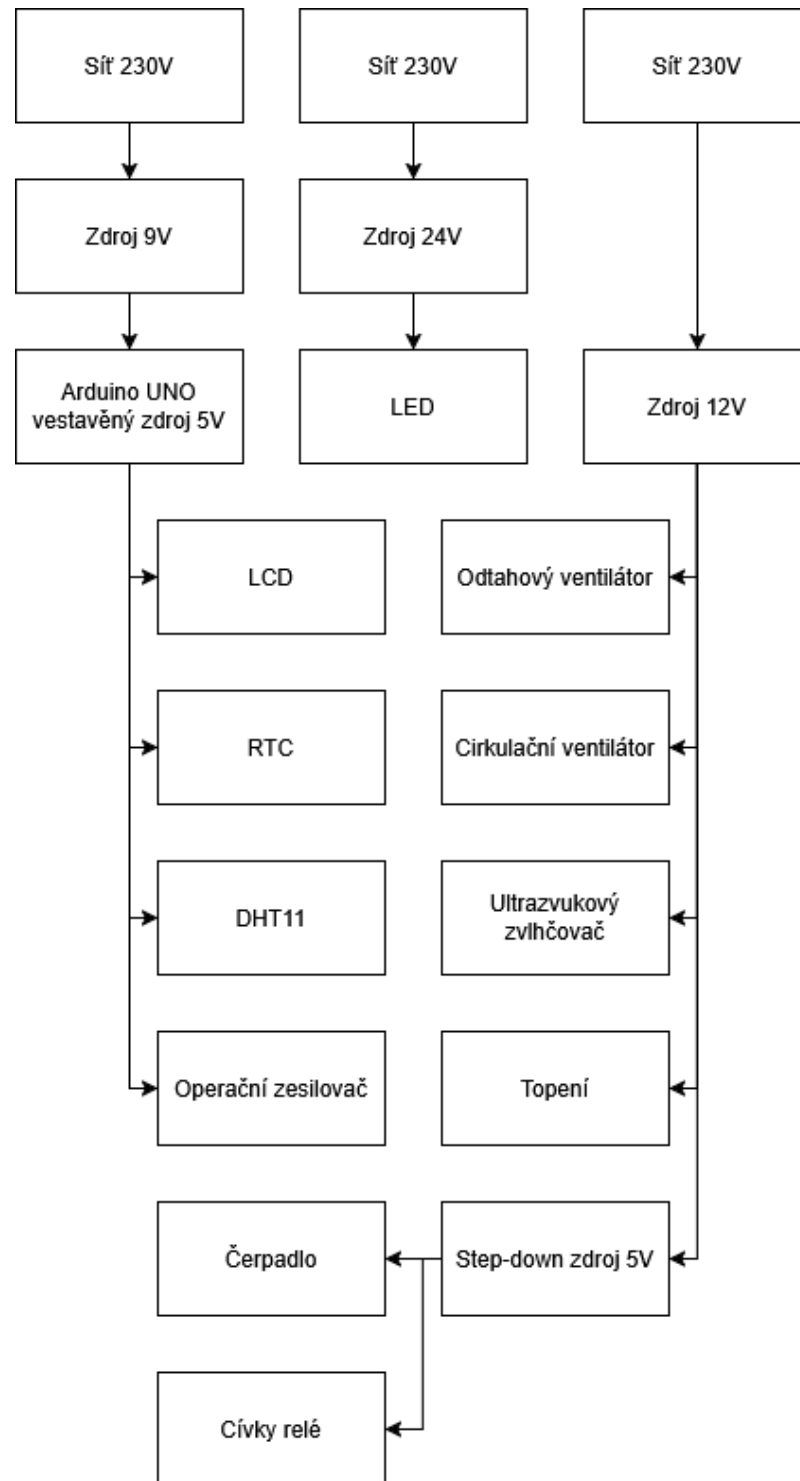
Napájení logické a silové části automatizovaného pěstebního boxu je celkově navrženo s ochranou SELV a galvanicky oddělené, a to z důvodu zajištění spolehlivého chodu, snížení rizika rušení mezi jednotlivými částmi systému a především z důvodu eliminace vyrovnávacích proudů, které by mohly vznikat při propojení různých napájecích větví se společnou zemí.

Galvanické oddělení je důležité především proto, že každá napájecí větev obsluhuje zařízení s různými proudovými odběry. Například výkonová část, která zahrnuje LED osvětlení, topení nebo ventilátory, generuje výrazné změny v odběru proudu, což může v případě sdílené země ovlivnit úroveň napětí v řídicí části. Vyrovnávací proudy v uzemnění (způsobené rozdílným napětím na různých bodech země, které vznikne z důvodu odporu vodičů, přechodů atd.) by pak mohly způsobit poškození některých komponent.

Napájecí systém je tedy rozdělen následovně: Arduino Uno R3 je napájeno ze samostatného 9 V DC zdroje. Tento zdroj je galvanicky oddělený od ostatních napájecích větví, čímž je zajištěna stabilita bezpečnost napájení řídicí logiky. Z interního 5 V stabilizátoru na desce Arduino jsou napájeny následující periférie: LCD 2004 s I²C převodníkem, RTC modul DS1307, čidlo DHT11 a pomocný OZ pro fotovoltaický panel.

LED osvětlení je napájeno z vlastního 24 V DC zdroje. Ventilátory, ultrazvukový zvlhčovač a horkovzdušný přímotop jsou napájeny z dalšího nezávislého 12 V DC zdroje.

Jedná se o zařízení s větším odběrem proudu (hlavně přímotop), která by při společném napájení s citlivou logikou mohla způsobovat poklesy napětí, rušení, elektromagnetické impulzy a vyrovnávací proudy v zemi. Z 12 V zdroje je dále odvozena napájecí větev o napětí 5 V DC, která je generována pomocí step-down měniče. Tato 5 V větev napájí: cívky všech 8 relé na výkonovém modulu a ponorné čerpadlo.



Obrázek 11: Blokové schéma napájení

2.16 Software

Software řídicí jednotky pěstebního boxu je vytvořen v prostředí Arduino IDE, přičemž programovací jazyk odpovídá standardu Wiring, který je přizpůsobený pro jednoduché ovládání mikrokontrolérů. Struktura kódu je navržena s důrazem na modularitu a přehlednost, proto je rozdělena do samostatných funkcí, které obsluhují jednotlivé části systému – čtení senzorů, čtení RTC, řízení výstupů, práce s displejem, zpracování vstupů z tlačítek atd.

Pro práci s čidlem DHT11, LCD a RTC jsou využity ověřené a stabilní externí knihovny, které výrazně zjednodušují vývoj a zároveň zvyšují spolehlivost.

Navigace v uživatelském rozhraní na displeji je realizována pomocí pěti ovládacích tlačítek, která jsou uspořádána podobně jako tzv. D-pad (nahoru, dolů, vlevo mínus, vpravo plus a potvrzovací středové tlačítko). Tento způsob ovládání umožňuje uživateli snadné procházení nabídkami a měnění parametrů přímo na ovládacím panelu.

Důležitým prvkem softwarového řešení je také práce s vestavěnou EEPROM pamětí mikrokontroléru. Při změně nastavení (např. požadované hodnoty vlhkosti, intenzity osvětlení apod.) a spuštění programu se tyto hodnoty automaticky uloží do EEPROM, díky čemuž jsou zachovány i po výpadku napájení. Po opětovném zapnutí se zařízení samo inicializuje a zapne s předchozím nastavením, bez nutnosti manuálního zásahu.

Pro možnost vzdáleného monitorování provozu zařízení je implementována komunikace přes virtuální sériový port, který je dostupný přes USB konektor na desce Arduino Uno R3. Na straně počítače je připraven Excel sešit s aktivovaným doplňkem Data Streamer, který umožňuje v reálném čase zobrazovat a logovat hodnoty odesílané z pěstebního boxu – aktuální teplotu, vlhkost a úroveň osvětlení.

Regulace jednotlivých veličin v automatizovaném pěstebním boxu je realizována kombinací PWM řízení, dvoustavového spínání s hysterezí a časově řízených cyklů, přičemž algoritmy jsou optimalizovány pro potřeby pěstování rostlin v omezeném prostoru a s ohledem na efektivitu a spolehlivost.

Pro řízení osvětlení je použit modulovaný signál PWM, který generuje deska Arduino Uno s frekvencí 980 Hz. Tato frekvence je dostatečně vysoká, aby nebylo blikání viditelné lidským okem, a zároveň není příliš vysoká, aby luminofor LED stihl vyhasnout. Intenzita světla je regulována podle změřeného napětí z fotovoltaického panelu umístěného uvnitř

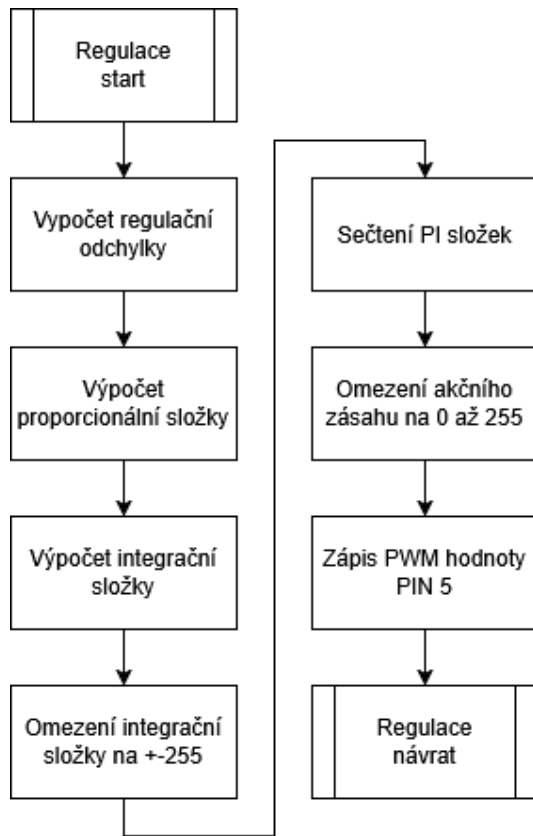
pěstebního prostoru, zhruba v úrovni květníku. Pro snížení vlivu šumu je jako vstupní hodnota regulátoru použita aritmetická střední hodnota (průměr) z 50 po sobě jdoucích měření. Regulační algoritmus použitý pro výpočet PWM je paralelní proporcionálně–sumační (PS) regulátor, což je diskrétní obdoba klasického PI regulátoru. Tento typ regulace zajišťuje plynulou změnu jasu LED podle aktuálních světelných podmínek (např. když do stanu svítí slunce) bez výrazné regulační odchylky. Regulace pomáhá minimalizovat spotřebu energie, zejména při vysokém přirozeném osvětlení nebo při blízké poloze světelného zdroje vůči rostlině a přesné nastavení intenzity osvětlení.

Zvlhčovač i topení jsou řízeny dvoustavově (on/off) s implementovanou hysterezí. Tento způsob řízení je zvolen, jelikož použité topení a zvlhčovač není možné řídit jinak. Toto řízení dosahuje dostatečné přesnosti v prostředí s relativně pomalou dynamikou změn teploty a vlhkosti. Hystereze brání častému spínání výstupů a je nutná k delší životnosti zařízení a relé. Topení je zapínáno při poklesu teploty pod nastavenou mez a vypínáno při jejím překročení, zvlhčovač analogicky podle měřené relativní vlhkosti.

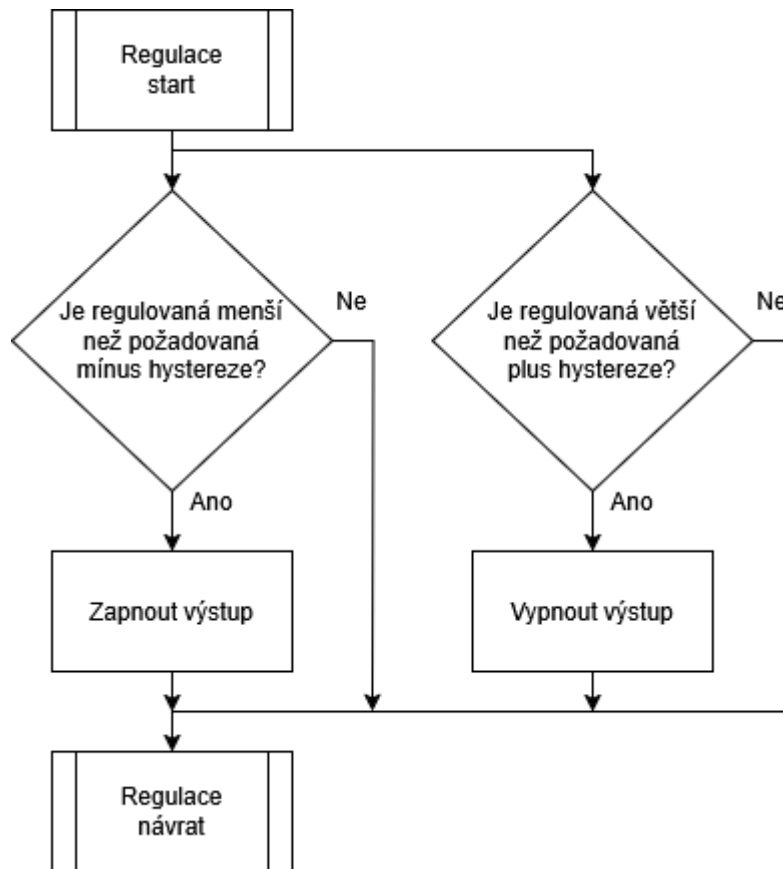
Ponorné čerpadlo je řízeno (ovládáno) časovým cyklem, kdy je po určitém intervalu na krátkou dobu sepnuté, aby dodalo do květníku dávku vody. Tato metoda je jednoduchá a efektivní v prostředí, kde je substrát schopný postupného vsakování a udržení vlhkosti. Přesné intervaly i doba chodu (množství přečerpané vody) jsou nastaveny tak, aby odpovídaly požadavkům konkrétní rostliny.

Odtahový ventilátor, umístěný ve stropní části boxu, je také ovládán časově řízeným cyklem. Cílem je pravidelně obnovovat vzduch uvnitř boxu, aby nedocházelo k hromadění vlhkosti, přehřívání nebo stagnaci CO₂, což by mohlo negativně ovlivnit růst rostlin. Ventilátor je spínán na 5 minut každou hodinu, což je experimentálně zjištěné jako dostatečně častý (zároveň ne příliš častý) interval pro výměnu vzduchu.

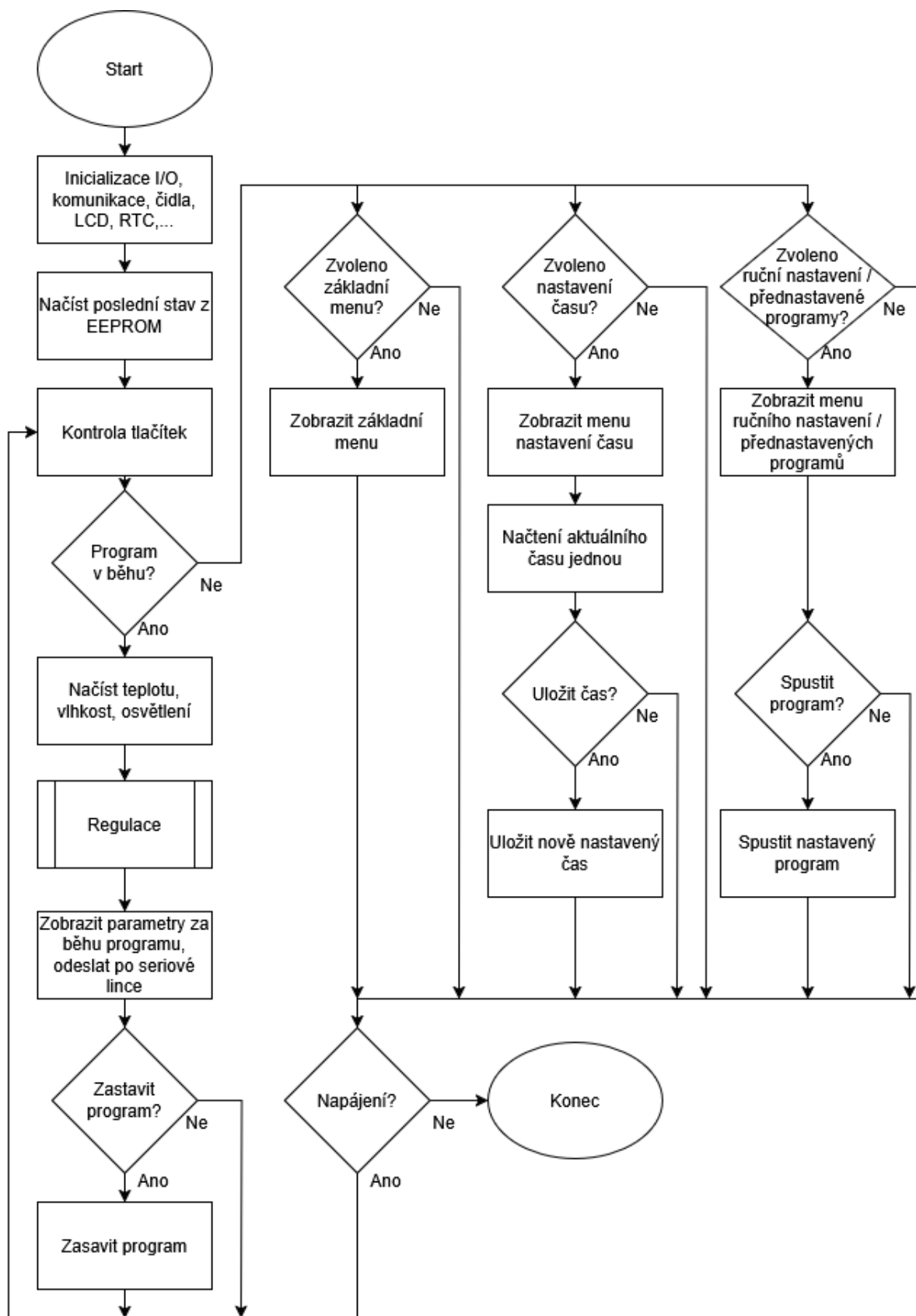
Cirkulační ventilátor, který je umístěn na boční stěně boxu, je v provozu nepřetržitě po dobu aktivního pěstebního režimu. Jeho úkolem je zajištění vnitřní cirkulace vzduchu, což napomáhá rovnoměrné distribuci teploty a vlhkosti a zároveň simuluje přirozený pohyb vzduchu, čímž přispívá ke zpevnění stonků rostlin a celkově zdravějšímu růstu.



Obrázek 12: Princip algoritmu PS (PI) regulátoru



Obrázek 13: Princip algoritmu dvoustavového regulátoru



Obrázek 14: Princip běhu programového vybavení

2.17 Data Streamer

Doplněk Data Streamer pro Microsoft Excel je oficiální nástroj od společnosti Microsoft, který umožňuje přímé streamování dat z externích zařízení (například mikrokontrolérů jako Arduino) do tabulkového procesoru Excel pomocí sériové komunikace přes USB. Tento doplněk je užitečný pro aplikace, kde je žádoucí sledovat průběžná data v reálném čase, případně je archivovat a vizualizovat.

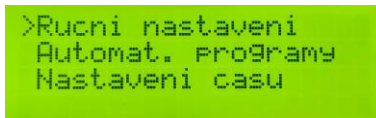
V rámci tohoto projektu automatizovaného pěstebního boxu je doplněk využit ke sběru a monitorování aktuálních měřených hodnot, konkrétně: intenzity osvětlení, teploty a relativní vlhkosti. Data jsou odesílána z mikrokontroléru Arduino Uno přes virtuální sériový port (s rychlostí 9600 baud), který je přístupný po připojení zařízení přes USB. V Excelu se vytvoří jednoduchá tabulka, do které Data Streamer v pravidelných časových intervalech automaticky vkládá nové řádky s daty. Uživatel má zároveň možnost vytvářet grafy, sledovat trendy nebo zapisovat data pro pozdější vyhodnocení. Jednou z výhod tohoto řešení je jeho jednoduchost a univerzálnost. Využitím známého prostředí Excelu lze data nejen sledovat, ale také rychle analyzovat nebo exportovat.

Je důležité zdůraznit, že běh zařízení není závislý na připojení k počítači – připojení přes Data Streamer je volitelné a slouží čistě k monitorovacím účelům. Tím je zajištěna autonomní funkce pěstebního boxu i při absenci externího počítače.

2.18 Návod k použití

Uživatelské rozhraní ovládacího panelu automatizovaného pěstebního boxu je navrženo s důrazem na přehlednost a jednoduchost ovládání. Navigace v rozhraní je realizována pomocí pěti fyzických tlačítek, které simulují tzv. D-pad (směrové ovládání): tlačítko nahoru, dolů, vlevo (mínus), vpravo (plus) a středové potvrzovací tlačítko. Všechny akce a informace se zobrazují na LCD displeji 2004, který poskytuje dostatečný prostor pro komfortní čtení i zadávání hodnot.

Po připojení napájení se zařízení automaticky spustí a přejde do základního menu, které obsahuje tři hlavní položky: Ruční nastavení, Automatické programy, Nastavení času.



```
>Rucni nastaveni
Automat. programy
Nastaveni casu
```

Obrázek 15: „Základní menu“

Mezi jednotlivými položkami se uživatel přepíná tlačítky nahoru a dolů, přičemž aktuálně vybraná položka je označena šipkou na levé straně řádku. Stiskem středového tlačítka se vstupuje do vybrané sekce.

Menu „Nastavení času“: V této sekci je zobrazen aktuální čas, který je načten z modulu reálného času. Čas je možné upravit pomocí tlačítek plus (vpravo) a minus (vlevo) – nejprve se nastavují hodiny, následně minuty. Uživatel má na výběr dvě možnosti:

-Uložit – stiskem středového tlačítka se nové hodnoty uloží do paměti modulu reálného času.

-Zpět – návrat bez uložení změn.



```
>17 h  
8 m  
Ulozit  
Zpet
```

Obrázek 16: Menu „Nastavení času“

Menu „Ruční nastavení“: Tato sekce umožňuje uživateli detailně nastavit všechny parametry pěstebního režimu individuálně, podle aktuálních potřeb rostlin. Mezi jednotlivými položkami se opět přechází pomocí tlačítek nahoru/dolů, hodnoty se mění tlačítka plus/mínus. K dispozici jsou následující nastavení:

-Začátek svícení – hodina, kdy se zapne LED osvětlení.

-Konec svícení – hodina, kdy se osvětlení vypne (pokud se začátek i konec rovnají tak svítí neustále).

-Intenzita světla – požadovaná intenzita v luxech (2000-6000 lx).

-Teplota – požadovaná teplota ve °C (15-30 °C).

-Vlhkost – požadovaná relativní vlhkost v % (40-80%).

-Zalévací interval – kolik dní má uplynout mezi jednotlivými závlahami, přičemž zalévání se vždy provádí ráno v 6:00 (1-7 dní).

-Množství vody – objem vody dodaný při jedné závlaze (100-1000 ml).

-Na konci menu se nachází dvě položky:

-Spustit – po stisku středového tlačítka se uloží všechna nastavení a spustí se program.

-Zpět – návrat do základního menu bez spuštění programu.

```

>Zacatek sviceni:
 6 h
Konec sviceni:
18 h

>Intenzita svetla:
2000 lx
Teplota:
20 C

>Vlhkost:
60 %
Zalévaci interval:
3 d

>Mnozství vody:
300 ml
Spustit
Zpet

```

Obrázek 17: Menu „Ruční nastavení“

Menu „Automatické programy“: V této nabídce je připraveno 15 přednastavených pěstebních režimů, které obsahují doporučené hodnoty pro konkrétní druhy rostlin. Uživatel si vybere vhodný program pomocí tlačítek nahoru/dolů a stiskem středového tlačítka jej aktivuje.

```

>Rajce
Paprika
Bazalka
Petrzel

>Redkev
Spenat
Jahoda
Salat

>Kopriva
Chilli papricky
Okurka
Mesicek

>Fuchsie
Begonie
Filodendron
Zpet

```

Obrázek 18: Menu „Automatické programy“

Po výběru programu se zobrazí okno s možností doplnění:

-Zalévacího intervalu.

-Množství vody.

Tato data lze měnit jako v ručním nastavení.

```
>Zalovací interval:  
3 d  
Mnozství vody:  
300 ml
```

Obrázek 19: Nastavení závlahy automatického programu

Poté k dispozici jsou dvě volby:

- Spustit – program se spustí s přednastavenými i uživatelem doplněnými hodnotami o závlaze.
- Zpět – návrat bez spuštění programu.

```
>Spustit  
Zpet
```

Obrázek 20: Spuštění automatického programu

Běh aktivního programu:

Po spuštění programu (buď ručně nastavený nebo přednastavený) zařízení automaticky přechází do režimu běhu, kdy reguluje požadované veličiny a na displeji se cyklicky přepínají tři obrazovky, které zobrazují:

- Osvětlení: požadovaný interval a intenzita osvětlení, také aktuálně naměřená intenzita.
- Klimatické podmínky: požadovaná a skutečná teplota a požadovaná a skutečná vlhkost.
- Závlaha: nastavený interval a množství vody.
- Aktuální čas.

```
Svetlo-set: 2000 lx  
6 - 18 h  
Teplota-set: 20 C  
Ulhkost-set: 60 %
```

```
Zavlahy-inter.: 3 d  
Zavlahy-set: 300 ml
```

```
17:12  
Svetlo: 2070 lx  
Teplota: 24 C  
Ulhkost: 46 %
```

Obrázek 21: Běh programu

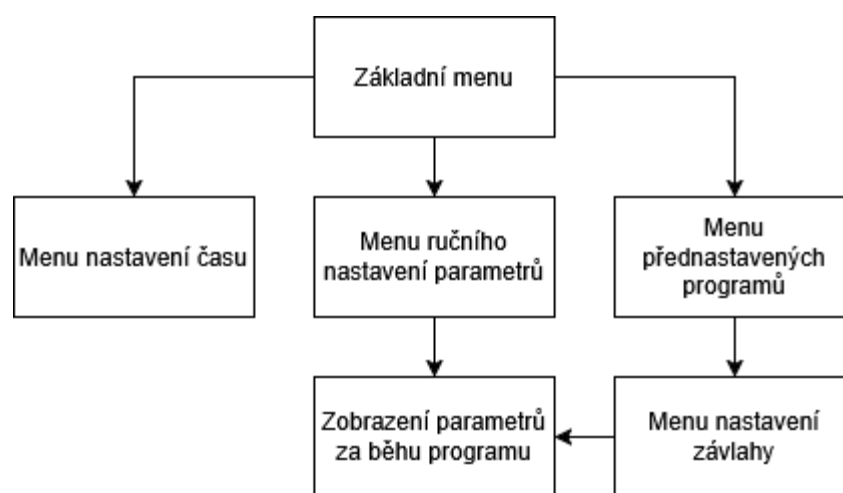
Kromě toho je aktivní i odesílání dat do PC prostřednictvím USB připojení – zařízení komunikuje po virtuální sériové lince 9600 baud, kde v PC běží připravený Excelový sešit s doplňkem Data Streamer. Do Excelu jsou exportována měření intenzity osvětlení, teploty a vlhkosti v reálném čase a jsou z nich rovnou vykreslovány trendy. Připojení k PC není nutné pro běh zařízení, je pouze volitelným rozšířením pro monitorování.

Program je možné kdykoli ukončit stiskem středového tlačítka, čímž dojde k návratu do základního menu.

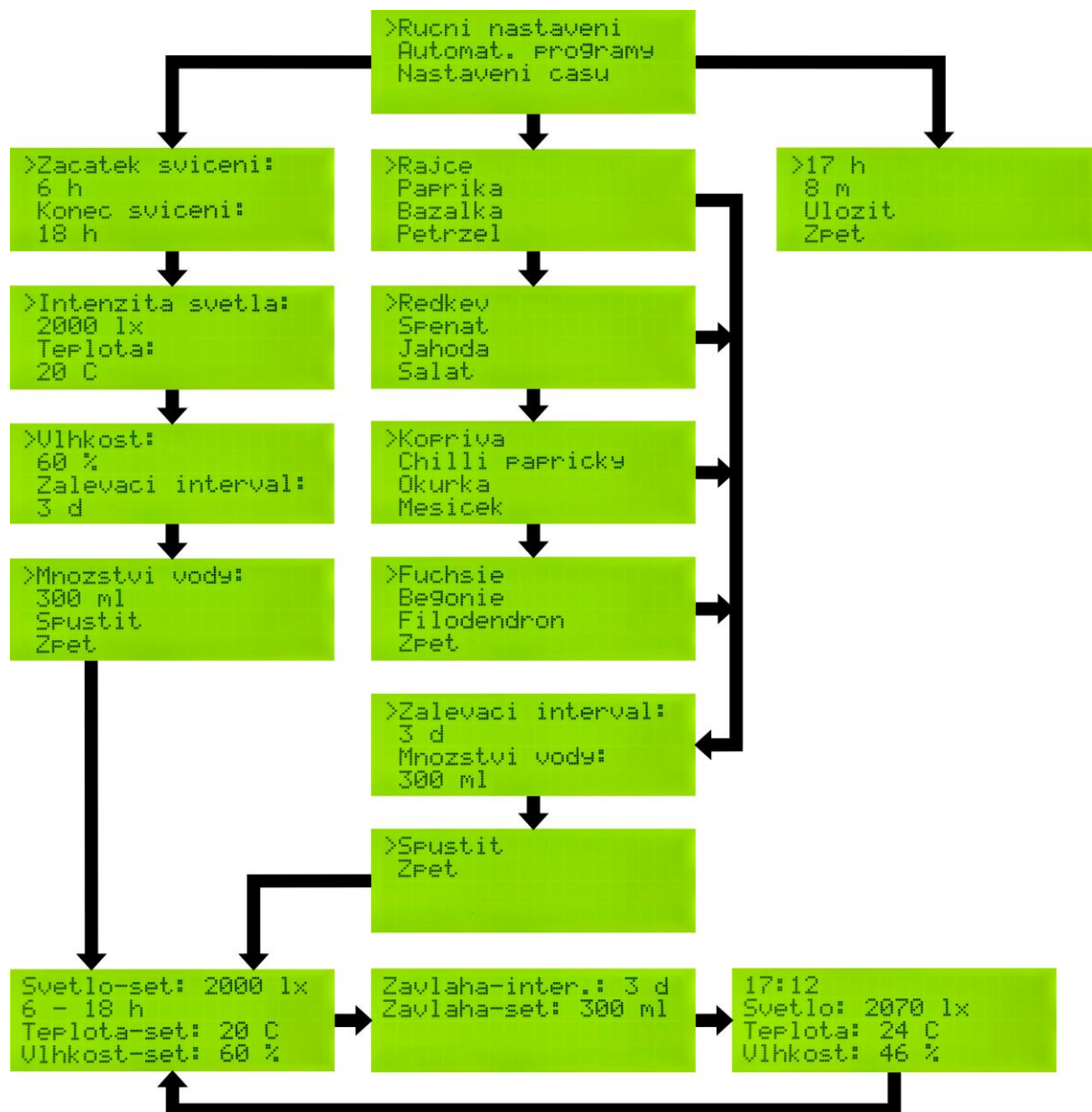
Obnova po výpadku napájení:

Při spuštění jakéhokoli programu – ručně či z přednastavených – jsou všechny hodnoty automaticky uloženy do interní paměti. V případě výpadku napájení se zařízení po obnovení elektrického proudu samo spustí a pokračuje ve spuštěném programu bez nutnosti znovu nastavovat parametry. Tím je zajištěna plná autonomie a spolehlivost provozu i při odpojení napájení.

Na ovládacím panelu se také nachází 6 přepínačů, které umožňují deaktivovat jednotlivé prvky (Světlo, topení, zvlhčovač, závlahové čerpadlo, cirkulační ventilátor a odtahový ventilátor). Nastavené hodnoty v programu zůstávají, ale prvek je přepínačem trvale vypnutý.



Obrázek 22: Blokové schéma rozložení menu



Obrázek 23: Mapa celého menu



Obrázek 24: Ovládací panel

Rostlina	Začátek svícení [h]	Konec svícení [h]	Intenzita světla[lx]	Teplota[°C]	Vlhkost [%]
Rajče	0 (neustále)	0 (neustále)	6000	22	70
Paprika	4	20	6000	22	60
Bazalka	5	19	6000	22	50
Petržel	6	18	6000	20	50
Ředkev	7	17	6000	20	50
Špenát	5	19	6000	20	60
Jahoda	5	19	6000	21	60
Salát	6	18	6000	17	60
Kopřiva	5	19	6000	22	60
Chilli p.	3	21	6000	27	60
Okurka	3	21	6000	24	60
Měsíček	6	18	5000	24	60
Fuchsie	6	18	5000	20	60
Begonie	6	18	6000	20	60
Filodendron	6	18	4000	22	60

Tabulka 1: Parametry přednastavených programů

2.19 Změřené odezvy systému

Pro ověření funkčnosti a odezvy regulačního systému byly provedeny dva samostatné testy, zaměřené na chování systému při dosažení maximálních nastavitelných hodnot: nejdříve 80 % relativní vlhkosti a poté 30 °C teploty. V každém z testů byla zaznamenána odezva systému během jedné hodiny a výsledky byly zaneseny do dvou

samostatných grafů. Oba testy probíhaly ve stejných podmínkách místnosti, kde okolní relativní vlhkost byla 60 % a teplota 20 °C.

První test: Regulační odezva na požadovanou relativní vlhkost 80 %

Na prvním grafu je zaznamenán průběh relativní vlhkosti v boxu během jedné hodiny a naznačeno spínání zvlhčovače:

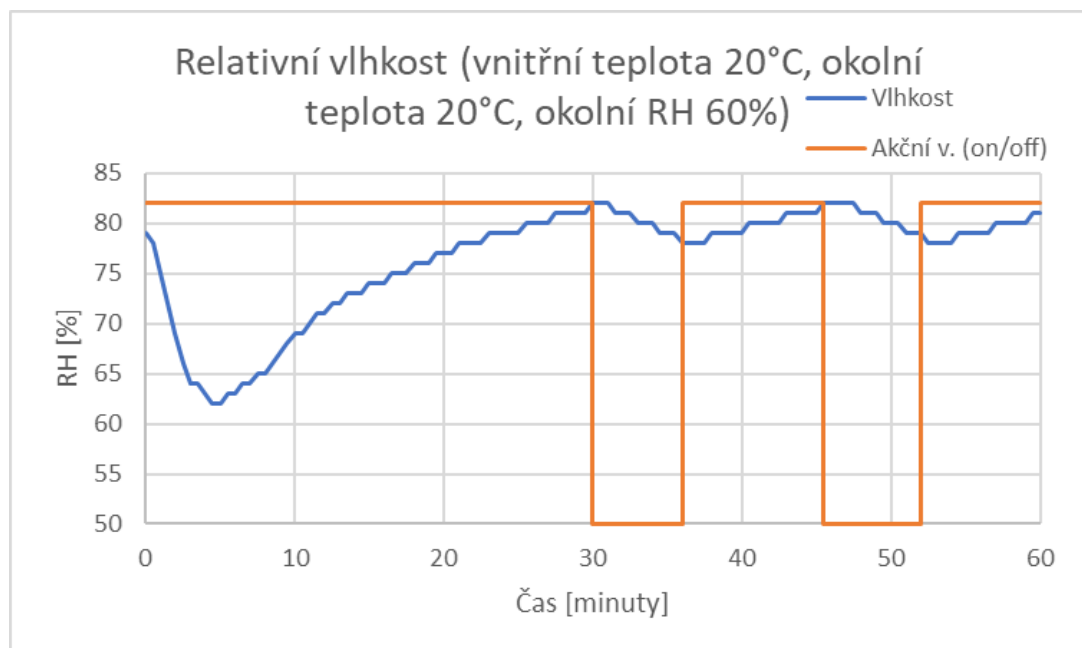
Start testu: Ventilační systém spustil 5 minutové odsávání vzduchu, čímž došlo ke snížení vlhkosti v boxu téměř na úroveň okolního prostředí – tedy skoro na 60 %.

Zvlhčování: Okamžitě se automaticky spustil ultrazvukový zvlhčovač, který během 30 minut zvýšil vlhkost na cílových 80 %. Systém má hysterezi ± 2 % RH, a tak se zvlhčovač vypnul při dosažení 82 %.

Přirozený pokles: Vlivem přirozené výměny vzduchu a mírného proudění došlo během 6 minut k poklesu vlhkosti na 78 %.

Opětovné spuštění: Zvlhčovač se znovu spustil a během 9 minut vlhkost opět stoupla na 82 %, čímž byl opět vypnut.

Tento cyklický režim potvrzuje, že systém spolehlivě udržuje zvolenou hodnotu relativní vlhkosti s malou odchylkou a dostatečně rychle se po výměně vzduchu dostane na požadovanou vlhkost.



Druhý test: Regulační odezva na požadovanou teplotu 30 °C

Na druhém grafu je zachycen průběh teploty v boxu během jedné hodiny a naznačeno spínání topení:

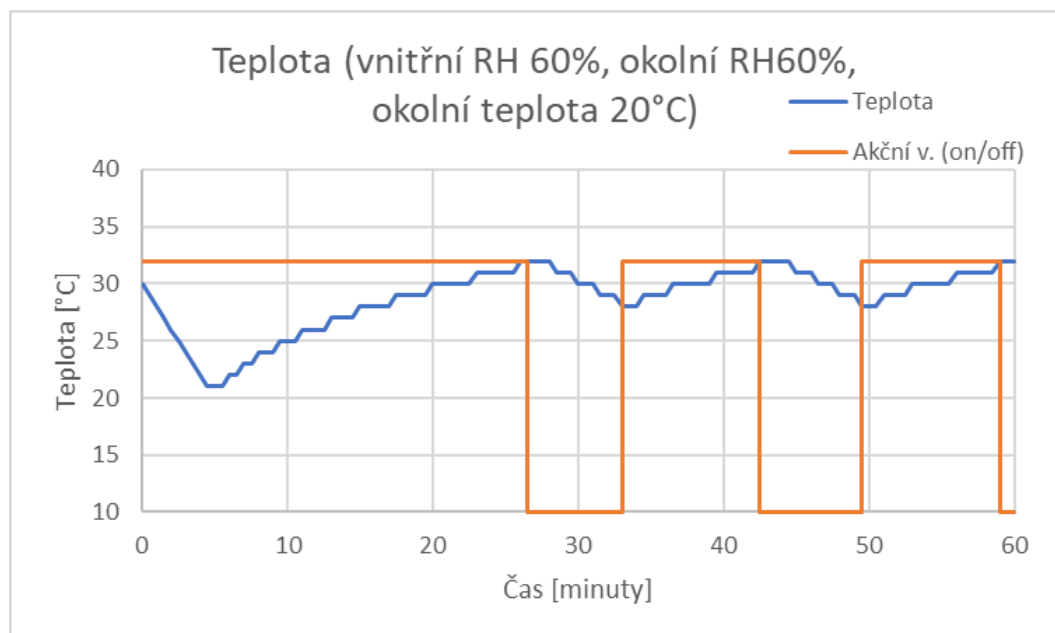
Start testu: Stejně jako v prvním testu, úvodních 5 minut probíhalo odsávání vzduchu, čímž teplota klesla blízko teplotě okolí – tedy skoro na 20 °C.

Ohřev: Okamžitě se aktivoval 12 V horkovzdušný přímotop o výkonu 100 W, který během 26 minut zvýšil teplotu na cílových 30 °C. Díky použité hysterezi (± 2 °C) došlo k vypnutí topení až při 32 °C.

Přirozené ochlazení: Teplota klesla vlivem úniku tepla během 9 minut na 28 °C.

Opětovné spuštění: Topení se opět aktivovalo a během dalších 9 minut teplotu opět navýšilo na 32 °C.

System zde rovněž prokázal stabilní regulační schopnost – teplota zůstávala v definovaném rozmezí s plynulým chodem a dostatečně rychle se po výměně vzduchu dostane na požadovanou teplotu.



Tyto výsledky potvrzují, že dvoustavová regulace s hysterezí použitá pro zvlhčování i vytápění je dostatečně účinná, stabilní a dobře přizpůsobená setrvačnosti prostředí. V obou případech systém dokázal včas reagovat na změny a udržet požadované hodnoty v přijatelných tolerancích, přičemž akční členy (přímotop a zvlhčovač) jsou dostatečně výkonné.

Zařízení pro automatizované pěstování rostlin je konstruováno tak, aby dokázalo udržovat zvolené mikroklimatické podmínky v rámci definovaných mezí, avšak jeho schopnost regulace je vždy závislá na okolních podmínkách prostředí, ve kterém je pěstební stan umístěn. Jinými slovy, zařízení je schopno upravit vnitřní prostředí pouze do takové míry, jakou mu umožňuje technická výbava a rozdíl vůči podmínkám v místnosti.

Například v případě regulace relativní vlhkosti vzduchu – pokud je požadována vlhkost uvnitř pěstebního boxu 50 %, ale okolní relativní vlhkost je 70 %, není zařízení schopno této hodnoty dosáhnout, protože vzduch nasávaný při větrání je již sám o sobě vlhký.

Obdobně, v případě regulace teploty – pokud je cílem udržet vnitřní teplotu na 15 °C, ale okolní teplota místnosti je například 25 °C, zařízení tuto teplotu nedokáže udržet, protože aktivní chlazení není součástí konstrukce. Zařízení umožňuje pouze vytápění pomocí přímotopu.

Z toho vyplývá, že úspěšná a přesná regulace parametrů je možná pouze v rámci dosažitelných mezí daných okolím, což je nutné brát v úvahu při nastavování požadovaných hodnot a výběru umístění samotného pěstebního boxu. Pro optimální chod zařízení je tedy vhodné jeho provoz přizpůsobit podmínkám dané místnosti, případně tyto podmínky upravit (např. klimatizací nebo odvlhčovačem) tak, aby zařízení mohlo správně a efektivně plnit svou funkci.

2.20 Kalibrace měření osvětlení

Pro účely měření intenzity osvětlení uvnitř pěstebního boxu je využit malý fotovoltaický panel, který slouží jako jednoduchý a dostupný analogový snímač světla. Tento panel generuje elektrické napětí úměrné dopadajícímu světelnému záření. Vzhledem k zamýšlenému způsobu použití bylo ověřeno, že průběh napětí v závislosti na intenzitě osvětlení je v pracovním rozsahu dostatečně lineární, což umožňuje jeho efektivní využití pro regulaci osvětlení.

Aby bylo možné správně interpretovat výstupní napětí z panelu, byl proveden kalibrační proces pomocí ručního luxmetru. Při tomto procesu bylo v několika úrovních intenzity osvětlení (včetně vlivů okolního světla i vnitřního LED osvětlení) změřeno aktuální napětí generované panelem a současně odpovídající hodnota intenzity osvětlení v luxech, zaznamenaná ručním luxmetrem. Na základě těchto naměřených hodnot byl sestaven v softwaru převodní vztah, který umožňuje převádět napěťový výstup z fotovoltaického panelu na odpovídající hodnotu v luxech.

2.21 Experiment pěstování paprik

Pro ověření funkčnosti automatizovaného pěstebního boxu byl proveden experiment pěstování paprik ze semínek. Cílem tohoto experimentu bylo sledovat vliv regulovaných podmínek uvnitř boxu na klíčivost a počáteční růst rostlin, a to ve srovnání s kontrolní skupinou umístěnou vedle boxu (bez regulace prostředí).

Experiment byl zahájen 1. března 2025. Semínka papriky byla zasazena do substrátu a umístěna do vaničky s vodou pro zajištění dostatečné půdní vlhkosti. Box byl umístěn pod střešním oknem v podkrovní místnosti, kde je přirozeně vyšší teplota a více světla než ve zbytku budovy. Během experimentu nebylo využíváno vytápění, protože okolní podmínky byly dostatečně teplé pro klíčení. Uvnitř boxu byly nastaveny následující parametry: intenzita osvětlení 6000 lx po dobu 18 hodin denně a relativní vlhkost udržována na 70 %. Vedle pěstebního boxu byla umístěna kontrolní skupina paprik, která byla vystavena stejným přirozeným světelným a teplotním podmínkám, avšak bez řízené vlhkosti a umělého osvětlení.

Po čtyřech týdnech experimentu byly viditelné výrazné rozdíly mezi oběma skupinami. Papriky pěstované v boxu vyklíčily ve větším množství než kontrolní skupina a jejich průměrná výška byla přibližně o jednu třetinu větší.



Obrázek 25: Papriky z boxu po čtyřech týdnech



Obrázek 26: Kontrolní papriky (mimo box) po čtyřech týdnech

Po sedmi týdnech trvání experimentu byly papriky z boxu stále přibližně o třetinu větší, navíc se objevily další rostliny, které předtím nevyklíčily. To naznačuje, že řízené prostředí v boxu vytvořilo příznivější podmínky nejen pro růst, ale i pro klíčení opožděných semen.



Obrázek 27: Papriky z boxu po sedmi týdnech



Obrázek 28: Kontrolní papriky (mimo box) po sedmi týdnech

Výsledky experimentu potvrzují, že automatizovaný pěstební box je efektivní a funkční nástroj pro zajištění optimálních podmínek pro růst rostlin v raných fázích vývoje. Výrazné rozdíly oproti neregulovanému prostředí prokazují přínos řízené vlhkosti a světla. Lze také dozajista usuzovat, že automatizovaný pěstební box má příznivé efekty i pro všechny pozdější fáze růstu.

ZÁVĚR

Cílem práce bylo realizovat automatizovaný pěstební box, ve kterém budou regulovány základní veličiny důležité pro správný růst rostlin. Zařízení mělo umožnit samostatný chod s minimální potřebou obsluhy a zároveň být navrženo s ohledem na bezpečnost a dostupnost použitých komponent.

V úvodní rešeršní části byly probrány biologické základy pěstování rostlin v řízeném prostředí, a to zejména s ohledem na vnitřní pěstební boxy. Byly zjištěny optimální podmínky pro různé druhy rostlin, jaké jsou jejich nároky na mikroklima a světelné podmínky. Dále byly popsány různé konstrukční přístupy při stavbě pěstebních boxů, upozornění na běžná úskalí i doporučení pro výběr materiálů. Část rešerše byla věnována také výběru senzorů, vhodné elektroniky a způsoby řízení. Zvažovány byly různé varianty měření a ovládání prostředí uvnitř boxu, přičemž cílem bylo zvolit komponenty s ohledem na jednoduchost, dostupnost a celkovou kompatibilitu systému.

Po provedení rešerše následovala samotná realizace zařízení. Základ konstrukce tvoří dostupný pěstební stan IKEA VUKU, který poskytl ideální uzavíratelný prostor pro rostliny. Při návrhu bylo cílem využít co nejvíce hotových a komerčně dostupných modulů, aby byla konstrukce jednodušší a opakovatelná. Ovládací panel je koncipován jako samostatná krabička, která je připojena ke stanu a umožňuje pohodlnou obsluhu bez nutnosti zasahovat přímo do pěstebního prostoru. Celé zařízení bylo navrženo jako SELV, čímž je zajištěna bezpečnost při provozu. Nechybí ani galvanické oddělení, které zajišťuje odolnost systému vůči rušení, vyrovnávacím proudům apod.

Logická část systému je postavena na vývojové platformě Arduino UNO R3, doplněné o LCD displej typu LCD2004, RTC modul a pět tlačítek pro navigaci v menu. Uživatel má možnost vypínat základní komponenty (akční členy) boxu prostřednictvím přepínačů. Monitoring hodnot je možný přes LCD na zařízení a také přes USB připojení k PC, kde je připravený sešit v Excelu s využitím pluginu Data Streamer pro snadný záznam dat s vykreslováním dat v reálném čase. Pro snímání intenzity osvětlení je využit malý fotovoltaický panel, který dává přímou informaci o světelných podmínkách uvnitř boxu a zajišťuje stabilní osvětlení a úsporu energie. Teplota a vlhkost jsou měřeny senzorem DHT11, který poskytuje dostatečnou přesnost pro účely této aplikace.

Uvnitř boxu je umístěno několik akčních prvků. K zajištění požadované teploty slouží malý přímotop a zároveň je zajištěno proudění vzduchu cirkulačním a odtahovým ventilátorem. Odpovídající vlhkost je udržována pomocí ultrazvukového zvlhčovače, a nechybí ani jednoduchý závlahový systém pro zajištění přísunu vody ke kořenům. Osvětlení je realizováno pomocí LED pásků na výškově nastavitelné desce, které poskytují dostatečně široké spektrum světla potřebné pro fotosyntézu.

Celý systém byl nastaven experimentálně. Postupným testováním byly nalezeny nejvhodnější hodnoty a režimy provozu a regulace jednotlivých prvků, které zajišťují stabilní podmínky v pěstebním prostoru. Byla provedena kalibrace fotovoltaického panelu za pomoci luxmetru. Byla změřena stabilita řízení za hodinový provozní cyklus. Praktickou funkčnost celého zařízení se podařilo ověřit při experimentálním pěstování paprik, které lépe rostly v automatizovaném prostředí boxu oproti kontrolním paprikám. Tím bylo prokázáno, že systém je plně funkční a schopný dlouhodobého provozu.

Zařízení tak splňuje všechny stanovené požadavky – reguluje teplotu, vlhkost i světlo, má intuitivní ovládání, možnost monitoringu na PC a je navrženo s důrazem na bezpečnost a snadnou údržbu. Jako přínosné se ukázalo využití jednoduchých a dostupných součástí, což výrazně snižuje náklady a zároveň otevírá možnost snadné replikace i úprav podle potřeb konkrétní rostliny či uživatele. Cena boxu tak zůstává mnohem více dostupná než hotová řešení, co lze koupit na trhu. Z pohledu dalšího vývoje by bylo možné systém dále vylepšit například použitím komplexnějších senzorů, měření vlhkosti substrátu, zesílení osvětlení a úprava boxu na neprůsvitný box apod.

Celkově lze říci, že zařízení plně splnilo cíle práce, je funkční a prakticky využitelné pro pěstování rostlin v řízených podmínkách. Během práce byly získány cenné zkušenosti v oblasti sensoriky, řízení mikroklimatu, programování mikrokontrolérů i praktické konstrukce zařízení pro pěstební účely.

POUŽITÁ LITERATURA

JONES, Beneton J. *Hydroponics: practical guide for the soilless grower*. 2nd ed. Boca Raton: CRC Press, 2005. ISBN 0-8493-3167-6.

MARTINEK, Radislav. *Senzory v průmyslové praxi*. Praha: BEN - technická literatura, [2012?], c2004. ISBN 978-80-7300-354-8.

RAVEN, Peter B.; EVERT, Ray Franklin a EICHHORN, Susan E. *Raven biology of plants*. 8th ed. New York, N.Y.: W.H. Freeman and Company, c2013. ISBN 978-1-4292-1961-7.

RESH, Howard M. *Hydroponic Food Production: A Definitive Guidebook for the Advanced Home Gardener and the Commercial Hydroponic Grower*, CRC Press, 2022. ISBN 9780367678753.

TAIZ, Lincoln (ed.). *Plant physiology and development*. 6th ed. Sunderland, Mass.: Sinauer Associates, c2015. ISBN 978-1-60535-255-8.

WRIGHT, David. *Indoor Gardening: The Ultimate Indoor Gardening For Beginners Guide! - Easily Grow Indoor House Plants And Veggies, Herbs, And Fruits In Weeks!*, CreateSpace Independent Publishing Platform, 2015. ISBN 978-1517370848.

ZHANG, Qin (ed.). *Precision agriculture technology for crop farming*. Boca Raton: CRC Press, Taylor & Francis Group, [2016]. ISBN 978-1-4822-5107-4.

AeroGarden [online]. [cit. 2025.04.10]. Dostupné z: <https://aerogarden.com/>

Arduino UNO [online]. [cit. 2025.04.20]. Dostupné z:

<https://docs.arduino.cc/hardware/uno-rev3/>

Čerpadlo [online]. [cit. 2025.05.15]. Dostupné z:

<https://www.hadex.cz/v121m-cerpadlo-na-vodu-jt-dc31-3-5vdc/>

Čidlo [online]. [cit. 2025.05.15]. Dostupné z:

<https://www.hadex.cz/m441-teplotni-cidlo-a-vlhkomer-dht11/>

DHT11 [online]. [cit. 2025.04.20]. Dostupné z:

<https://www.mouser.com/datasheet/2/758/DHT11-Technical-Data-Sheet-Translated-Version-1143054.pdf>

Grobo [online]. [cit. 2025.04.10]. Dostupné z:

<https://factorypure.com/products/grobo-premium-automated-smart-hydroponic-grow-box-system-new>

Growace [online]. [cit. 2025.04.20]. Dostupné z: <https://growace.com/pages/grow-tent-guide>

HiGarden [online]. [cit. 2025.04.10]. Dostupné z: <https://www.higarden.cz/>

Homebox Ambient [online]. [cit. 2025.04.10]. Dostupné z:

<https://www.hotchilli.cz/homebox-ambient/homebox-ambient-q-80--80x80x160-cm/>

Hydrobuilder [online]. [cit. 2025.04.20]. Dostupné z: <https://learn.hydrobuilder.com/>

LedMeGrow [online]. [cit. 2025.04.20]. Dostupné z:

<https://www.ledmegrow.cz/spider-farmer-g1500-150w/>

Niwa [online]. [cit. 2025.04.10]. Dostupné z: <https://www.getniwa.com/>

Panel [online]. [cit. 2025.05.15]. Dostupné z:

<https://www.hadex.cz/g970-fotovoltaicky-solarni-panel-mini-55v110ma-70x70mm/>

Přímotop [online]. [cit. 2025.05.15]. Dostupné z:

<https://www.tuningshop.cz/ohrivac-do-auta-12v-150w-4/>

RTC [online]. [cit. 2025.04.20]. Dostupné z:

<https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ds1307.pdf>

SecretJardin [online]. [cit. 2025.04.10]. Dostupné z: <https://www.secretjardin.com/>

Tower Garden [online]. [cit. 2025.04.10]. Dostupné z: <https://us.towergarden.com/>

Zvlhčovač [online]. [cit. 2025.05.15]. Dostupné z:

<https://www.hadex.cz/v098h-mini-mlhovac-12-led/>

SEZNAM PŘÍLOH

A KONSTRUKCE ZAŘÍZENÍ

Příloha A.1: Blokové schéma napájení

Příloha A.2: Blokové schéma logického řídicího obvodu

Příloha A.3: Schéma zapojení

Příloha A.4: Ovládací panel

Příloha A.5: Celkový pohled na zařízení

Příloha A.6: Zařízení za běhu

Příloha A.7: Pohled na vnitřek zařízení

Příloha A.8: Osvětlovací deska

Příloha A.9: Čidlo DHT11

Příloha A.10: Cirkulační ventilátor

Příloha A.11: Odtahový ventilátor

Příloha A.12: Čerpadlo a ultrazvukový zvlhčovač

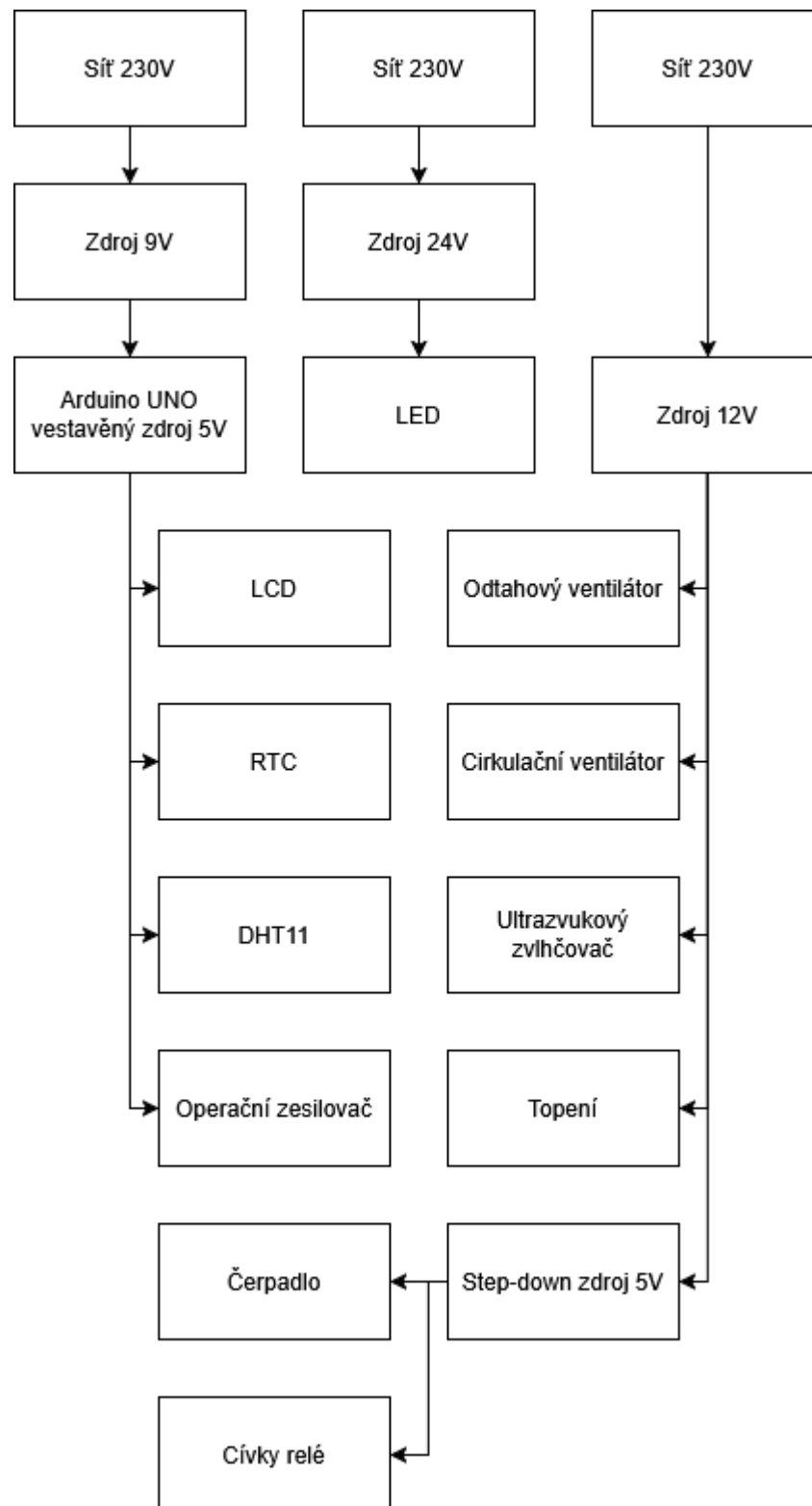
Příloha A.13: Přímotop a fotovoltaický panel

Příloha A.14: Monitorování dat na PC

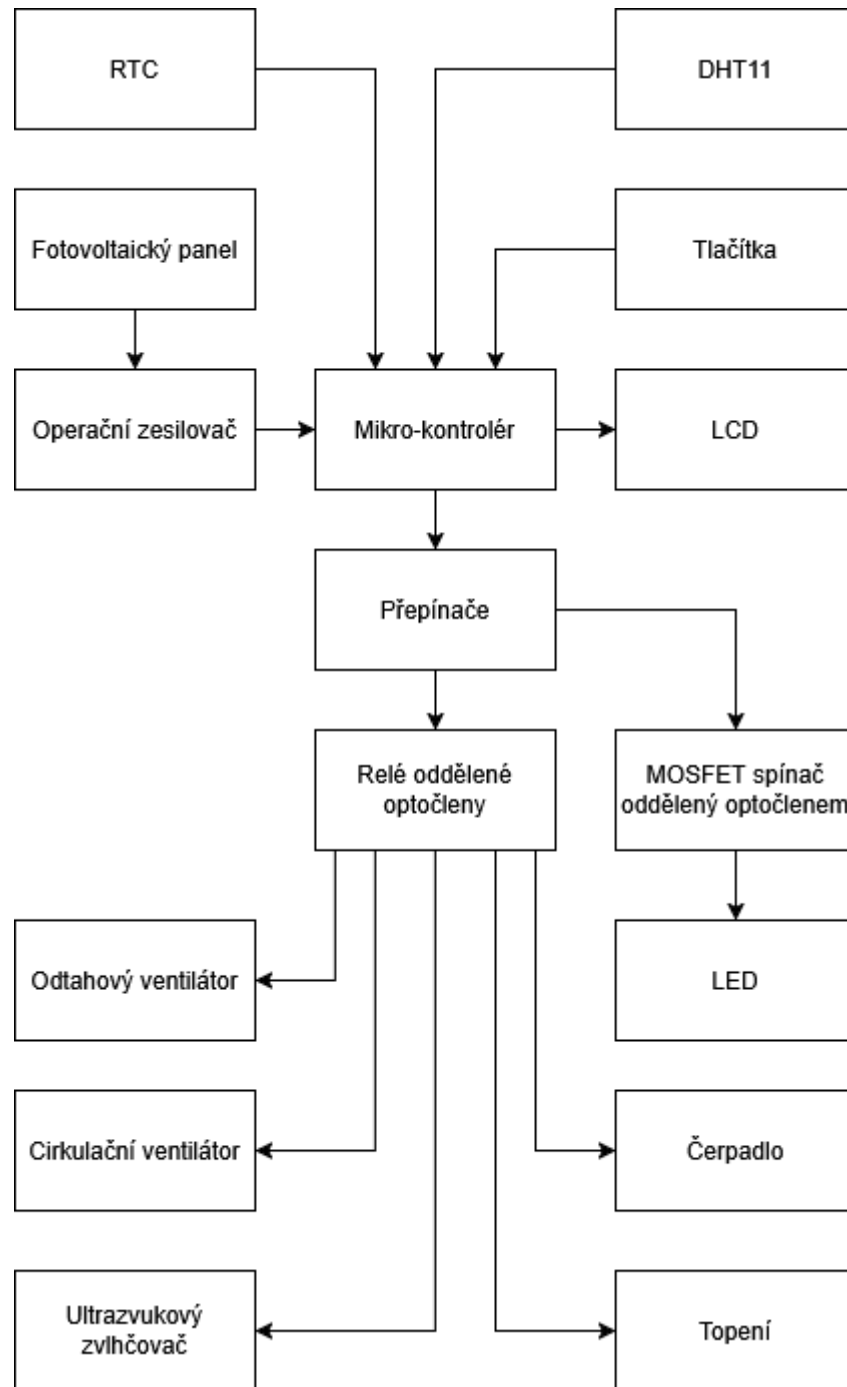
B SEZNAM SOUČÁSTEK

A KONSTRUKCE ZAŘÍZENÍ

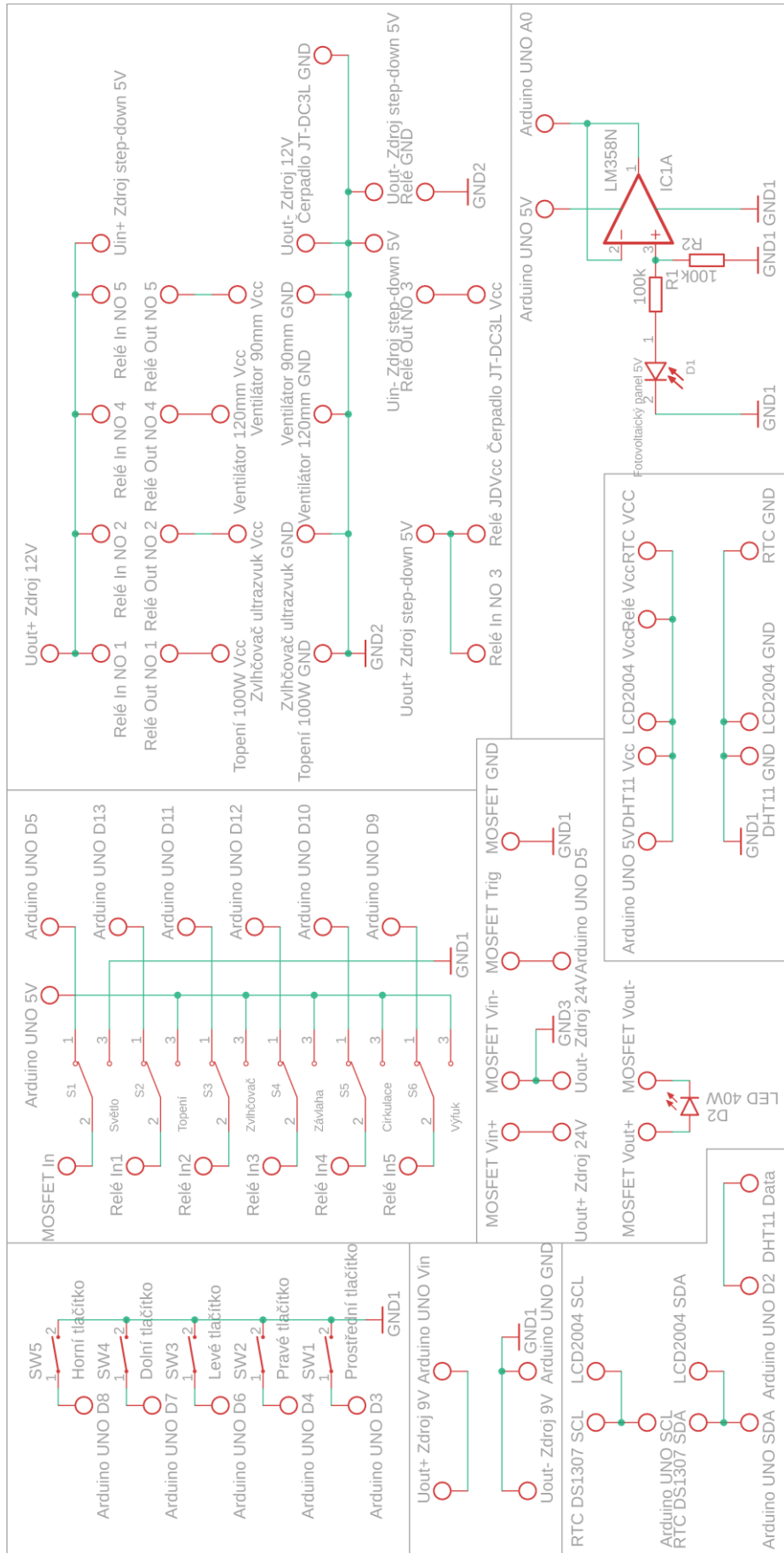
PŘÍLOHA A.1: Blokové schéma napájení



PŘÍLOHA A.2: Blokové schéma logického řídicího obvodu



PŘÍLOHA A.3: Schéma zapojení



PŘÍLOHA A.4: Ovládací panel



PŘÍLOHA A.5: Celkový pohled na zařízení



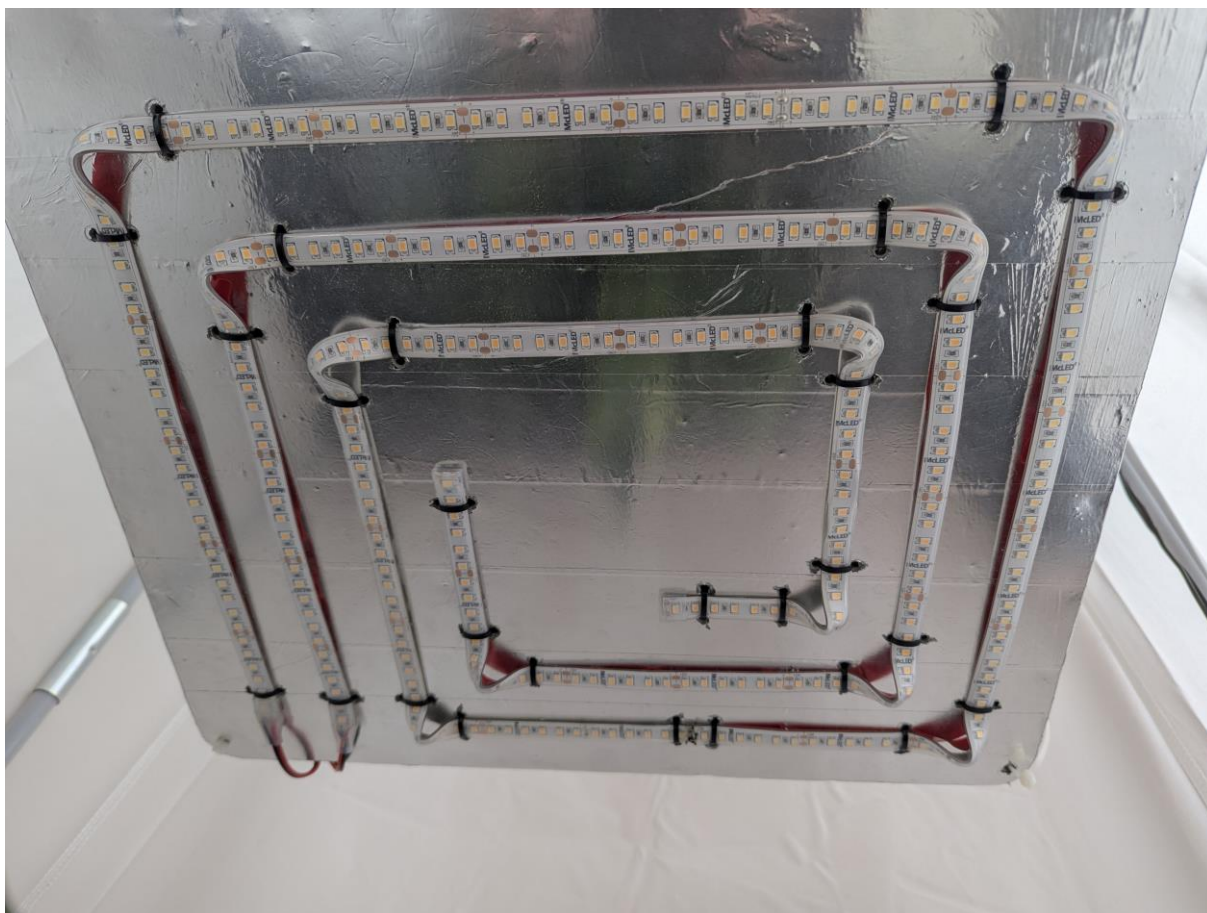
PŘÍLOHA A.6: Zařízení za běhu



PŘÍLOHA A.7: Pohled na vnitřek zařízení



PŘÍLOHA A.8: Osvětlovací deska



PŘÍLOHA A.9: Čidlo DHT11



PŘÍLOHA A.10: Cirkulační ventilátor



PŘÍLOHA A.11: Odtahový ventilátor



PŘÍLOHA A.12: Čerpadlo a ultrazvukový zvlhčovač



PŘÍLOHA A.13: Přímotop a fotovoltaický panel



PŘÍLOHA A.14: Monitorování dat na PC

Příchozí data (z: USB-SERIAL CH340 (COM4))

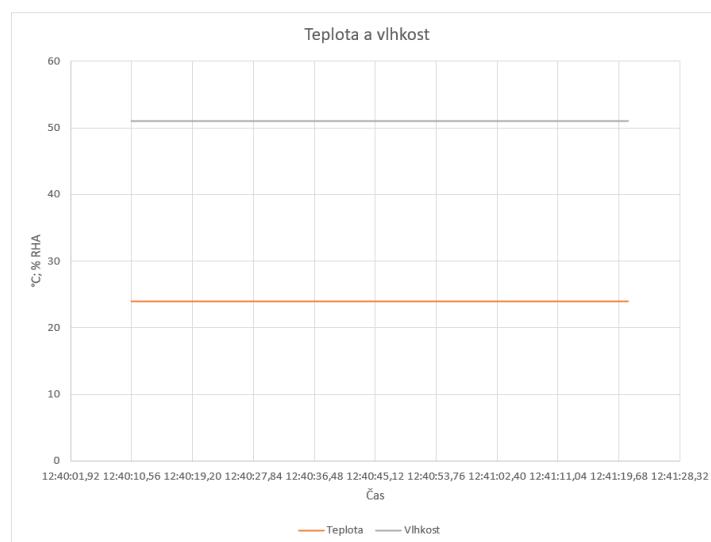
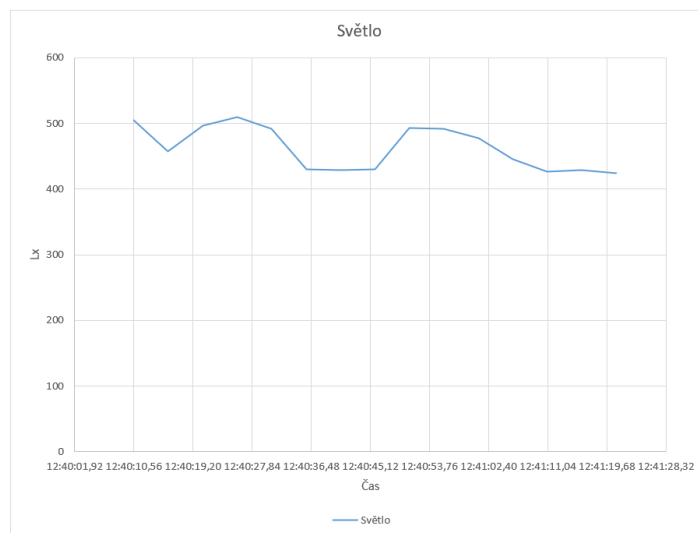
Data pocházející z aktuálního zdroje dat se hned po přijetí zobrazí v následující části.

Aktuální data

TIME	Světlo	Teplota	Vlhkost
12:41:21,05	424	24	51

Historická data

TIME	Světlo	Teplota	Vlhkost
12:40:10,52	505	24	51
12:40:15,57	457	24	51
12:40:20,63	497	24	51
12:40:25,62	509	24	51
12:40:30,67	492	24	51
12:40:35,72	430	24	51
12:40:40,73	429	24	51
12:40:45,77	430	24	51
12:40:50,84	493	24	51
12:40:55,83	492	24	51
12:41:00,89	477	24	51
12:41:05,93	446	24	51
12:41:10,94	426	24	51
12:41:15,98	429	24	51



B SEZNAM SOUČÁSTEK

Označení	Hodnota/Vlastnost	Pouzdro	Popis
D1	5,5V/110mA	70x70	Fotovoltaický Panel
D2	40W	Pásek	LED pásek
R1	100k	207	Rezistor
R2	100k	207	Rezistor
IC1	LM358N	DIL-8	OZ
SW1	Spínací	PBS-10B	Tlačítko
SW2	Spínací	PBS-10B	Tlačítko
SW3	Spínací	PBS-10B	Tlačítko
SW4	Spínací	PBS-10B	Tlačítko
SW5	Spínací	PBS-10B	Tlačítko
S1	Přepínací	MTS-102	Přepínač
S2	Přepínací	MTS-102	Přepínač
S3	Přepínací	MTS-102	Přepínač
S4	Přepínací	MTS-102	Přepínač
S5	Přepínací	MTS-102	Přepínač
S6	Přepínací	MTS-102	Přepínač
Arduino UNO R3 https://www.hadex.cz/m380a-uno-r3-atmega328p-klon-arduino-s-ch340/			
Modul 8x relé s optočlenem https://www.hadex.cz/m457f-modul-rele-8x-napajeni-5v-s-optoclenem/			
Modul MOSFET s optočlenem https://www.hadex.cz/m369b-vykonovy-spinac-mosfet-pwm-modul-s-irf530/			
RTC DS1307 https://www.hadex.cz/m481a-rtc-hodiny-realneho-casu-ds1307-at24c32/			
LCD 2004 https://www.hadex.cz/m506b-displej-lcd2004-20x4-znaky-zlute-podsviceni/			
Převodník I2C pro LCD https://www.hadex.cz/m505c-adapter-prevodnik-i2c-pro-displej-lcd1602-a-2004/			
DHT11 https://www.hadex.cz/m441-teplotni-cidlo-a-vlhkomer-dht11/			
Ventilátor 120mm			
Ventilátor 92mm			
Čerpadlo JT-DC3L https://www.hadex.cz/v121m-cerpadlo-na-vodu-jt-dc3l-3-5vdc/			
Ultrazvukový zvlhčovač https://www.hadex.cz/m444d-stdz-1810---modul-ultrazvukoveho-zvlhcovace-vzduchu/			
Přímotop https://www.hadex.cz/v177e-topeni-do-auta-odmrazovac-celniho-skla-ventilator12v-150w/			
Zdroj 9V 10W			
Zdroj 24V 40W			
Zdroj 12V 150W			
Step-down měnič 3A https://www.hadex.cz/m406-napajeci-modul-step-down-menic-3a-s-lm2596-uinmax35v/			
Vodiče			
Ikea VUKU https://www.ikea.com/cz/cs/p/vuku-satni-skrin-bila-80331973/			
Celková cena: cca 3000Kč			

OBSAH PŘILOŽENÉHO DVD NOSIČE

Elektronická verze diplomové práce

Zdrojový kód programu

Použité knihovny

Připravený Excel soubor pro komunikaci se zařízením a vykreslování trendů